

ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN
DEPARTMENT LIFE SCIENCES UND FACILITY MANAGEMENT
INSTITUT UNR

***In-house Recycling von Li-Ionenbatterien: Alternativen zu
etablierten Recyclingoptionen unter Beachtung rechtlicher und
sicherheitstechnischer Auflagen***

Bachelorarbeit



von

Olivier Groux

Bachelorstudiengang 2014

Studienrichtung Umweltingenieurwesen

Abgabedatum: 5. April 2018

Fachkorrektoren:

Christoph Koller, ZHAW Wädenswil

Marcel Gauch, EMPA St.Gallen

Impressum**Schlagworte / keywords**

In-house Recycling, Li-Ionenbatterien, LIB, LiFePO₄, Wasser, passive Entladung

Zitiervorschlag

Groux, O. (2018), In-house Recycling von Li-Ionenbatterien: Alternativen zu etablierten Recyclingoptionen unter Beachtung rechtlicher und sicherheitstechnischer Auflagen.

Adresse des Instituts:

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

Life Sciences und Facility Management

Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen

Grüental

8820 Wädenswil

Abstract

The demand for Lithium Ion batteries is increasing rapidly. Such a demand must be supplied with resources. For this reason, it is pivotal to establish an environmentally friendly recycling process for small and medium-sized enterprises.

This thesis conducts research in order to find such a recycling process for LiFePO₄ batteries. The results are summarized in a manual for "In-house recycling of LiFePO₄ accumulators". The instructions contain a detailed description of how to prepare the cells and the process of recycling the cells.

The second part of this thesis describes the requirements for the procedure. This includes consideration of legal and safety regulations. In addition, the economic rentability is analysed. The best-possible In-house procedure was determined through comprehensive literature research and practical recycling tests.

The results prove that the cells can be recycled easily due to an optimized discharging process and recycling treatment with water. This new method is environmentally friendly and results in a profit at the end of the process.

As the recycling process has proved to be effective, further investigations will be conducted after this work in order to be able to start a pilot project.

Zusammenfassung

Zurzeit steigt die Nachfrage an Lithiumionen Akkus rasant an. Eine solche Nachfrage muss mit Ressourcen gedeckt werden. Aus diesem Grunde ist es von höchster Notwendigkeit, ein umweltschonendes Recyclingverfahren für Industrien sowie für KMU zu etablieren.

In dieser Arbeit wurde nach einem solchen Recycling Verfahren geforscht. Das Resultat beinhaltet die Publikation einer Anleitung für das "In-house recycling von LiFePO₄ Akkus". Die Anleitung beinhaltet eine detaillierte Beschreibung, wie die Zellenzerlegungen vorbereitet werden müssen und über den Vorgang des Zerlegungsverfahrens.

In einem zweiten Teil dieser Anleitung werden die Anforderungen an das Verfahren dargelegt. Dazu gehört die Beachtung rechtlicher und sicherheitstechnischer Auflagen. Zudem wird die Wirtschaftlichkeit analysiert. Durch eine umfassende Literaturrecherche und anschliessenden Versuchen soll das Best mögliche In-house Verfahren ermittelt werden.

Es wurde herausgefunden, dass sich die Zellen durch richtiges Entladen und Aufreinigung mittels Wasser recyceln lässt. Diese neue Methode ist umweltfreundlich und erbringt (den KMU) am Ende des Verfahren einen Gewinn.

Weil sich das Recyclingverfahren als funktionstüchtig erwiesen hat, werden nach dieser Arbeit weitere Untersuchungen gestartet, um mit einem Pilotprojekt starten zu können.

Verdankung

Die Firma Kyburz Switzerland AG und EMPA St. Gallen haben die Arbeit namhaft unterstützt. Für die Begleitung des Themas und die Freistellung der zu recycelten Zellen möchte ich mich herzlich bedanken. Ich bedanke mich besonders bei Martin Kyburz, Claudia Fesch, Abel Olaechea, Marcel Gauch und Rolf Widmer für die interessanten Diskussionen und die erhaltene Unterstützung. Die kompetenten Ratschläge kamen mir in einigen Angelegenheiten sehr zugunsten. Zudem bedanke ich mich für das Vertrauen, da mir auch viel Gestaltungsfreiheit über die gesamte Arbeit gestattetet wurde.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Material und Methode	3
2.1	Literaturrecherche	3
2.1.1	Systematische Methode	3
2.2	Methode zur eigenen Forschungsarbeit	7
3	Resultate	8
3.1	Resultate der Literaturrecherche	8
3.1.1	Übersicht der Recyclingmethoden	10
3.1.2	Erkenntnisse	14
3.2	Sicherheitsaspekte	16
3.2.1	Sicherheitseinrichtung	16
3.2.2	Persönliche Schutzausrüstung	16
3.2.3	Lagerung der Zellen	17
3.2.4	Entsorgung der Chemikalien	17
3.2.5	HF Bildung	17
3.3	Forschung eines eigenen Recyclingverfahrens	19
3.3.1	Zusammenfassung der Forschungsarbeit	19
3.4	Anleitung In-house Recycling von LIB	23
3.5	Bilanzierung der Zelle	23
3.6	Wirtschaftlichkeit	25
3.6.1	Investitionskosten	26
3.6.2	Kosten	27
3.6.3	Umsatz	28
3.6.4	Gewinn	33
4	Diskussion	35

Literaturverzeichnis	37
Abbildungsverzeichnis.....	I
Tabellenverzeichnis	II
Anhangsverzeichnis	III
Anhang A: Suchprozess der Literaturrecherche	I
Anhang B: Arbeitsbibliothek	XV
Anhang C: Beachtung rechtlicher Auflagen	XXIII
Anhang D: Sicherheitsaspekte	XXVI
Anhang E: Arbeitsprotokolle	XLIV
Anhang F: Anleitung.....	CVI

Abkürzungen

AWEL	Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft
DMC	Dimethylcarbonat
EC	Ethylcarbonat
EMC	Ethylmethylcarbonat
HF	Flusssäure
INOBAT	Interessenorganisation Batterieentsorgung
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
LIB	Lithium Akkus
org. Lsg.	Organische Lösemittel
VOC	Organische flüchtige Stoffe

1 Einleitung

Lithium-Ionen Akkus haben sich über die letzten zehn Jahre im Bereich der nachhaltigen Verkehrssysteme als die besten Energiespeicher bewiesen. Die weltweite Produktion der LIB ist zwischen 2000 und 2010 um achthundert Prozent gestiegen (Xianlai Zeng et al. 2013). Der globale Markt (put on market) wird bis 2020 auf knapp 32 Milliarden geschätzt (Xiaoxiao Zhang et al. 2016). Unter all den LIB kam der Lithiumeisenphosphat (LiFePO_4) Akku in den letzten Jahren (in Europa) immer mehr zum Gebrauch.

Der Grund dafür liegt bei den Eigenschaften des Lithiumeisenphosphat Akkus. Dieser Akku Typ gilt als thermisch sehr stabil, die Anschaffungskosten sind gering, hergestellt wird der Akku mit wenigen toxischen Substanzen und der Akku besitzt eine hohe Energiedichte. Aus diesem Grund wurden im Jahr 2014 weltweit 12'500 Tonnen Lithiumeisenphosphat für die Produktion dieser Akkus verkauft (Global and China Lithium Iron Phosphate, 2015). Im Jahre 2015 wurden schon über 30'000 Tonnen verkauft und bis 2020 wird ein weiterer Anstieg um 20 % vermutet (Global and China Lithium Iron Phosphate, 2016).

Wegen der steigende Nachfrage an LiFePO_4 Akkus, muss man sich auch die Fragen stellen, wie die Akkus nach Ende des Gebrauches richtig entsorgt beziehungsweise recycelt werden können. Um den Kreislauf der Lithium Akkus (LIB) zu schliessen, müssen Recyclingprozesse etabliert werden. Es kann generalisiert werden, dass es drei Möglichkeiten gibt, um LIB zu recyceln: 1) die Akkus werden mechanisch aufgeschlossen und die einzelnen Komponenten/Fractionen zum Beispiel an Metallhändler weiterverkauft; 2) nach dem mechanischen Aufschluss folgt eine chemische Behandlung. Dadurch kann unter anderem Lithium zurückgewonnen werden; 3) eine pyrometallurgische Behandlung. Hier gehen jedoch wertvolle Bestandstoffe verloren, unter anderem Lithium (Patrice Christmann, et al. 2015). In der Schweiz werden die LIB durch die Firma Batretec recycelt. Die Batretec verwendet unter anderem ein pyrometallurgisches Verfahren. Hier landen alle Zellen in einem gemeinsamen Ofen. Die einzelnen Komponenten können nur teilweise getrennt werden. Ein grosser Nachteil des pyrometallurgischen Verfahrens ist der hohe Energieverbrauch. Zudem sind die Anlage und das Verfahren teuer. Der Recyclingprozess ist nicht abgestimmt auf Traktionsakkus aus Elektrofahrzeugen.

Zur Zeit verlangt Batretec für alle Akkus einen Behandlungspreis. Für KMU's besteht noch kein etabliertes In-house Recycling Verfahren. Dieser Herausforderung stellt sich diese Bachelorarbeit.

Die zur Verfügung gestellten LiFePO_4 Akkus werden von der Firma KYBURZ Switzerland AG zu Verfügung gestellt. Die Firma KYBURZ Switzerland AG stellt Elektrofahrzeuge her.

Weltweit sind über 11'000 Fahrzeuge unterwegs. In einem Jahr setzt die Firma KYBURZ Switzerland AG 10'000 LiFePO₄ Zellen ein.

Die Firma KYBURZ Switzerland rechnet mit einem Lebensende der Akkus (EOL; als Traktionsbatterie) von 7 Jahren. Gegebenenfalls können diese Zellen als 2nd Life Akkus eingesetzt werden. Jedoch müssen alle Zellen irgendwann recycelt werden. Zur Zeit gibt die Firma KYBURZ Switzerland AG die alten Zellen der INOBAT (Interessenorganisation Batterieentsorgung) beziehungsweise der Batrec ab. Für die KYBURZ Switzerland AG ist dieser Recycling Weg nicht die optimale Lösung, weil in der jetzigen Situation muss Kyburz AG die vorgezogene Entsorgungsgebühr für alle neuen importierten up-front bezahlen, d.h. beim Einkauf. KYBURZ Switzerland AG erhofft sich ein umweltfreundlicheres und kostengünstigeres Recycling Verfahren, mit dem Ziel, einen besseren Nutzen für die Kreislaufwirtschaft zu bewirken.

Das Hauptziel dieser Bachelorarbeit beinhaltet die Untersuchung, von Möglichkeiten, den Akku Typ LiFePO₄ (Modell SE100AHA) händisch (evtl. halbautomatisch) soweit zu zerlegen, dass abgesehen von kleinen Resten handelbare Fraktionen entstehen. Falls ja, soll eine Publikation "In-house recycling von LiFePO₄ Akkus" in Form einer Anleitung geschrieben. Die Anleitung beinhaltet eine detaillierte Beschreibung, wie die Zellenzerlegung vorbereitet werden muss und was die einzelnen Schritte des Zerlegungsverfahrens sind. Durch diese Anleitung soll es KMU's möglich sein, LiFePO₄ Akkus In-house zu recyceln.

In einem zweiten Teil dieser Anleitung werden die Anforderungen an das Verfahren dargestellt. Dazu gehört die Beachtung rechtlicher und sicherheitstechnischer Auflagen. Zudem wird analysiert, ob sich ein solches Recycling Verfahren aus wirtschaftlicher Sicht für KMU's lohnen würde. Durch eine umfassende Literaturrecherche und anschliessende Versuche soll das Best mögliche In-house Verfahren ermittelt werden.

2 Material und Methode

In diesem Kapitel werden als erstes die Methoden und das Material erläutert, welche für die Entwicklung eines In-house Recyclingprozesses verwendet werden. Um sich einen Überblick über die vorhandenen Recyclingmethoden zu verschaffen, wurde zuerst eine Literaturrecherche durchgeführt. Es wurde eine systematische Literaturrecherche als Methode gewählt, die im Kapitel 0 im Detail erläutert wird. Ziel ist es den aktuellen Stand der Recyclingmethoden zu dokumentieren und daraus Hinweise und Ideen für das eigene Recyclingverfahren zu entwickeln. Die Resultate der Literaturrecherche werden im Kapitel 0 behandelt.

Die Methode, die für die eigenen Forschungsarbeiten angewendet wird, wird im Kapitel 2.2 erklärt. Die Forschungsarbeiten dienen dazu die gewonnenen Ideen umzusetzen, neue Ideen und Prozesse auszutesten, bis sich ein Verfahren herauskristallisiert, welches für ein generelles In-house Recycling verwendet werden kann. Das entwickelte Recyclingverfahren wird im Kapitel 3.4 vorgestellt.

2.1 Literaturrecherche

Das Ziel der Literaturrecherche ist es, den aktuellen Stand der Recyclingverfahren zu untersuchen. Die Literaturrecherche dient als Grundlage, um Ideen zu entwickeln, wie ein In-house Recycling durchgeführt werden könnte. Die Absicht sind ideale Kombinationen zu finden und intelligente Prozesse, die mit einer Optimierung für das In-house Recycling verwendet werden können. Die Literaturrecherche wird in drei Unterkapitel unterteilt. Im ersten Unterkapitel wird das systematische Vorgehen der Literaturrecherche vorgestellt. Das zweite Unterkapitel beschreibt und visualisiert die Resultate. Im letzten Unterkapitel werden die Erkenntnisse zusammengefasst. Die Abbildung 1 dient als Überblick für das Vorgehen der Literaturanalyse.

2.1.1 Systematische Methode

Um eine qualitative Literaturrecherche erfolgreich durchzuführen, wurde eine systematische Recherche durchgeführt. Dadurch wird einerseits ein weites Spektrum analysiert und andererseits werden die geforderten Themenbereiche mit der nötigen Tiefe untersucht. Die Literaturrecherche wurde in 4 Schritten durchgeführt. In einem ersten Schritt wird der Rahmen und Umfang (2.1.1.1) der Literaturrecherche festgelegt. Danach wird der Suchprozess (2.1.1.2) definiert und limitiert, gefolgt vom dritten Schritt, der Einstufung der Relevanz der Artikel (2.1.1.3). Zum Schluss wird eine qualitative Analyse (2.1.1.4) durchgeführt. Die Abbildung 1 visualisiert das Vorgehen der Literaturrecherche.

2.1.1.1 Rahmen und Umfang

Der Fokus der Literaturrecherche bezieht sich auf bestehende und aktuelle Methoden. Das Ziel, wie im Vorwort bereits erklärt, ist es den aktuellen Stand der Recyclingverfahren zu untersuchen, um eine ideale Kombination zu finden oder einen Prozess zu optimieren. Analysiert wird auf neutraler Perspektive mit einem repräsentativen Abdeckungsgrad. Dies bedeutet, dass eine Auswahl an Literatur gefunden werden muss, die das gesamte Spektrum der aktuellen Recyclingverfahren wiedergibt. Bewertet wird nach Inhalt und nicht nach dem Autor.

2.1.1.2 Suchprozess

Um die Suche zu strukturieren, wurde eine Limitation an Stichwörter festgelegt. Die meist verwendeten Stichwörter waren „Lithium ion“, „recover“, „LiFePO₄“, „mechanical“ und „recycling“.

Für die Suche wurden folgende Datenbanken benutzt: ScienceDirect, IEEEExplorer, ACSPublication, Google Scholars und J- Stage.

Um die Suche weiter zu limitieren, werden nur englische und deutsche Artikel ausgewertet.

Die Artikel, die bei der Suche erschienen, wurden anhand des Titels aussortiert. Insgesamt wurden 76 Artikel anhand des Titels ausgewählt und für die Arbeit hilfreich eingestuft. Die 76 vielversprechenden Titel wurden im Anhang A in der Tabelle 12 aufgelistet und auf ihre Relevanz geprüft. Der Relevanztest besteht darin, den Abstract durchzulesen und eine Meinung zu den im Vorfeld definierten Kriterien zu bilden. Die Artikel, die einen aussichtsvollen Abstract aufweisen, werden komplett durchgelesen. Diese vorbehaltlich relevanten Artikel werden in einer Arbeitsbibliothek (Anhang B) erfasst.

2.1.1.3 Relevanz / Einstufung

Um die 76 Artikel einzugrenzen, wurden die Berichte auf Ihre Relevanz analysiert, dann die Artikel anhand vier Kriterien eingestuft:

- (1) Art der Methode des Recyclingverfahren
- (2) Machbarkeit
- (3) Resultat
- (4) Umweltrecht

Es wurden weitere Relevanzkriterien analysiert, wie zum Beispiel die Wirtschaftlichkeit, die Arbeitssicherheit oder die Recyclingrate. Insgesamt wurden 27 Artikel als weiterhin

zielführende Berichte in der Arbeitsbibliothek erfasst. Die vollständige Analyse ist im Anhang B Arbeitsbibliothek hinterlegt und die Details können dort nachgelesen werden.

2.1.1.4 Qualitative Analyse

Nachdem die Arbeitsbibliothek erstellt war, wurden die Artikel miteinander verglichen. Die Artikel wurden in verschiedene Kategorien eingeteilt, um eine Übersicht zu erhalten und den momentanen Forschungsstand zu visualisieren (vgl. nächstes Unterkapitel). Dieses Kapitel umfasst alle Resultate, die sich aus dieser Arbeit ergeben. Als erstes werden die Resultate der Literaturrecherche im Kapitel 0 dargestellt. Danach werden im Kapitel 3.2 die Sicherheitsaspekte beschrieben, die für das Recyclingverfahren von zentraler Bedeutung sind. Sie ergeben sich aus Abklärungen und aus der Konsultation der MSDS (Sicherheitsdatenblätter). Im nächsten Kapitel 3.3 werden die Forschungsversuche zusammengefasst. Die vollständigen Arbeitsprotokolle können im Anhang B eingesehen werden. Das nächste Kapitel 3.4 ist der Kern dieser Arbeit. Das erarbeitete In-house Recyclingverfahren wird vorgestellt. Hierfür wurde eine Anleitung geschrieben, welche die einzelnen Schritte erklärt (Anhang F). Das nächste Kapitel 3.5 behandelt die Bilanzierung der Zelle. Hier wurde untersucht, aus welchen Bestandteilen die recycelte Zelle besteht. Diese Resultate sind zentral, um die Wirtschaftlichkeit in einem nächsten Schritt berechnen zu können. Die Wirtschaftlichkeitsrechnung hat gezeigt, dass sich diese Recyclingmethode auch aus finanzieller Sicht lohnen könnte. Dies wird im Kapitel 3.6 erläutert.

Resultate). Durch diese Analyse konnten verschiedene Recycling-Kategorien gebildet werden, die für die Entwicklung des eigenen In-house-Recycling Verfahrens hilfreich sein würden.

Suche nach Artikel



Vielversprechende Titel werden im Suchprotokoll erfasst.

Suchprotokoll

Suchinstrument	Sucheigabe	Treffer	Linschränkungen	Ergebnisse
(Datenbank / Bibliothek / Suchmaschine etc.)	(Suchbegriffe / Verknüpfungen)	(Anzahl)	(Zusätzliche Suchkriterien / Journale)	
IEEE Explorer	Lithium ion AND Recycling	26		- Recovering copper from spent lithium ion battery by a mechanical separation process
ABC Publication	Lithium Recycling	42	Sucheingabe nur Abstract	- Mechanochemical Process Enhanced Cobalt and Lithium Recycling from Wasted Lithium-ion Batteries, Mks.Aputes.pcs.online/10.1021/acschemlett.7b02017 - Sustainable Recovery of Cathode Materials from Spent Lithium-ion Batteries Using Lactic Acid Leaching System, Mks.Aputes.pcs.online/10.1021/acschemlett.7b02571 Novel Approach for In Situ Recovery of Lithium Carbonate from Spent Lithium Ion Batteries Using Vacuum Metallurgy,

Artikel mit einem relevanten Abstract werden in der Arbeitsbibliothek erfasst.

Arbeitsbibliothek

Abstrakt	Titel	Autoren	Jahr	Journal	Abstract	Keywords	Relevanz	Verfügbarkeit	Quelle	Verfasser											
...

Artikel aus der Arbeitsbibliothek werden kategorisiert und visualisiert

Zusammenfassung/ Visualisierung

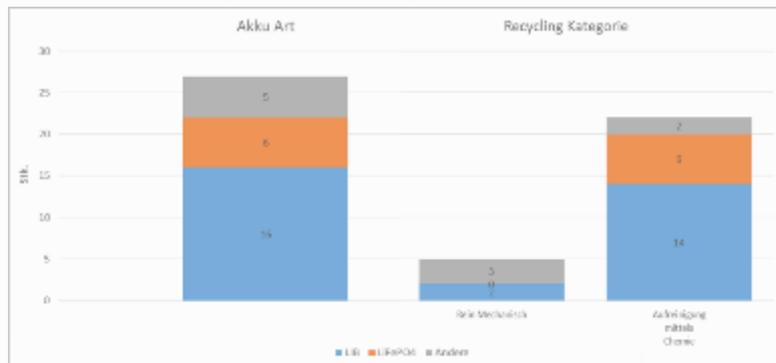


Abbildung 1: Vorgehen der Literaturanalyse (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018)

2.2 Methode zur eigenen Forschungsarbeit

Um ein eigenes In-house Recyclingverfahren zu untersuchen, werden verschiedene Versuche direkt mit den Zellen durchgeführt. Die einzelnen Versuche werden in einem Arbeitsprotokoll erfasst und dokumentiert. Die Versuche werden einzeln (Schritt für Schritt) geplant und durchgeführt. Dies bringt den Vorteil, dass nach jedem Versuch eine Reflexion durchgeführt werden kann und Verbesserungen und Änderungen für den nächsten Versuch miteinbezogen werden können. Es ist keine fixe Anzahl an Versuchen geplant. Es werden so viele Versuche durchgeführt wie es nötig scheint.

Die Forschungsarbeiten wurden vom Oktober 2017 bis Januar 2018 an der ZHAW in Wädenswil durchgeführt. Da der Arbeitsplatz für die Zerlegung gut belüftet sein sollte, wurde von der ZHAW eine Kapelle zur Verfügung gestellt. Die zur Verfügung gestellten Akkus stammten von der Firma KYBURZ Switzerland AG.

3 Resultate

Dieses Kapitel umfasst alle Resultate, die sich aus dieser Arbeit ergeben. Als erstes werden die Resultate der Literaturrecherche im Kapitel 0 dargestellt. Danach werden im Kapitel 3.2 die Sicherheitsaspekte beschrieben, die für das Recyclingverfahren von zentraler Bedeutung sind. Sie ergeben sich aus Abklärungen und aus der Konsultation der MSDS (Sicherheitsdatenblätter). Im nächsten Kapitel 3.3 werden die Forschungsversuche zusammengefasst. Die vollständigen Arbeitsprotokolle können im Anhang B eingesehen werden. Das nächste Kapitel 3.4 ist der Kern dieser Arbeit. Das erarbeitete In-house Recyclingverfahren wird vorgestellt. Hierfür wurde eine Anleitung geschrieben, welche die einzelnen Schritte erklärt (Anhang F). Das nächste Kapitel 3.5 behandelt die Bilanzierung der Zelle. Hier wurde untersucht, aus welchen Bestandteilen die recycelte Zelle besteht. Diese Resultate sind zentral, um die Wirtschaftlichkeit in einem nächsten Schritt berechnen zu können. Die Wirtschaftlichkeitsrechnung hat gezeigt, dass sich diese Recyclingmethode auch aus finanzieller Sicht lohnen könnte. Dies wird im Kapitel 3.6 erläutert.

3.1 Resultate der Literaturrecherche

Sobald die Arbeitsbibliothek erstellt war, wurden die Artikel miteinander verglichen und analysiert. Zuerst wurden alle Akkus nach ihrem Akku Typ einsortiert. Zugleich wurden auch die Recycling Methoden pro Akku Typ ermittelt. Es stellte sich die Frage nach dem „wie“ und „mit welchen Mitteln“ werden die Akkus recycelt. Hier wurde zwischen den mechanischen und dem chemischen Prozess unterschieden. Die Abbildung 2 visualisiert diese Kategorisierung der 27 Artikel der Arbeitsbibliothek. Die erste Säule links stellt den Typ des Akkus dar, mit welchem in den Artikeln geforscht wurde. Es wurden drei Differenzierungen von Akkutypen erkannt. Den LIB, den LiFePO_4 und übrige Typen von Akkus. In den meisten Artikel wurde der Oberbegriff LIB benutzt, was im Englischen ausgeschrieben „Lithium Ion Battery“ bedeutet. Die linke Säule visualisiert, dass mehr als die Hälfte der Artikel, den Akku Typ LIB behandeln (insg. 16 Artikel). Ein plausibler Grund dafür könnte sein, dass die Forscher somit einen allgemeinen Prozess etablieren wollen, bei dem jeder Akku recycelbar wäre. Bei 6 Artikeln handelt es sich ausschliesslich um den Typ LiFePO_4 Akku.

Bereits bei der Suche nach geeigneter Literatur wurde bemerkt, dass der spezifische Akku Typ LiFePO_4 bei den Suchergebnissen schwach vertreten war. Dadurch kann angenommen werden, dass dieser Typ momentan wenig erforscht ist. Der Rest – 5 Artikel – behandeln jegliche Akkus, wie zum Beispiel 18650 Li-ion Akkus oder nur die Rückgewinnung der Kathode.

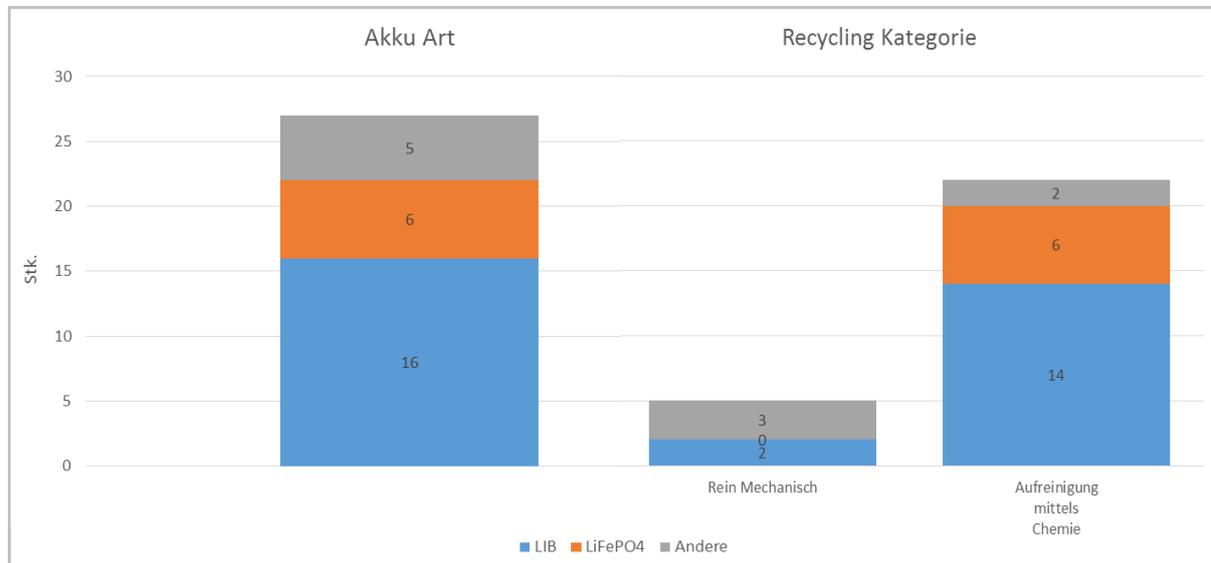


Abbildung 2: Zusammenfassung der Resultate (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018)

Wird nun die Recycling Methode untersucht (mittlere und rechte Säule), ist ersichtlich, dass 5 Artikel einen reinen mechanischen Ablauf (mittlere Säule) beschreiben. In dieser Arbeit wird der Begriff „mechanisch“ auch für physikalische Änderungen und Anwendungen verwendet. Daraus kann interpretiert werden, dass erstaunlicherweise in keinem der Artikel, die ein rein mechanisches Verfahren behandeln, der spezifische Typ LiFePO_4 untersucht wird.

Die restlichen 22 Artikel (rechte Säule) beschreibt im Recyclingverfahren zwei Hauptschritte. Im ersten Schritt wird jeweils eine mechanische Haupttrennung vollzogen, gefolgt vom zweiten Schritt, bei dem die Aufreinigung mittels Chemie durchgeführt wird. Je nach Artikel, kann nach der Aufreinigung nochmals ein mechanischer Prozess geschehen.

Werden nun die zwei Recycling Methoden verglichen, ist ersichtlich, dass rund 80 % eine chemische Aufreinigung beinhalten. Nur rund 20 % werden rein mechanisch betrieben.

Im folgenden Unterkapitel „Übersicht der Recyclingmethoden“ wird der mechanische Prozess und der chemische Prozess mit ihren einzelnen Prozessschritten im Detail erläutert.

3.1.1 Übersicht der Recyclingmethoden

Als Ergebnis der Literaturrecherche kann generalisiert werden, dass die Recyclingmethoden in Vorbereitung, Demontage, Aufreinigung mechanisch und Aufreinigung chemisch unterteilt werden können.

3.1.1.1 Vorbereitung

Um den diversen Sicherheitsaspekten beim Recycling nachzukommen, werden die meisten Akkus vor der Demontage komplett entladen. Es gibt zwei Methoden (siehe Abbildung 3), die dafür geeignet sind und eine Methode um die Reaktionsgeschwindigkeit zu reduzieren. 1) der Akku wird in Salzwasser getaucht. Dadurch entstehen eine leitende Verbindung zwischen den Elektroden und eine vollständige Entladung. 2) der Akku wird über eine Entladestation direkt entladen (W. Wang & Wu, 2017). Ein weiterer Artikel beschreibt den Vorgang, 3) dass der Akku auch in flüssigem Stickstoff eingetaucht werden kann und erst danach demontiert wird. In den meisten Artikel wird der genaue Entladeprozess jedoch nicht beschrieben.

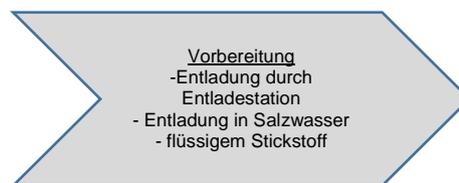


Abbildung 3: Vorbereitung der Recyclingmethoden
 (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018)

3.1.1.2 Demontage

Bei jeder Recyclingmethode wurde der entladene Akku als erstes demontiert. Die einfache und schnelle Variante ist es, den gesamten Akku zu schreddern. Wird diese Methode angewendet, folgt in den meisten Fällen eine Siebung Schredderfraktionen. Ein Produkt dieser Variante ist ein Pulver, welches in einem nächsten Schritt entweder mechanisch oder chemisch aufgereinigt wird (siehe Abbildung 5). Die andere Variante beinhaltet, den Akku in seine Hauptkomponenten zu zerlegen (siehe Abbildung 4). Dieser Prozess ist zeitaufwendiger, jedoch können bei dieser Methode bereits die Komponenten grob getrennt werden, wie zum Beispiel das Gehäuse, die Elektroden und der Separator. Dieser Prozess wird entweder manuell oder automatisch vollzogen. Werkzeuge für die manuelle Zerlegung sind zum Beispiel: Messer, Schraubenzieher, Säge und Schere.

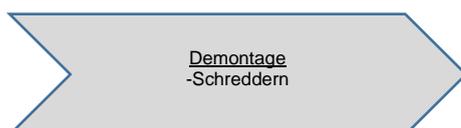


Abbildung 5: Demontage, Schredder
 (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018)

ODER

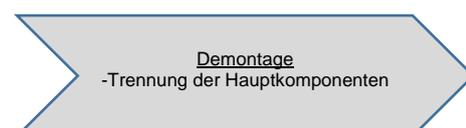


Abbildung 4: Trennung der Hauptkomponenten
 (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018)

3.1.1.3 Aufreinigung mechanisch

Wird nun auf rein mechanischem Weg weiter recycelt, beschreiben alle Artikel, dass der Vorschritt „die Demontage“ mit einem Schredder vollzogen wurde. In keinem der Artikel werden die Akkus in ihren Hauptkomponenten getrennt und danach rein mechanisch weiterverarbeitet. Wird nun der Akku in Pulverform weiter verarbeitet, wurden vier verschiedene Prozesse beschrieben. Entweder geschah die Weiterverarbeitung direkt mit einem (1) Wirbelschichtreaktor (Zhu et al., n.d.), oder (2) mit einer Röstungsmaschine und danach einer Auswaschung und Filtration mit Wasser (Xiao et al., 2017), (3) oder mit einer Röstungsmaschine und danach mittels Magnettrennung (Li, Jia et al., 2016) oder (4) mit einem Luftabscheider mit einem Magnetrenner gefolgt von einem Ofen Prozess (Hanisch et al., 2015) (siehe Abbildung 6). Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass noch weitere Methoden bestehen könnten, welche jedoch in dieser Literaturrecherche nicht gefunden oder berücksichtigt wurden.

Die mechanische Weiterverarbeitung ist in den meisten Fällen mit sehr vielen technischen Utensilien verbunden. Welche Bestandteile durch die mechanische Aufreinigung gewonnen werden können, ist in der Abbildung 8 zusammengefasst.

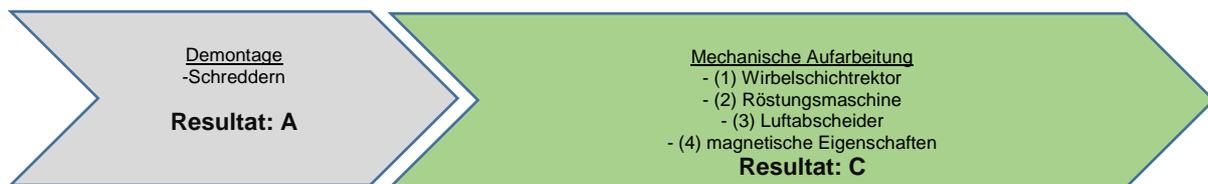


Abbildung 6: Mechanische Aufreinigung (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018)

3.1.1.4 Aufreinigung chemisch

Eine andere Variante, den Akku nach der Demontage weiter zu recyceln, ist den Akku mit einem chemischen Verfahren zu behandeln (siehe Abbildung 7, braungelbe Pfeile). Der chemische Prozess ist sehr vielseitig, je nachdem welches Produkt am Schluss entstehen soll. Durch den Einsatz von Chemie, können Strukturen verändert werden und bei Bedarf neu synthetisiert werden. Die Chemie wird nach der Demontage vor allem eingesetzt, um zum Beispiel die Beschichtungen der Elektroden abzulösen. Je nachdem, ob es erwünscht ist, kann diese abgetrennte Beschichtung wieder neu synthetisiert werden. Um die Beschichtung abzulösen, wird in manchen Fällen ein Ultraschallbad zur Unterstützung verwendet. Die meist eingesetzte Säure ist Schwefelsäure. In vielen Fällen wird zusätzlich zur Säure ein wenig Wasserstoffperoxid zugefügt. Dies soll dem Ablösen der Beschichtung entgegenkommen / vereinfachen. Nach der chemischen Aufreinigung folgt je nach Literatur ein mechanischer Prozess oder auch nicht:

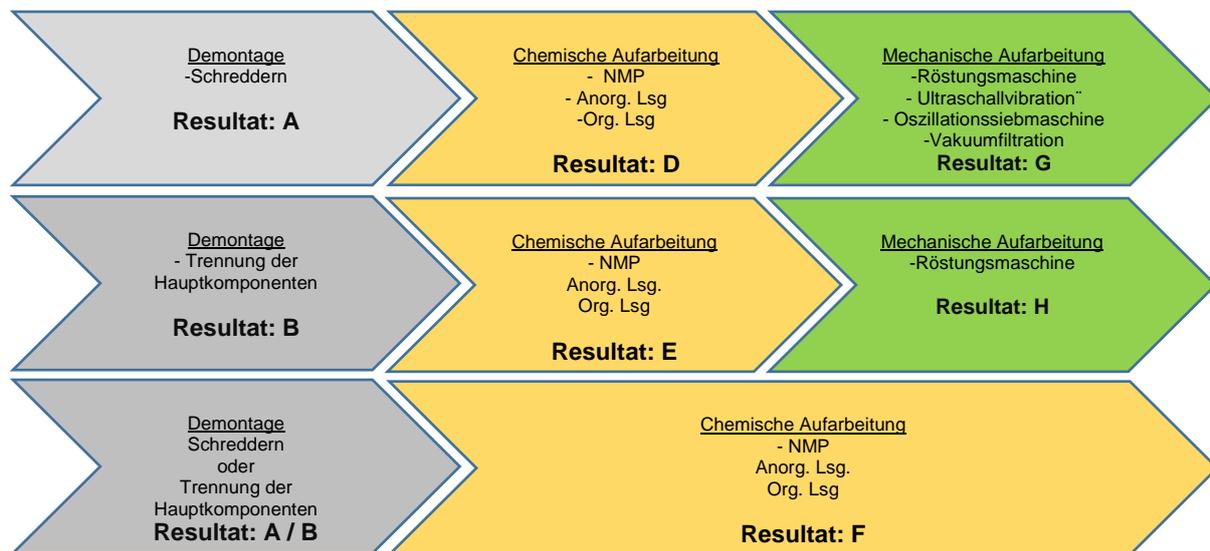


Abbildung 7: Chemische Aufreinigung (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018)

Um der Umwelt entgegenzukommen, verzichten einige Artikel auf den Einsatz von starken Säuren beziehungsweise Lösemittel. Laut mehreren Artikeln sind alternative und umweltfreundliche Lösungsmittel zum Beispiel die Zitronensäure oder die Bernsteinsäure, die sich eignen.

Welche Bestandteile durch die chemische Aufreinigung gewonnen werden können, ist in der folgenden Abbildung 8 zusammengefasst.

3.1.1.5 Recyclingmethoden

Abbildung 8 und die 1 fassen die möglichen Recyclingmethoden und die daraus rückgewonnenen Materialien zusammen.

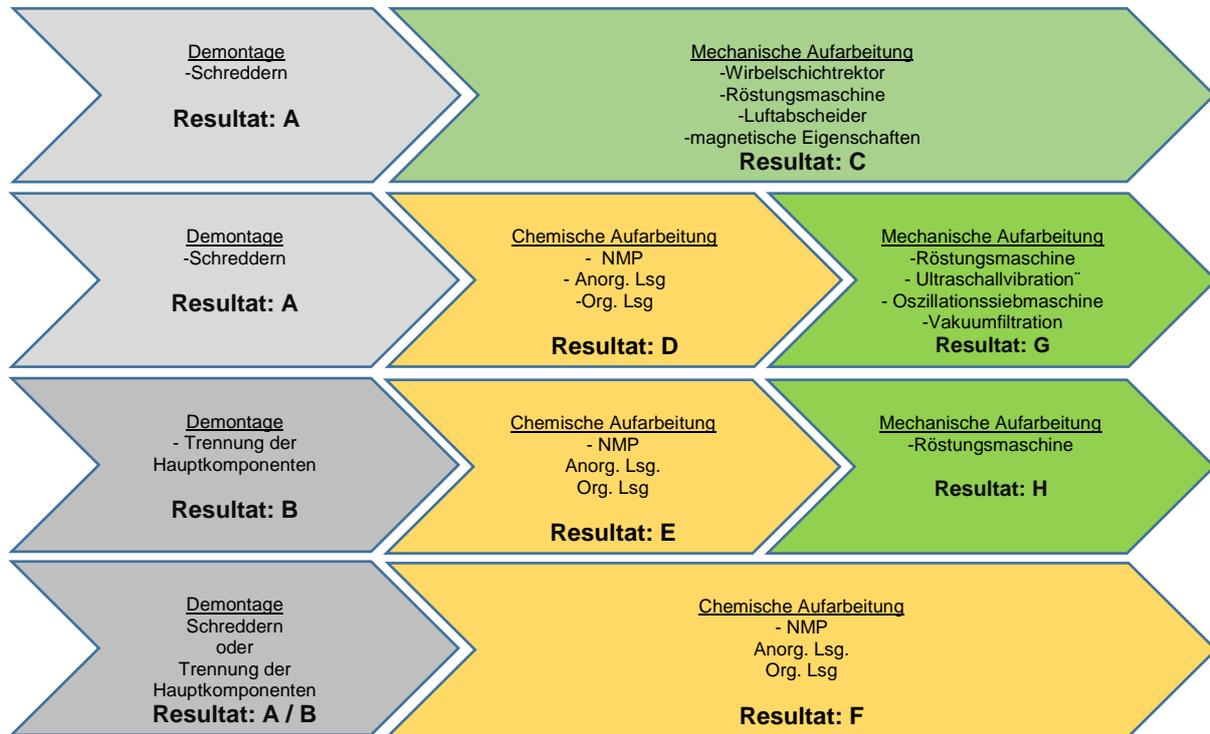


Abbildung 8: Recyclingmethoden (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018)

Tabelle 1: Resultat der Recyclingmethoden (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018)

Resultat (Je nach Akku Typ)	
A	- Pulver
B	- Plastik
	- Separator
	- Anode
C	- Gehäuse
	- Kathode
	- Plastik
	- Separator
	- Anoden Material
D	- Kathoden Material
	- Kupfer
	- Aluminium
	- Lithium
E	- Kobalt
	- Eisen
	- LiCO ₃
	- FePO ₄
F	- Li ₂ CO ₃
	- Anoden Material
G	- Kathodenmaterial
	- Aluminium
	- Kupfer
H	- LiFePO ₄
	- Li
	- LiCl
	- LiOH
F	- Li ₂ CO ₃
	- Cobalt
	- Al
H	- LiFePO ₄

3.1.2 Erkenntnisse

In diesem Kapitel werden die Möglichkeiten, Vorschläge und Erkenntnisse erläutert, welche sich aus der Literaturrecherche für die entwickelte Recyclingmethode herauskristallisiert haben.

Für die Entladung wird die zweite Variante – die Entladestation – bevorzugt. Einerseits handelt es sich um eine einfache Methode, die ihren Zweck erfüllt. Andererseits handelt es sich um eine einmalige Investition, im Vergleich zu Salzwasserlösung und Schwefelsäure, die jeweils nachbestellt werden müssen. Zusätzlich sind allfällige Nebenreaktionen bei der Salzwasserlösung unbekannt.

Die Demontierung der Zelle erfolgt durch Schreddern oder Trennen der Hauptkomponenten. Eine Pulverisierung der Zelle, mittels Schredder oder Møser wird nicht favorisiert. Erstens sind die Sicherheitsvorkehrungen, die zu treffen sind, viel grösser. Die Zelle kann beim Schreddern funken bilden und dadurch den Elektrolyten entzünden. Dies könnte das Risiko der Bildung von Flusssäure (HF) verstärken. Zweitens können beim Schreddern die Hauptkomponenten nicht mehr in ihre Ursprungform getrennt werden. Die Trennung der Hauptkomponenten hat den Vorteil, dass man den Akkuaufbau gleichzeitig studieren kann. Aus diesen Gründen ist die Entscheidung auf die manuelle Demontage in die Hauptkomponenten gefallen. Als erstes wird das Gehäuse mittels Säge, Messer und Schraubenzieher geöffnet (Dorella & Mansur, 2007). Sobald das Gehäuse entfernt ist, werden die Hauptkomponenten getrennt und sortiert.

Aus den Artikeln wird ersichtlich, dass die mechanische Trennung bis zu einem gewissen Stand gut möglich ist. Für eine reine mechanische Aufreinigung des Akkus könnten Schwierigkeiten auftauchen. Gemäss den Artikeln, bei denen eine reine mechanische Aufreinigung durchgeführt wurde, wird ersichtlich, dass grössere Apparaturen notwendig sind. Solche Apparaturen, wie ein Wirbelschichtreaktor (Zhu et al., n.d.) oder eine Röstungsmaschine (Jia Li et al., 2016) sind an der ZHAW im Labor nicht vorhanden. Es müssten grössere Investition gemacht werden, um eine solche Apparatur anzuschaffen. Ebenfalls wäre es sehr aufwendig eine solche Apparatur nachzubauen. Eine solche Investition, ohne Garantie auf eine erfolgreiche Recyclingmethode, würde sich nicht lohnen. Desgleichen ist ein Nachbauen der Apparaturen aus zeitlichen und rechtlichen Gründen nicht möglich. Zusätzlich spricht der hohe Energieverbrauch der Apparaturen gegen deren Einsatz. Zum Beispiel benötigt die Röstungsmaschine eine Temperatur von mindestens 600°C. (Jiangping Chen, Qingwen Li, Jishun Song, Dawei Song, Lianqi Zhang, 2015) Ebenfalls muss man sich die Frage stellen, ob sich solche Apparaturen für ein In-house Recycling überhaupt eignen. Eine Alternative wäre es, das aktive Material an eine Firma weiterzugeben, die solche Apparaturen bereits besitzt.

Da jedoch sehr viele Chemikalien an der ZHAW im Labor bereits vorhanden sind, wird der Fokus für die eigene Forschung die chemische Aufreinigung gesetzt. Ein wesentlicher Nachteil für den Einsatz von Chemikalien sind Umweltrisiken, denn oft werden starke Lösemittel eingesetzt (Joulié et al. 2014) (W. Wang & Wu, 2017). Aus diesem Grund, wird darauf geachtet, dass möglichst umweltfreundliche Chemikalien benutzt werden. Ein weiterer Grund, der für die Aufreinigung durch Chemikalien spricht, ist der im Vergleich tiefe Energieeinsatz in der Anwendung. Die Ablösung der Beschichtungen geschieht meistens bei Temperaturen zwischen 60 bis 100°C. Damit ist der Energiebedarf eher gering.

Um aber auch der mechanischen Aufreinigung eine Chance zu geben, sollte durch abschaben, abkratzen, bürsten, zerkleinern, sieben und Magnete eine mechanische Trennung der Beschichtung ausprobiert werden. Ist eine solche Trennung nicht möglich, sollte erst mittels Lösemittel versucht werden, die Beschichtungen zu reinigen. Dabei sollten verschiedene Lösemittel getestet werden. Dazu stellt sich die Frage, ob es rein chemisch funktioniert oder aber auch mechanische Hilfe benötigt wird – zum Beispiel mit einem Ultraschallbad. Folgende Erkenntnisse sollten in der eigenen Forschung getestet werden:

- Reicht es die Elektrode in einem mit Lösemittel befüllten Behälter zu stellen und abzuwarten, oder muss die Elektrode vorher zerkleinert werden?
- Welche Grösse ist dann die optimale Grösse?
- Reicht ein normaler Behälter aus oder sollte dieser Behälter in einem Ultraschallbad liegen? Muss ein zusätzliches kleines Rührwerk integriert sein?
- Sollte das Rührwerk magnetische Eigenschaften besitzen?

Des Weiteren soll wie im Artikel (L. Li et al., 2014) das Sättigungsverhältnis zwischen dem Lösemittel und dem Aktivmaterial/ der Beschichtung getestet werden. Je weniger Lösemittel eingesetzt wird, desto besser für die Umwelt und die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens. Eine weitere Frage stellt sich auch, ob es möglich ist, gemäss Artikel (L. Li et al., 2014) organische Lösemittel wie Zitronensäure einzusetzen. Damit würden diese organischen Lösemittel der Umwelt weniger schaden. Die chemische Option sollte nur dann eingesetzt werden, wenn die Reinheit der mechanische Trennung nicht gut genug erscheint.

Das Ziel ist es eine funktionierende Recyclingmethode zu etablieren. Ob eine rein mechanische Methode ausreichend ist, oder ob das mechanische Verfahren mit dem chemischen Verfahren kombiniert werden soll, wird sich aus den Versuchen ergeben.

3.2 Sicherheitsaspekte

Um den erforderlichen Personenschutz zu gewährleisten, werden kurz die wichtigsten Punkte und Grundverhaltensregeln aufgelistet, die zu beachten sind. Im Anhang D sind jeweils die wichtigsten Informationen aus den MSDS die jeweiligen Stoffe zusammengefasst.

3.2.1 Sicherheitseinrichtung

Bitte informieren Sie sich, wo sich Brandmelder, Telefon, Notdusche, Augendusche, Löschdecke und andere Löschmöglichkeiten befinden. Überprüfen Sie, ob die Sicherheitseinrichtungen auf Ihre Funktionsfähigkeit oder auf ihr Verfallsdatum überprüft wurden oder noch ihre Plombe haben. Laut Batteryuniversity sind bei einem Brand der Schaumlöscher, CO₂, ABC-Trockenlöschmittel, Graphitpulver, Kupferpulver oder Natriumcarbonat die besten Löschmöglichkeiten (Batteryuniversity, n.d.). Laut MSDS der CO₂ Löscher (PONY, 2013).

Des Weiteren sind die Fluchtwege und Notausstiege zu kennen und jederzeit frei zu halten.

Überprüfen Sie, ob die Kapelle, in welcher Sie arbeiten, einen genug starken Abzug bzw. Absaugwirkung hat. Dies ist eine sehr wichtige Überprüfung, da das Elektrolytgemisch einen tiefen Flammpunkt besitzt. Des Weiteren sind jegliche Zündquellen in der Nähe verboten.

3.2.2 Persönliche Schutzausrüstung

Bitte tragen Sie nichts, was aus Kunstfaser besteht (Schutz vor Brand und elektrostatischer Aufladung). Ein geeignetes Material ist Baumwolle. Das Kleidungsstück soll vorne schliessbar sein und die Arme bedecken. Diese Schutzkleider sollten nur bei der Arbeit getragen werden und bei Kontamination mit Chemikalien sofort gewaschen werden. Bitte tragen Sie immer geschlossenes Schuhwerk. Weiterhin ist die Schutzbrille stets zu tragen. Bitte vermeiden Sie Kontaktlinsen. Das Tragen von Ringen oder Uhren ist verboten, da das Risiko besteht, einen Kurzschluss mit der Zelle zu erzeugen.

Auch die Hände müssen Geschützt werden. Aus diesem Grunde tragen Sie immer Handschuhe. Wenn Sie mit dem Elektrolyten hantieren, tragen Sie bitte *Butylhandschuhe* der minimale Schichtdicke von *0.3mm*. Bei jedem anderen Hantierschritt tragen Sie bitte *Nitrilhandschuhe* der minimale Schichtdicke von *0.11mm*. Bitte beachten Sie, dass die Durchbruchzeit der Handschuhe stets zu befolgen ist.

Das Essen und Trinken am Arbeitsplatz ist verboten.

3.2.3 Lagerung der Zellen

Um weitere Sicherheitsaspekte zu gewährleisten, müssen die Zellen richtig gelagert werden. Die INOBAT schlägt für den Transport von beschädigten LIB Zellen geprüfte Metallfässer vor, die mit Vermiculit gefüllt sind. Vermiculit hat die Eigenschaft sich bei hoher Wärme zu verflüssigen. Dadurch wird bei einem Brand einerseits der Quelle Wärme entzogen und andererseits wird die Sauerstoffzufuhr herabgesetzt (INOBAT, n.d.). Solche Metallfässer werden von der KYBURZ Switzerland AG benutzt (siehe Abbildung 9) und können bei der Recyclingmethode für die Lagerung benutzt werden.



Abbildung 9: Sicherheitsfässer (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018)

3.2.4 Entsorgung der Chemikalien

Um Umweltbelastungen zu vermeiden, müssen alle Reste und kontaminierten Stoffe ordnungsgemäss entsorgt werden. Dies bedeutet, dass am Arbeitsplatz verschiedene Entsorgungsbehälter vorhanden sein müssen und die Chemikalien und Stoffe in verschiedene Gruppen getrennt werden. Einige Chemikalien müssen vor dem Entsorgen neutralisiert werden.

Um mehr Informationen über die Entsorgung der spezifischen Recyclingmethode zu erfahren, gehen Sie zum Abschnitt „Entsorgung“, welcher sich in der Anleitung auf der letzten Seite befindet.

3.2.5 HF Bildung

Die Zelle enthält das gelöste Salz LiPF_6 (siehe Formel (1)). Hohe Temperaturen führen dazu, dass sich LiPF_6 bei circa 60°C und im Kontakt mit Luftfeuchtigkeit zersetzt, was zur Freisetzung von HF und anderen toxischen Gasen führt (Diekmann et al., 2017). Diese Aussage wird durch den Artikel „Thermal Stability of LiPF_6 Salt and Li-ion Battery Electrolytes Containing

LiPF₆“ nochmals bestätigt. Die thermische Zersetzung liegt bei 87°C und einer Konzentration von 300ppm Wasser (Hui Yang n.d.).



Liegt das LiPF₆ Salz in in EC, DMC und in EMC vor, bildet sich auch bei höheren Temperaturen (260°C) und 300 ppm Wasser kein HF oder andere Stoffen (Hui Yang n.d.).

3.2.5.1 Absicherung der HF Bildung

Laut dem Kapitel 0 bildet sich HF erst ab einer gewissen Temperatur. Aus Sicherheitsgründen, wird die tiefere Temperaturquelle (60°C) als Referenz genommen. Da die Recyclingmethode eine Temperatur von 30°C nie überschreitet, ist die Bildung von HF und anderen toxischen Gase auszuschliessen.

Da HF aber eine sehr gefährliche Substanz ist, werden zusätzliche Sicherheitsmassnahmen angewendet um eine HF Bildung auszuschliessen. Als Sicherheitsmassnahme wird der abgezogene Elektrolyt in eine NaOH und Ca(OH)₂ Lösung eingeleitet. Dadurch reagiert das gelöste LiPF₆ Salz mit der Natronlauge wie in Formel (2) dargestellt. Sollte sich trotz allem HF bilden, reagiert die Flusssäure mit dem Calciumhydroxid; gemäss Formel (3).



3.3 Forschung eines eigenen Recyclingverfahrens

Dieses Kapitel beschreibt die Entwicklung des Recyclingverfahrens. Zuerst wird das Verfahren vorgestellt, wie geforscht wurde. Danach wird die Forschungsarbeit zusammengefasst.

3.3.1 Zusammenfassung der Forschungsarbeit

Die Resultate der einzelnen Forschungstage werden in der nachfolgenden zusammengefasst und reflektiert. Die detaillierten Protokolle können im Anhang E gefunden werden.

Tabelle 2: Zusammenfassung der Forschungsarbeit (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018)^t

Versuch	Titel	Ziel	Hauptwerkzeug	Haupterkennntnis	Diskussion
1	Öffnung der Zelle Model Typ SE100AHA	Erster Überblick	- Schraubenschlüssel Grösse 23 - Dremel mit Metallsägeblatt der Dicke 0.75mm - Kunststoff-behälter	- Robustes Gehäuse - Gase entweichen beim Öffnen der Zelle - Kapelle als Arbeitsort momentan zwingend	- Das Gehäuse muss mit einem anderen Werkzeug geöffnet werden. - Wie lange und mit welcher Technik soll der Elektrolyt austropfen?
2	Mechanische Aufreinigung der Elektroden	Mit einfachen Werkzeuge die Beschichtung zu entfernen	- Spachtel - Stahlbürste - Messingbüste	Die Beschichtung lässt sich mit den Büsten entfernen	Die Bürsten sind zu hart
3	Aufreinigung der Elektroden durch Wasser	- Nachweis von Lithium - Entfernung der Beschichtung mittels Wasser	- Becherglas - Thermometer - Ultraschallbad - Wasser	Bestätigung der Literatur bei der Anode, Wiederlegung bei der Kathode.	Wiederholung um Versuch zu bestätigen

Versuch	Titel	Ziel	Hauptwerkzeug	Haupterkennnis	Diskussion
4	Sicheres Öffnen der Zellen Model Typ SE100AHA	Sichere Methode um Zelle zu öffnen	<ul style="list-style-type: none"> - Voltmeter - Bohrer - Schlauch - Spritze - Auffangbehälter 	Methode nicht geeignet	Eine neue Variante muss überlegt werden
5	Bestätigung des Versuches 3	Mit einer neuer Zelle den Versuch bestätigen	<ul style="list-style-type: none"> - Becherglas - Thermometer - Ultraschallbad - Wasser 	Bestätigung bei zwei neuen Zellen nicht erfolgreich.	Mehrere Gründe könnten für eine misslungene Bestätigung für sich sprechen (andere Restspannung, Handhabung, Lagerung, Einsetzung, Ent- und Ladevorgang).
6	Aufreinigung der Elektroden durch weiche Bürsten und Wasser	Mittels einer weichen Bürste und Wasser die Beschichtungen abtrennen	<ul style="list-style-type: none"> - Spritzflasche - weiche Bürste - Wasser 	Die Anode lässt sich gut reinigen, die eine Seite ist leichter zu reinigen als die andere. Die Kathode lässt sich nicht reinigen	Gute Methode für die Anode. Was geschieht mit der Suspension
7	Aufreinigung der Kathode durch milde organische Lösungsmittel	Reinigung der Kathode mittels milden org. Lsg	<ul style="list-style-type: none"> - Zitronensäure - Apfelsäure - Asparaginsäure - Essigsäure - Wasserstoffperoxid 	Das Ablösen der Beschichtung funktioniert bei allen Lsg. ausser bei der Asparaginsäure. Alle ausser die Essigsäure brauchen ein Zuschuss vom Wasserstoffperoxid	<ul style="list-style-type: none"> - Die Apfelsäure und die Essigsäure schneiden optisch am besten ab - Diese Variante wird erst optimiert, wenn nicht herausgefunden wird, warum sich die Zelle 1 von der Zelle 2 & 3 anders verhält
8	Sicheres Entfernen des Elektrolyten der Zellen Model Typ SE160AHA, Heissleimpistole	Sichere Öffnungsmethode	<ul style="list-style-type: none"> - Bohrer - Heissleimpistole - NaOH & Ca(OH)₂ - Vakuumpumpe - Waschflasche 	Heissleim eignet sich nicht um Schlauch zu befestigen	Eine neue Methode muss herausgefunden werden um den Schlauch zu befestigen

Versuch	Titel	Ziel	Hauptwerkzeug	Haupterkennnis	Diskussion
9	Sicheres entfernen des Elektrolyten der Zellen Model Typ SE100AHA, Gewindebohrer	Sichere Öffnungsmethode	- Bohrer - Gewindebohrer -Zwischenstück -Gummidichtung	Diese Methode eignet sich um das System abzudichten	Diese Methode wird zum Standardverlauf für das Öffnen der restlichen Zellen verwendet
10	Reinigungstest mit passiv entladene Zellen	- Passive Entladung der Zellen 4 & 5 - Unterschied zu Zelle 2 & 3?	- Petrischale - Wasser - Zange	Die Versuche bestätigen die Theorie	Um die Theorie zu bestätigen, muss dieser Vorgang nochmals getestet werden.
11	Bestimmung der Zusammensetzung der Zelle 5	Zusammensetzung der Zelle 5	-Waage	Die Zelle lässt sich in ihre Einzelteile gewichten.	Keine
12	Reinigungstest der Zelle 5	- Reinigung der Elektroden mittels Aceton und Ethanol - Abdestillieren eines Azeotropes	- Aceton - Ethanol - Rotations-verdampfer	- Reinigung mittels Aceton und Ethanol funktioniert nicht - Beschichtung der Anode kann getrocknet werden.	Es könnte eine Endlösung sein um die Beschichtungsmaterial der Anode zu gewinnen

Insgesamt wurden 13 Versuche entworfen und durchgeführt. Das Ziel des ersten Versuches war es den Aufbau der Zelle zu studieren. Mit der Anzahl an Versuchen, verbesserte sich die Recyclingmethode bis am Ende ein funktionierendes, sicheres Verfahren entstand. Das endgültige Verfahren besteht aus einer mechanischen Trennung, gefolgt von einer Abtrennung der Beschichtungen im Wasserbad. Für die mechanische Trennung werden alle Werkzeuge benötigt, die in der Anleitung unter dem Abschnitt Materialliste aufgelistet sind. Dadurch, dass sehr wenige Chemikalien zum Einsatz kommen und nur ein geringer Energiebedarf besteht, ist die endgültige Recyclingmethode ein umweltfreundliches Verfahren. Sie wird im Kapitel „Anleitung“ im Detail erläutert.

Die Haupterkennnis dieser Arbeit ist, dass die Zelle mit einem Widerstand von 0.68 Ohm auf eine Schlussspannung von 1 Volt (Arbeitsprotokolle wurden Versuche durchgeführt mit einer Schlussspannung zwischen 0.5 – 2 V) passiv entladen werden muss. Durch diese Methode geschehen im inneren der Zelle keine Nebenreaktionen mit Lithium und den anderen Komponenten. Dies bedeutet, dass die Zelle nicht in einen Stresszustand kommt, beziehungsweise beschädigt wird. Beim Öffnen der Zelle hat die Zelle immer noch eine Spannung, jedoch ist dies eine „Scheinspannung“

oder anders formuliert die eigene elektrochemische Spannung der Zelle. Werden nun die einzelnen Komponenten getrennt und die Elektroden aufgereinigt, funktioniert die Aufreinigung der Kathode am besten mit Wasser. Das Phänomen, dass sich die Aluminiumfolie der Kathode nach circa 30 Sekunden von selbst von der Beschichtung abtrennt, funktioniert nur mit Wasser. Vermutlich reagiert das Lithium, welches sich im Beschichtungsmaterial befindet, mit dem Wasser und bildet Wasserstoff. Dieser Wasserstoff bildet sich zwischen dem Aluminium und der Beschichtung und trennt somit langsam die Beschichtung von Aluminium ab. Zusätzlich entsteht bei dieser Reaktion Lithiumhydroxid, welches sich im Wasser auflöst. Werden andere Lösungsmittel eingesetzt, wie zum Beispiel Ethanol, war keine Reaktion zu beobachten, obwohl theoretisch auch bei Ethanol sich Wasserstoffe bilden sollten. Die Kombination des passiven Entladens und das Aufreinigung mittels Wasser wird als Schlüsselerkenntnis dieser Arbeit angesehen.

3.4 Anleitung In-house Recycling von LIB

Dieses Kapitel beinhaltet die Anleitung mit den einzelnen Recyclingschritten um die Zelle zu recyceln. Diese Anleitung entstand durch die verschiedenen Versuche im Labor. Alle Versuche können im Anhang E nachgelesen werden.

Die Anleitung befindet sich im Anhang F.

3.5 Bilanzierung der Zelle

In diesem Kapitel wird eine Massenbilanz der Zellbestandteile erstellt. Die Daten stammen aus dem Arbeitsprotokoll 12 und 13. Insgesamt wurden drei Zellen bilanziert. Parallel wurden die Ergebnisse der drei Zellen verglichen. Die Resultate weichen nur unwesentlich voneinander ab. Bei der Zelle #5, Arbeitsprotokoll 12 und 13 wurden die meisten Elektrodenplatten gewogen. Daher sind die Resultate der Zelle #5 am verlässlichsten (siehe Tabelle 3). Die erste Spalte der Tabelle listet alle Materialien auf, die sich in der Zelle befinden. Die zweite und dritte Spalte der Tabelle geben das jeweilige Gewicht des Materials an. Um sich die Befestigungstechnik visuell besser vorstellen zu können, wurde die letzte Spalte erstellt. Die Nummer in der letzten Spalte stehen in Verbindung mit dem Arbeitsprotokoll im Anhang E auf der Seite CII.

Tabelle 3: Bilanzierung der Zelle #5 (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018)

	Zelle #5		Nummer
	Gemessener Wert	Berechneter Wert	
Gewicht der Zelle	3223.4 [g]		
Gehäuse (versägt)	579.5 [g]		
Entstehender Abfall	2.5 [g]		
Elektrolyt gesammelt	30.5 [g]		
Separator	149.5 [g]		
Folie um Elektroden	16.5 [g]		
Anode			
Anzahl Anoden	105 [Stk]		
105 Anodenplatten getrocknet bei RT	745.2 [g]		
20 gereinigte Anodenplatten (Kupferplatten)	52.1 [g]		
105 gereinigte Anodenplatten (Kupferplatten)		273.5 [g]	
20 Anodenplatten Beschichtungen trocken	140.2		
105 Anodenplatten Beschichtung trocken		736.05 [g]	
Verlust		9.15 [g]	
Kathode			
Anzahl Kathodenplatten	105 [Stk]		
105 Kathodenplatten getrocknet bei RT	1070.1 [g]		
52 gereinigte Kathoden (Aluminiumplatten)	64.6 [g]		
105 gereinigte Kathodenplatten (Aluminiumplatten)		130.4 [g]	
52 Kathodenplatten Beschichtungen trocken	433.4 [g]		
105 Kathodenplatten Beschichtungen trocken		875.1 [g]	
Filterrückstand	3.0 [g]		
Gesamtgewicht der Kathode		1008.6 [g]	
Verlust		61.5 [g]	

Befestigungstechnik	Anzahl	Gesamtgewicht	
Schraube	4x	22.1 [g]	1
Metalldichtung klein	4x	0.95 [g]	2
Metalldichtung mittel	4x	0.8 [g]	3
Mutter klein	4x	3.4 [g]	4
Verbindung klein Al	2x	3.0 [g]	5
Verbindung gross Al	2x	2.1 [g]	6
Verbindung klein Cu	2x	9.9 [g]	7
Verbindung gross Cu	2x	6.7 [g]	8
Klemmstücke Al	1x	33.2 [g] (exkl. Gummidichtung 0.15g)	9
Klemmstücke Cu	1x	105.7[g] (exkl. Gummidichtung 0.15g)	10
Mutter grosse	2x	9.0 [g]	
Gesamtgewicht		197.15 [g]	
	70.1		
		Ausgerechneter Wert	
Verdunstetes Elektrolyt		232.7 [g]	
Recyclingrate	84.6 %		

Die Messergebnisse zeigen, dass rund 20 % der Gesamtmasse der Zelle dem Gehäuse angerechnet werden kann. Alle Befestigungsmaterialien haben einen Massenanteil von 6 %. Aus den Elektroden kann insgesamt rund 280 g Kupfer und 130 g Aluminium und gewonnen werden. Die höchsten Massenanteile haben die Beschichtungen der Elektroden (rund 22 % für die Anode und 27 % für die Kathode).

Insgesamt wurde ein Masseverlust von 230 g festgestellt. Dieser Verlust ist verdunstender und verdampfter Elektrolyt. Bei der Aufreinigung der Elektroden wurden die Elektroden zu Beginn gewogen. Nach der Reinigung und Trocknung wurden die Folien und das Beschichtungsmaterial nochmals gewogen. Für die Anode ergab sich ein Masseverlust von 9.2 g und bei der Kathode von 61.5 g. Es wird vermutet, dass die Elektroden noch Restfeuchte an Elektrolyt enthielten. Folglich verflüchtigen sich beim Öffnen einer Zelle ungefähr 160 g Elektrolyt.

Der Vergleich mit den MSDS Massenanteile in Tabelle 4 zeigt eine gute Übereinstimmung:

Tabelle 4: Vergleich der Gewichtsprozente Olivier Groux, ZHAW, 2018)

Stoff	CAS Nr.	MSDS	Zelle 5
		Massenanteil [%]	
Lithiumeisenphosphat	15365-14-7	31	27.1
Graphit	7782-42-5	18	22.8
Kupfer	7440-50-8	12	12.3
Aluminium	7429-90-5	8	5.2
Lithiumhexafluorphosphat	21324-40-3	4	Konnte nicht bestimmt werden
Karbonat	-	8	8.1
Polypropylen	9003-07-0	19	(a) 18.1 (b) 23.2 mit Separator und Folie)
		100	(a) 93.6 (b) 98.7

Einzig für Aluminium ergibt sich eine Differenz von 3%. Es ist nachgewiesen, dass das Kupfer und das Polypropylen komplett zurückgewonnen werden kann. Der berechnete Wert des

Lithiumeisenphosphats konnte nicht berechnet werden. Die 27.1 % entsprechen dem Beschichtungsmaterial der Kathode.

Leider fehlen in dem MSDS einige Gewichtsprozent Angaben, wie zum Beispiel die Daten vom Separator oder das Lösemittelverhältnis des Elektrolyten. Somit kann hier keine Überprüfung stattfinden.

Insgesamt hat die Zelle ein Recyclingpotential von 92.8 % und entspricht somit der Vorschrift mindestens eine Recyclingrate von 50 % einer LIB zu erzielen (*RICHTLINIE 2006/66/EG*, 2006).

3.6 Wirtschaftlichkeit

In diesem Kapitel wird die Wirtschaftlichkeit des Recyclingverfahrens ausgewertet. Zuerst werden die Investitionskosten dargelegt, gefolgt von den fortlaufenden Kosten, die für das Recycling einer der Zellen notwendig sind. Als Drittes wird der Umsatz anhand der Daten von Solenthaler Recycling AG ausgerechnet. Zum Schluss wird eine Bilanz über den Gewinn gezogen.

Das Recyclingverfahren wurde in dieser Arbeit unter Laborbedingungen durchgeführt. Alle Teilschritte wurden manuell vollzogen. In diesem Kapitel wird eine Wirtschaftlichkeit dargestellt, welche einen halbautomatischen Prozess berücksichtigt. Dieser halbautomatische Prozess könnte folgendermassen aussehen (Schlussbesprechung vom 22. März 2018):



■ : Manueller Prozess ■ : Maschineller Prozess

Abbildung 10: halbautomatischer Prozess
(Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018)

Die Firma KYBURZ Switzerland AG hat das Potential 10'000 Zellen pro Jahr zu recyceln. Die Anzahl der 10'000 Zellen setzen sich aus drei verschiedenen Nennkapazitäten zusammen. Die Nennkapazität bestimmt den Entsorgungspreis. In dieser Berechnung wurden 10'000 Zellen der Nennkapazität von 100Ah genommen.

Es muss in Betracht gezogen werden, dass die Quelle der Preise jeweils aus kommerziellen Internetseiten stammen. Dies bedeutet, dass die Preise je nach Bestellmenge variieren können.

3.6.1 Investitionskosten

Die Investitionskosten der In-house halbautomatischen Anlage wurden geschätzt. Die Investitionskosten umfassen sowohl den halbautomatischen, wie auch den manuellen Prozess. Beim manuellen Prozess können Kosten für Werkzeuge, wie Schraubenschlüssel oder Bohrer anfallen. Beim halbautomatischen Prozess müssen die Kosten für die Maschinen einkalkuliert werden. Die Kosten für die Sicherheit, wie die Schutzkleider, fallen ebenso in die Investitionskosten ein. Hinzu kommt die wichtige Schulung des Arbeitenden.

Die Qualität des Beschichtungsmaterials kann die Investitionskosten beeinflussen. Bei einer höheren Qualität ist der erzielte Gewinn höher und aus diesem Grunde kann sich Kyburz vorstellen, mehr zu investieren. Aus diesem Grund wurden beim Szenario 1 und 2 jeweils Investitionskosten von CHF 125'000 bestimmt, beim Szenario 3 Investitionskosten von CHF 250'000.

3.6.2 Kosten

In diesem Abschnitt werden die Kosten erläutert, die für den halbautomatischen Prozess anfallen. Die Kosten werden in Fixkosten und variable Kosten aufgeteilt.

Fixkosten

Die Fixkosten umfassen die anfallenden Kosten, welche unabhängig von der Menge der recycelten Zellen anfallen. Zu den fixen Kosten fließt die Miete der Räumlichkeit pro Jahr ein. Der benötigte Platz wird auf 40m² mit einem Preis von CHF 125 pro m² geschätzt. Zudem kommen noch Amortisationskosten hinzu. Die Kosten für Wartungen wurden nicht berücksichtigt.

Variable Kosten

Die variablen Kosten umfassen jene Kosten, die je nach Anzahl der recycelten Zellen variieren (siehe Tabelle 5). Die untere Tabelle listet alle Materialienkosten auf, die benötigt werden, um eine Zelle zu recyceln. Die Summe berechnet sich aus dem Grundtarif und der jeweils benötigten Menge für eine Zelle. Die dunkel blauen Felder sind die Kosten, die im Labor anfielen, unter der höchsten Reinheit. Um die Verfahrenskosten zu mindern, können möglicherweise auch günstigere Materialien benutzt werden. Diese müssen beim Bioethanol auf die Funktionalität getestet werden und mit den Analysen des originalen Produkts verglichen werden.

Tabelle 5: Variable Kosten (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018)

Material	Grundtarif	Einheit	Benötigte Menge	Benötigte Kosten für 1 Zelle CHF	Verweis
NaOH	130	CHF/ 1kg	2 g	0.26	(SIGMA-ALDRICH, 2018c)
Ca(OH) ₂	83.5	CHF / 1kg	3.71 g	0.31	(SIGMA-ALDRICH, 2018a)
Millipore Wasser	Geschätzter Wert			3.00	
Wasser	1.85	CHF / 1000l	12 l	0.02	(Zürich, 2018)
Ethanol Absolut	2232	CHF / 180l	0.5 l	6.20	(Merck, 2018)
Bioethanol	1766	CHF / 100l	0.5 l	0.88	("Bioethanol," 2018)
Summe:				9.77	
				1.47	

Berechnung NaOH und Ca(OH)₂

Die benötigte Menge an NaOH und Ca(OH)₂ lässt sich durch ein Dreisatz (siehe Formel (4)) berechnen.

$$\text{NaOH} \quad 40\text{g/mol/l} \rightarrow 2\text{g/mol/50ml} \quad (4)$$

$$\text{Ca(OH)}_2 \quad 74.1\text{g/mol/l} \rightarrow 3.71\text{g/mol/50ml}$$

Es wird mit einem Stundenlohn von CHF 60 gerechnet. Die Entsorgungskosten werden im Abschnitt 0 besprochen. Die Kosten für Energie, die für die Maschinen aufgewendet werden müssen, wurden in dieser Berechnung nicht berücksichtigt.

3.6.3 Umsatz

Werden nun die einzelnen Komponenten einer Zelle verwertet bzw. verkauft, wird dadurch ein Umsatz generiert. Um den Wert der Komponenten einer Zelle zu ermitteln, wurde die Recycling Firma Solenthaler Recycling AG kontaktiert. Herr M. Stengele lieferte daraufhin die Werte für die Stoffe Aluminium, Chrom Nickel, Gehäuse und des Restmaterials. Die Werte pro Tonne werden in den kommenden Tabellen beschrieben. Die rot markierten Ziffern weisen auf, das Kosten anfallen. Die schwarzen Ziffern weisen den Umsatz an. Alle Information stammen somit von der Recyclingfirma Solenthaler Recycling AG und sind auf einen Marktpreis vom 19.03.2018 bezogen.

Im zweiten Teil wird der Umsatz pro Zelle ausgewertet. Dieser Schritt ist besonders wichtig, um den Gewinn pro Zelle zu ermitteln.

Kupfer

Wie bereits bekannt, besteht die Zelle aus drei verschiedenen Kupferbestandteilen. Das wertvollste Kupferstück ist das Klemmstück, beziehungsweise die Kupferverbindung der Elektrode. Insgesamt kann rund CHF 5560 pro Tonne eingenommen werden. Das zweitwertvollste Stück ist die Kupferfolie an sich. Wird die Kupferfolie aber zusätzlich (von der Recyclingfirma Solenthaler Recycling AG) verdichtet, kann dies eventuell einen höheren Umsatz von rund CHF 900 pro Tonne bewirken und somit für CHF 5410 pro Tonne verkauft werden. Dieser Verdichtungsprozess kostet CHF 150 pro Tonne. Wird die Kupferfolie nicht aufgereinigt und mit ihrer Beschichtung verkauft, bringt dies einen Umsatz von lediglich CHF 1250 pro Tonne (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Umsatz Kupfer (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018)

Kupfer		
Qualität Oberleiter:	CHF / t	
Verbindung gross und Verbindung klein		5560
Qualität Kupfer alt	CHF / t	
Kupferfolie (IST Zustand)		4535
Verdichtungskosten	150	
Kupferfolie verdichtet eventuell		5410
Kupferfolie incl. Beschichtungen bei 40 % Cu Inhalt		1250

Aluminium

Das Aluminiumklemmstück und die Verschraubungen bringen pro Tonne jeweils CHF 850. Wird die Aluminiumfolie aufgereinigt, ergibt dieser zusätzliche Vorgang CHF 300 pro Tonne. Wird die Aluminiumfolie nicht aufgereinigt, kann diese nicht veräussert werden (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Umsatz Aluminium (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018)

Aluminium		
Qualität Aluminium alt:	CHF / t	
Aluminiumklemmstück		850
Verschraubung		850
Qualität Haushaltsfolie :	CHF / t	
Alufolie		300
Alufolie beschichtet praktisch nicht verwertbar.	-	-

Chrom-Nickel-Bestandteile und das Gehäuse

Chrom-Nickel-Schrauben erzielen einen Preis von CHF 1000 pro Tonne. Das Gehäuse wirft leider keinen Umsatz aus oder erbringt sogar zusätzliche Kosten. Wird das Gehäuse von der Zelle sauber abgetrennt, wird das Gehäuse gratis abgenommen. Wird das Gehäuse jedoch geschreddert, kostet das Pulver rund CHF 120 pro Tonne (siehe Tabelle 8).

Tabelle 8: Umsatz Chrom Nickel und Gehäuse (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018)

Chrom-Nickel	
Qualität Chrom-Nickel Neu	CHF / t
Edelstahlschrauben	1000
Gehäuse	
	CHF / t
Schön abgetrennt	0
geschreddert	120

Restmaterial

Die Recyclingfirma Solenthaler Recycling AG hat keine Angaben von den Wertstoffen Graphit, Eisenphosphat und dem Separator angegeben (siehe Tabelle 9). Aus diesem Grunde wird einmal der Umsatz jeweils ohne Angaben berechnet und einmal mit Angaben von Grossverkäufern aus dem Internet (Chinesische Anbieter der Wertstoffe Graphit, Eisenphosphat, (Alibaba, 2018)).

Tabelle 9: Umsatz Restmaterial (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018)

Restmaterial	
Graphit	Keine Angaben
Eisenphosphat	Keine Angaben
Separator	Keine Angaben
Elektrolyt	1500 CHF / t

Es wird vermutet, dass das Metalloxid FePO_4 einen hohen Wert hat, je nach Qualität. Im Internet findet man Preise zwischen CHF 1'000 pro Tonne bis CHF 5'000 oder gar CHF 100'000 pro Tonne. Um eine genaue Angabe zu machen, müsste man das Aktivmaterial zuerst analysieren, um die Qualität festzulegen zu können und einen Preis zu bestimmen. Aus finanziellen Gründen

war es jedoch nicht möglich, eine solche Analyse durchzuführen. Aus diesem Grund werden drei Berechnungen durchgeführt. Einmal wird der Wert CHF 0 pro Tonne gewählt. Bei der zweiten Berechnung wird ein Durchschnittswert von CHF 5000 pro Tonne geschätzt. In der letzten Berechnung wird jeweils der höchste realistische Wert der Qualität und somit der höchste Preis von CHF 10'000 pro Tonne angenommen. Dasselbe wird mit Graphit gemacht. Dieser erhält im ersten Szenario einen Wert von CHF 0, im zweiten Szenario einen berechneten Mittelwert von CHF 850 pro Tonne und einmal einen realistisch geschätzten Höchstwert von CHF 1275.

Die einzige Substanz, die im Moment nicht verwertet werden kann, ist der Elektrolyt. Der Elektrolyt gilt als Sondermüll und muss deshalb als Sonderabfall entsorgt werden. Eine Entsorgung kostet CHF 1500 pro Tonne.

Bemerkung: Die Preise, die von der Firma Solenthaler Recycling AG zur Verfügung gestellt wurden, wurden an der Schlussbesprechung vom 22. März 2018 in den Räumlichkeiten von Kyburz Switzerland AG besprochen und interpretiert. Der Wert von der Kupferfolie inkl. Beschichtungen bei 40 % Cu wurde als zu tief bewertet. Hier wird vermutet, dass der Preis sehr nahe beim Preis der Kupferfolie (IST Zustand, vgl. Tabelle 6) liegt, da das Graphit bei der Verbrennung einen positiven Beitrag am Verbrennungsprozess leisten würde.

Werden nun die Preise pro Tonne auf eine Zelle berechnet, ergeben sich in der Tabelle 10 folgende Werte:

Tabelle 10: Umsatz CHF pro Zelle (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018)

	Zelle	Preis Solenthaler Recycling AG CHF/t		Verdienst pro Zelle		
	g	Verdichtet	Ist Zustand	Nichts	Durchschnitt	höchste Preis
Gewicht der Zelle	3223.4					
Gehäuse (versagt)	579.5		-			
Entstehender Abfall	2.5		-			
Elektrolyt gesammelt	30.5		1'500	0.05		
Theoretischer Elektrolytenmenge 8%	257.872		1'500	0.39		
Separator	149.5		-			
Folie um Elektroden	16.5		-			
Anode						
Anodenplatten getrocknet bei RT	745.2		1'250	0.93		
gereinigte Anodenplatten (Kupferplatten)	273.5		4'535	1.24		
		5410	150	1.44		
Anodenbeschichtung	436.05		-	0.00		
			850		0.37	
			1'275			0.56
Kathode						
Kathodenplatten getrocknet bei RT	1070.1		-			
gereinigte Kathodenplatten (Aluminiumplatten)	130.4		300	0.04		
Kathodenbeschichtungen trocken	875.1		-	0.00		
			5'000		4.38	
			10'000			8.75
Befestigungstechnik						
	Gesamtgewicht					
Schraube	22.1		1'000	0.02		
Metalldichtung klein	0.95		1'000	0.00		
Metalldichtung mittel	0.8		1'000	0.00		
Mutter klein	3.4		1'000	0.00		
Verbindung klein Al	3		850	0.00		
Verbindung gross Al	2.1		850	0.00		
Verbindung klein Cu	9.9		5'560	0.06		
Verbindung gross Cu	6.7		5'560	0.04		
Klemmstücke Al	33.2		850	0.03		
Klemmstücke Cu	105.7		5'560	0.59		
Mutter grosse	9		850	0.01		
Umsatz pro Zelle				1.33	6.08	10.64
				1.64	6.39	10.95
				1.84	6.58	11.15

Die rot markierten Zahlen sind die anfallenden Kosten. Insgesamt berücksichtigt die Berechnung sechs verschiedene Möglichkeiten an Umsatz. Die verschiedenen Brauntöne stellen die verschiedenen Qualitäten der Kupferfolie dar. Hellbraun ist die Kupferfolie mit der Beschichtung (die Anode), das etwas dunklere Braun repräsentiert die aufgereinigte Kupferplatte ohne Beschichtung dar. Das dunkelbraune Feld ist die verdichtete Kupferfolie ohne Beschichtung. Werden nun die anderen Werte betrachtet, wird ersichtlich, wie wichtig es ist, die Qualität des Beschichtungsmaterial zu untersuchen. Je nach Qualität liegt der Unterschied zwischen CHF 1.84 und CHF 11.15.

3.6.4 Gewinn

Der Gewinn pro Jahr berechnet sich als Differenz zwischen der Einsparung und den Gesamtkosten (siehe Tabelle 11). Die Gesamtkosten umfassen sowohl die fix- als auch variablen Kosten. Aufgrund der variablen und fixen Kosten, können die Gewinne je nach Anzahl recycelter Zellen variieren.

Tabelle 11: Gewinn pro Jahr (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018)

	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Stundenlohn in CHF	60	60	60
Anzahl Zellen pro Jahr	10'000	10'000	10'000
Anzahl Arbeitstage pro Jahr	220	220	220
Anzahl Zellen pro Arbeitstag	46	46	46
Entsorgungsgebühren INOBAT (CHF 3.20 / kg)			
Für eine 100Ah-Zelle in CHF	11.2	11.2	11.2
Für eine 160Ah-Zelle in CHF	14.4	14.4	14.4
Für eine 180Ah/200Ah-Zelle in CHF	17.6	17.6	17.6
--> Einsparung von 3 kg auf 150 g			
Fixe Kosten	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Investitionen in Maschinen und Anlagen in CHF	125'000	125'000	250'000
Anzahl Jahre zur Amortisation	5	5	5
Amortisation pro Jahr in CHF	25'000	25'000	50'000
Anzahl Quadratmeter	40	40	40
Kosten pro Quadratmeter und Jahr	125	100	125
Kosten pro Jahr	5'000	4'000	5'000
Variable Kosten	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Ertrag Verkauf Recyclingmaterialien pro Zelle in CHF	1.8	6.6	11.2
Benötigte Zeit für Zellzerlegung in Minuten pro Zelle	5	5	5
Kosten Arbeit pro Zelle in CHF	5	5	5
Materialkosten pro Zelle in CHF	1.47	1.47	1.47

Ertrag	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Einsparung INOBAT-Gebühren pro 100Ah-Zelle	13.0	17.8	22.35
Resultate	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Fixkosten	30'000	29'000	55'000
Variable Kosten	70'100	70'100	70'100
Gesamtkosten	100'100	99'100	125'100
Einsparung	130'400	177'800	223'500
Deckungsbeitrag	100'400	148'800	168'500
Gewinn	35'700	84'100	103'800

Jedes Szenario erzielt somit einen Gewinn. Der tiefste Gewinn liegt bei etwa CHF 35'000. Der durchschnittliche Wert (Szenario 2) erzielt einen Gewinn von CHF 84'100. Beim geschätzten Höchstwert liegt der Gewinn von über CHF 100'000 pro Jahr.

Fazit

Die Wirtschaftlichkeit fällt positiv aus. Alle Szenarien weisen einen Gewinn aus. Es ist gut ersichtlich, dass die Qualität des Metalloxides den Gewinnunterschied stark dominiert. Aus diesem Grund ist es notwendig, die Qualität des Metalloxides zu bestimmen. Ausserdem muss nochmals abgeklärt werden, wie hoch der Preis pro Tonne bei der Kupferfolie mit Beschichtung ausfällt. Liegt dieser Preis nahe bei dem Preis der aufgereinigten Kupferfolie, kann sich überlegt werden, ob der Schritt der Aufreinigung der Anode notwendig ist. Das Weglassen dieser Aufreinigung würde die Materialkosten um einen Viertel kürzen. Dies würde einen Jahresgewinn beim **Szenario 1 von CHF 43'000, Szenario 2 von CHF 92'000 und Szenario 3 von CHF 111'500** erbringen (der Umsatz wurde in diesem Falle mit der reinen Kupferfolie berechnet).

4 Diskussion

Die Untersuchungen zeigen, dass ein In-house Recycling möglich ist. Die Zerlegung der Zelle in ihre Einzelteile nach der erstellten Anleitung funktioniert sehr gut. Dies bedeutet, dass durch diese Recyclingmethode die Chance für KMU's, ihre eigenen LIB Zellen zu recyceln, möglich ist. Damit könnte in Zukunft das kostspielige Recycling bei Batrech nicht mehr nötig sein. Auch aus wirtschaftlicher Sicht würde es sich lohnen, die Zellen selber zu recyceln (Kapitel 3.6.4).

Insgesamt wird sehr wenig Material benötigt, um die Zelle zu recyceln. Die erarbeitete Methode benötigt auch kaum Chemikalien. Sie werden lediglich in einem Teilschritt aus Sicherheitsgründen benötigt, um die HF Bildung zu verhindern. Die Recyclingschritte sind so konzipiert, dass der gesamte Recyclingprozess einfach ausgestaltet ist. Das Phänomen, das sich die Kathode durch ein passives Entladen und in einem Wasserbad aufreinigen lässt, wird in keinem Artikel aus der Literaturrecherche erwähnt. Durch diese einfachen Teilschritte und durch das umweltfreundliche Verfahren, hebt sich diese Recyclingmethode gegenüber den Methoden in der Literatur ab.

Das Verfahren trennt alle Hauptkomponenten in ihre Ursprungsform. Ob die einzelnen Komponenten Veränderungen erfahren, ist optisch nicht ersichtlich. Mit der Methode der passiven Entladung sahen die einzelnen Komponenten wesentlich weniger abgenutzt aus. Optisch ist es sehr schwer einzuschätzen, in welchem Zustand sich die Komponenten tatsächlich befanden. Der Zustand ist jedoch von zentraler Bedeutung, um die Einzelkomponenten zu einem guten Preis verkaufen zu können. Das Beschichtungsmaterial, ein schwarzes Pulver, kann optisch überhaupt nicht beurteilt werden. Aus diesem Grund muss die Reinheit des Metalloxids analytisch bestimmt werden. Leider konnten die Analysen an der ZHAW aus administrativen und finanziellen Gründen nicht durchgeführt werden. Die Analyse des Metalloxids ist zentral, da hier die möglichen Verkaufspreise besonders stark schwanken und dadurch die Rentabilität des Recyclingverfahrens stark variieren kann. Ist die Qualität der Beschichtungsmaterialien gering, könnte man u.U. eine weitere Stufe der Aufreinigung anfügen.

Die Recyclingmethode hat das Potenzial eine Recyclingrate von insgesamt 92.8 % zu erreichen. Wird das verdunstete und verdampfte Elektrolytproblem zukünftig ebenfalls behandelt, wird die Recyclingrate noch weiter ansteigen. Mit der erzielbaren Recyclingrate, erfüllt diese Recyclingmethode den Zielvorgaben der Vorschriften. Diese hohe Recyclingrate ergibt auch eine positive Wirtschaftlichkeit.

Weitere Abklärungen beinhalten einen besseren Preis für die unbehandelte Kupferfolie d.h. mit Beschichtung zu erhalten. Würde dafür ein Preis nahe dem Preis der reinen Kupferfolie liegen, könnte der Aufreinigungsschritt der Anode wegfallen. Dies würde das Recyclingverfahren weiter

vereinfachen. Insbesondere müsste kein Schlamm mehr abdestilliert, getrocknet und analysiert werden. Dies würde die Energiebilanz verbessern. Hinzu kommt, dass das Destillat nicht analysiert werden müsste.

Das Kapitel Sicherheitsaspekte gibt einen detaillierten Überblick über die möglichen Gefahren wieder. An der ZHAW konnten keine Emissionen, die beim Recycling entstehen, gemessen werden. Zukünftig müssten diese Emissionen gemessen werden, insbesondere diejenigen, die bei der Aufreinigung der Kathode entstehen.

Auch müsste eine Messung beim Öffnen der Zelle und eine Weitere bei der Aufreinigung der Elektroden durchgeführt werden. Entsprechend der Analyseresultate müssten noch weitere Sicherheitsvorkehrungen berücksichtig beziehungsweise hinzugefügt werden. Die Lösung in der Waschflasche muss nach Spuren vom LiPF_6 analysiert werden, befindet sich in der Lösung noch Elektrolytsalz, muss die NaOH Konzentration erhöht werden. Zudem muss das Wasser, welches für die Aufreinigung der Kathode benötigt wird, analysiert werden. Es könnte sein, dass sich im Wasser noch Spuren vom Elektrolyt befinden.

Um ein Pilotprojekt zu starten, müssen vorab folgenden Punkte geklärt werden:

- Analyse der Beschichtungsmaterials
- Verifizierung des Recyclingverfahren anhand von weiteren zehn Zellen
- Neue Offerte der Kupferfolie samt Beschichtung
- VOC müssen im Kreislauf bleiben
- Analyse wo sich überall Elektrolyt befindet

Danach könnte, eine Bewilligung des AWEL vorausgesetzt, mit dem Pilotprojekt gestartet werden.

Literaturverzeichnis

- Alibaba. (2018). graphite powder for li-ion battery anode. Retrieved from https://www.alibaba.com/trade/search?fsb=y&IndexArea=product_en&CatId=&SearchText=graphite+powder+for+li-ion+battery+anode
- Barik, S. P., Prabakaran, G., & Kumar, B. (2015). An innovative approach to recover the metal values from spent lithium-ion batteries. *WASTE MANAGEMENT*. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.11.004>
- Batteryuniversity. (n.d.). Safety Concerns with Li-ion. Retrieved from http://batteryuniversity.com/learn/article/safety_concerns_with_li_ion
- Bioethanol. (2018). Retrieved from <https://www.kaminethanol.com/bioethanol-100/100-container/225/1000-liter-bioethanol-100-1-container-inkl.-80-eur-einweg>
- Castillo, S., Ansart, F., & Portal, J. (2002). Advances in the recovering of spent lithium battery compounds, *112*, 247–254.
- Die Abfallverzeichnis-Verordnung - AVV.
- Diekmann, J., Hanisch, C., Frob, L., Sch, G., Loellhoeffel, T., & Kwade, A. (2017). Ecological Recycling of Lithium-Ion Batteries from Electric Vehicles with Focus on Mechanical Processes, *164*(1), 6184–6191. <https://doi.org/10.1149/2.0271701jes>
- Dorella, G., & Mansur, M. B. (2007). Short communication A study of the separation of cobalt from spent Li-ion battery residues, *170*, 210–215. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2007.04.025>
- Global and China Lithium Iron Phosphate (LiFePO₄) and Battery Industry Report, 2016-2020. (2016). Retrieved from <http://www.chinamarketresearchreports.com/115503.html>
- Global and China Lithium Iron Phosphate (LiFePO₄) Material and Battery Industry Report, 2015-2018. (2015). Retrieved from <http://www.chinamarketresearchreports.com/115148.html>
- Haiyang Zou, Eric Gratz, D. A. and Y. W. (n.d.). A Novel Method to Recycle Mixed Cathode

Materials for Lithium Ion Batteries, (207890).

Hanisch, C., Loellhoeffel, T., Diekmann, J., Jo, K., Haselrieder, W., & Kwade, A. (2015). Recycling of lithium-ion batteries : a novel method to separate coating and foil of electrodes, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.026>

Hui Yang, Guorong V. Zhuang, Philip N. Ross, J. (n.d.). Thermal Stability of LiPF₆ Salt and Li-ion Battery Electrolytes Containing LiPF₆ Hui Yang.

INOBAT. (n.d.). Verpackungsvorschlag für den Transport von defekten oder beschädigten Lithium-Ionen-Akkus.

Jiangping Chen, Qingwen Li, Jishun Song, Dawei Song, Lianqi Zhang, X. S. (2015). *Environmentally friendly recycling and effective repairing of cathode powders from spent LiFePO₄ batteries*. <https://doi.org/10.1039/C5GC02650D>

Joulié, M., Laucournet, R., & Billy, E. (2014). Hydrometallurgical process for the recovery of high value metals from spent lithium nickel cobalt aluminum oxide based lithium-ion batteries, 247, 551–555. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.08.128>

Li, H., Corneal, L. M., & Standridge, C. R. (2015). Effects of acid concentration , temperature , and time on recycling of post-vehicle-application lithium-ion batteries of varying chemistries. *Materials for Renewable and Sustainable Energy*, 1–5. <https://doi.org/10.1007/s40243-015-0048-7>

Li, H., Xing, S., Liu, Y., Li, F., Guo, H., & Kuang, G. (2017). Recovery of lithium , iron and phosphorus from spent LiFePO₄ batteries using stoichiometric sulfuric acid leaching system. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b01594>

Li, J., Wang, G., & Xu, Z. (2016). Environmentally-friendly oxygen-free roasting / wet magnetic separation technology for in situ recycling cobalt , lithium carbonate and graphite from spent LiCoO₂ / graphite lithium batteries, 302, 97–104.

Li, J., Zhao, R., & He, X. (2009). Preparation of LiCoO₂ cathode materials from spent lithium – ion batteries, 111–113. <https://doi.org/10.1007/s11581-008-0238-8>

Li, L., Dunn, J. B., Xiao, X., Gaines, L., Jie, R., Wu, F., & Amine, K. (2013). Recovery of metals

- from spent lithium-ion batteries with organic acids as leaching reagents and environmental assessment, 233, 180–189. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2012.12.089>
- Li, L., Ge, J., Wu, F., Chen, R., Chen, S., & Wu, B. (2010). Recovery of cobalt and lithium from spent lithium ion batteries using organic citric acid as leachant, 176, 288–293. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.11.026>
- Li, L., Qu, W., Zhang, X., Lu, J., Chen, R., Wu, F., & Amine, K. (2015). Succinic acid-based leaching system : A sustainable process for recovery of valuable metals from spent Li-ion batteries, 282, 544–551. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.02.073>
- Li, L., Zhai, L., Zhang, X., Lu, J., Chen, R., Wu, F., & Amine, K. (2014). Recovery of valuable metals from spent lithium-ion batteries by ultrasonic-assisted leaching process, 262, 380–385. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.04.013>
- Li, X., Zhang, J., Song, D., Song, J., & Zhang, L. (2017). Direct regeneration of recycled cathode material mixture from scrapped LiFePO₄ batteries. *Journal of Power Sources*, 345, 78–84. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2017.01.118>
- Merck. (2018). Ethanol. Retrieved from http://www.merckmillipore.com/CH/de/product/Ethanol,MDA_CHEM-818760
- Myung, S., Hyung, N., & Soo, J. (2005). Development of a metal recovery process from Li-ion battery wastes, 79, 172–181. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2005.06.004>
- Online, V. A., Song, X., Hu, T., Liang, C., Long, H. L., Zhou, L., ... Liu, J. W. (2017). Direct regeneration of cathode materials from spent lithium iron phosphate batteries using a solid phase sintering method, 4783–4790. <https://doi.org/10.1039/C6RA27210J>
- Patrice Christmann, Eric Gloaguen, Jean-François Labbé, Jérémie Melleton, P. P. (2015). *Global Lithium Resources and Sustainability Issues*.
- PONY. (2013). *MSDS-SE100AHA*. luoyang.
- RICHTLINIE 2006/66/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES (2006).
- Rohman, F., Nikmah, S. M., Triwibowo, J., Chen, W. J., Tan, X. J., & Cai, M. (2017). A Recovery

Process of Active Cathode Paste from Spent Li-Ion Batteries A Recovery Process of Active Cathode Paste from Spent Li- Ion Batteries. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/209/1/012034>

SIGMA-ALDRICH. (2011). SIGMA-ALDRICH, (1907), 1–6.

SIGMA-ALDRICH. (2015). SIGMA-ALDRICH, (1907), 1–8.

SIGMA-ALDRICH. (2017a). SIGMA-ALDRICH, (1907), 1–7.

SIGMA-ALDRICH. (2017b). SIGMA-ALDRICH, (1907), 1–8.

SIGMA-ALDRICH. (2017c). SIGMA-ALDRICH, (1907), 1–6.

SIGMA-ALDRICH. (2018a). Calcium hydroxid. Retrieved from [https://www.sigmaaldrich.com/catalog/search?term=Ca%28OH%292&interface=All&N=0&mode=match partialmax&lang=de®ion=CH&focus=product](https://www.sigmaaldrich.com/catalog/search?term=Ca%28OH%292&interface=All&N=0&mode=match%20partialmax&lang=de®ion=CH&focus=product)

SIGMA-ALDRICH. (2018b). SIGMA-ALDRICH, (1907), 1–7.

SIGMA-ALDRICH. (2018c). Sodium hydroxide. Retrieved from [https://www.sigmaaldrich.com/catalog/search?term=naoh&interface=All&N=0&mode=match h partialmax&lang=de®ion=CH&focus=product](https://www.sigmaaldrich.com/catalog/search?term=naoh&interface=All&N=0&mode=match%20partialmax&lang=de®ion=CH&focus=product)

Sonoc, A., & Jeswiet, J. (2014). A review of lithium supply and demand and a preliminary investigation of a room temperature method to recycle lithium ion batteries to recover lithium and other materials, *15*, 289–293. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.06.006>

Verordnung über den Verkehr mit Abfällen (2018).

Wang, M., Zhang, C., & Zhang, F. (2016). An environmental benign process for cobalt and lithium recovery from spent lithium-ion batteries by mechanochemical approach. *WASTE MANAGEMENT*. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.006>

Wang, M., Zhang, C., & Zhang, F. (2017). Recycling of spent lithium-ion battery with polyvinyl chloride by mechanochemical process. *Waste Management*. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.013>

- Wang, R., Lin, Y., & Wu, S. (2009). A novel recovery process of metal values from the cathode active materials of the lithium-ion secondary batteries. *Hydrometallurgy*, 99(3–4), 194–201. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2009.08.005>
- Wang, W., & Wu, Y. (2017). An overview of recycling and treatment of spent LiFePO₄ batteries in China. *Resources, Conservation & Recycling*, 127(100), 233–243. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.019>
- Xianlai Zeng, Jinhui Li, N. S. (2013). Recycling of Spent Lithium-Ion Battery : A Critical Review, (October 2014), 37–41. <https://doi.org/10.1080/10643389.2013.763578>
- Xiao, J., Li, J., & Xu, Z. (2017). Recycling Metals from Lithium Ion Battery by Mechanical Separation and Vacuum Metallurgy. *Journal of Hazardous Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.05.024>
- Xiaoxiao Zhang, Qing Xue, Li Li, Ersha Fan, Feng Wu, R. C. (2016). Sustainable Recycling and Regeneration of Cathode Scraps from Industrial Production of Lithium-Ion Batteries. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.6b01948>
- ZHAW. (2017). Modul Ressourcenbewirtschaftung FS17.
- Zheng, R., Zhao, L., Wang, W., Liu, Y., Ma, Q., & Mu, D. (2016). Optimized Li and Fe recovery from spent lithium- ion batteries via a solution-precipitation method, 43613–43625. <https://doi.org/10.1039/C6RA05477C>
- Zhu, S., He, W., Li, G., Huang, J., & Zhui, S. (n.d.). Recovering copper from spent Lithium ion battery by a mechanical separation process I, 1008–1012.
- Zürich, S. (2018). Departement der Industriellen Betriebe. Retrieved from <https://www.stadt-zuerich.ch/dib/de/index/wasserversorgung/trinkwasser/wasserpreis.html>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vorgehen der Literaturanalyse (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018)	6
Abbildung 2: Zusammenfassung der Resultate (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018)	9
Abbildung 4: Vorbereitung der Recyclingmethoden (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018)	10
Abbildung 5: Demontage, Schredder (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018)	10
Abbildung 6: Trennung der Hauptkomponenten (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018)	10
Abbildung 7: Mechanische Aufreinigung (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018)	11
Abbildung 8: Chemische Aufreinigung (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018)	12
Abbildung 9: Recyclingmethoden (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018)	13
Abbildung 10: Sicherheitsfässer (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018)	17
Abbildung 11: halbautomatischer Prozess (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018)	25

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Resultat der Recyclingmethoden (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018).....	13
Tabelle 2: Zusammenfassung der Forschungsarbei (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018)t.....	19
Tabelle 3: Bilanzierung der Zelle #5 (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018)	23
Tabelle 4: Vergleich der Gewichtsprozente Olivier Groux, ZHAW, 2018)	24
Tabelle 5: Variable Kosten (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018)	27
Tabelle 6: Umsatz Kupfer (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018).....	29
Tabelle 7: Umsatz Aluminium (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018).....	29
Tabelle 8:Umsatz Chrom Nickel und Gehäuse (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018).....	30
Tabelle 9: Umsatz Restmaterial (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018)	30
Tabelle 10: Umsatz CHF pro Zelle (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018)	32
Tabelle 11: Gewinn pro Jahr (Quelle: Olivier Groux, ZHAW, 2018)	33
Tabelle 12: Suchprozess Olivier Groux, ZHAW, 2018)	I
Tabelle 13: Arbeitsbibliothek Olivier Groux, ZHAW, 2018)	XV
Tabelle 14: Abschnitt (RICHTLINIE 2006/66/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES, 2006).....	XXIII

Anhangsverzeichnis

Anhang A: Suchprozess der Literaturrecherche	I
Anhang B: Arbeitsbibliothek	XV
Anhang C: Beachtung rechtlicher Auflagen	XXIII
Anhang D: Sicherheitsaspekte	XXVI
Anhang E: Arbeitsprotokolle	XLIV
Anhang F: Anleitung	CVI

Anhang A: Suchprozess der Literaturrecherche

Artikel die entweder bei verschiedenen Datenbanken oder mit verschiedene Stichwörter vorkommen, werden nicht zweimal in die Ergebnisse hinterlegt.

Tabelle 12: Suchprozess Olivier Groux, ZHAW, 2018)

Such-instrument	Sucheingabe	Treffer	Einschränkungen	Ergebnisse
<i>(Datenbank, Bibliothek, Suchmaschine etc.)</i>	<i>(Suchbegriffe-Verknüpfungen)</i>	<i>(Anzahl)</i>	<i>(peer-reviewed, Sprache; bestimmte Journals)</i>	
IEEEExplorer	lithium ion AND Recovering	26		Recovering copper from spent lithium ion battery by a mechanical separation process
ASC Publication	Lithium Recycling	42	Sucheingabe nur Abstract	Mechanochemical Process Enhanced Cobalt and Lithium Recycling from Wasted Lithium-Ion Batteries, https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.6b02337 Sustainable Recovery of Cathode Materials from Spent Lithium-Ion Batteries Using Lactic Acid Leaching System, https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.7b00571

				<p>Novel Approach for in Situ Recovery of Lithium Carbonate from Spent Lithium Ion Batteries Using Vacuum Metallurgy, https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.7b02561</p> <p>Sustainable Recycling and Regeneration of Cathode Scraps from Industrial Production of Lithium-Ion Batteries, https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.6b01948</p> <p>Purification and Characterization of Reclaimed Electrolytes from Spent Lithium-Ion Batteries, https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jpcc.6b12970</p> <p>A Closed-Loop Process for Selective Metal Recovery from Spent Lithium Iron Phosphate Batteries through Mechanochemical Activation, https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acssuschemeng.7b01914</p> <p>Process Development for the Recycle of Spent Lithium Ion Batteries by Chemical Precipitation, https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ie5025326</p> <p>Recovery of Lithium, Iron, and Phosphorus from Spent LiFePO₄ Batteries Using Stoichiometric Sulfuric Acid Leaching System, https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acssuschemeng.7b01594</p> <p>Recycling batteries with fungi, https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/cen-09434-scicon001</p>
--	--	--	--	--

<p>The Royal Society of Chemistry</p>	<p>Lithium Recycling mechanical</p>	<p>399</p>	<p>Keine</p>	<p>A novel method to recycle mixed cathode materials for lithium ion batteries, http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2013/gc/c3gc40182k#!divAbstract</p> <p>Promotional recyclable Li-ion batteries by a magnetic binder with anti-vibration and non-fatigue performance, http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2015/ta/c5ta04342e#!divAbstract</p> <p>The impact of aluminum impurity on the regenerated lithium nickel cobalt manganese oxide cathode materials from spent LIBs, http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2017/nj/c7nj01206c#!divAbstract</p> <p>A green recycling process designed for LiFePO₄ cathode materials for Li-ion batteries, http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2015/ta/c5ta02540k#!divAbstract</p> <p>Optimized Li and Fe recovery from spent lithium-ion batteries <i>via</i> a solution-precipitation method,</p>

				<p>http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2016/ra/c6ra05477c#!divAbstract</p> <p>Environmentally friendly recycling and effective repairing of cathode powders from spent LiFePO₄ batteries, http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2016/gc/c5gc02650d#!divAbstract</p> <p>Direct regeneration of cathode materials from spent lithium iron phosphate batteries using a solid phase sintering method, http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2017/ra/c6ra27210j#!divAbstract</p>
J-Stage	Lithium Recycling	4	Peer Reviewed	<p>A Novel Flow Sheet for Processing of Used Lithium-ion Batteries for Recycling, https://www.jstage.jst.go.jp/article/rpsi/58/1/58_1_9/article-char/en</p> <p>Recycling Technology for Lithium Ion Battery by Crushing and Classification, and Hydrometallurgical Process, https://www.jstage.jst.go.jp/article/jinstmet/78/7/78_JA201402/article-char/en</p>

				Investigation of Heating Conditions for Cobalt Recycling from Spent Lithium Ion Batteries by Magnetic Separation, https://www.jstage.ist.go.jp/article/kakoronbunshu/43/4/43_16wh056/article/-char/en
ScienceDirect	Recover LiFePO4 batteries	950	Keine	
ScienceDirect Nr.1	recycling mechanical LiFePO4 NOT synthesis	111	Keine	<p>Recycling metals from lithium ion battery by mechanical separation and vacuum metallurgy, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389417303679</p> <p>Targeting high value metals in lithium-ion battery recycling via shredding and size-based separation, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X15301756</p> <p>Opportunities to Improve Recycling of Automotive Lithium Ion Batteries, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827115000797</p> <p>17 – Recycling batteries, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780857090898500179</p>

				<p>Hydrometallurgical process for the recovery of high value metals from spent lithium nickel cobalt aluminum oxide based lithium-ion batteries, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877531301478X</p> <p>Batteries, Overview, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B012176480X001091</p>
<p>ScienceDirect Nr.2</p>	<p>Recycling LiFePO4 batteries</p>	<p>392</p>	<p>Keine</p>	<p>An overview of recycling and treatment of spent LiFePO₄ batteries in China, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344917302677</p> <p>Direct regeneration of recycled cathode material mixture from scrapped LiFePO₄ batteries, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775317301386</p> <p>Recycling metals from lithium ion battery by mechanical separation and vacuum metallurgy, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389417303679</p> <p>Processes and technologies for the recycling and recovery of spent lithium-ion batteries, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116001623</p>

				<p>Cathode refunctionalization as a lithium ion battery recycling alternative, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775314001025</p> <p>The future of automotive lithium-ion battery recycling: Charting a sustainable course, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214993714000037</p> <p>A closed loop process for recycling spent lithium ion batteries, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775314004571</p> <p>Opportunities to Improve Recycling of Automotive Lithium Ion Batteries, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827115000797</p> <p>Targeting high value metals in lithium-ion battery recycling via shredding and size-based separation, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X15301756</p> <p>Development of a recycling process for Li-ion batteries, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775312002984</p> <p>17 – Recycling batteries, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780857090898500179</p>
--	--	--	--	--

				<p>Recovery of valuable metal ions from the spent lithium-ion battery using aqueous mixture of mild organic acids as alternative to mineral acids, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304386X14002540</p> <p>Lithium batteries: Status, prospects and future, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775309020564</p> <p>Hydrometallurgical process for the recovery of high value metals from spent lithium nickel cobalt aluminum oxide based lithium-ion batteries, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877531301478X</p> <p>Batteries, Overview, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B012176480X001091</p> <p>Cathodes of spent Li-ion batteries: Dissolution with phosphoric acid and recovery of lithium and cobalt from leach liquors, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304386X16307812</p> <p>Recovered materials from spent lithium-ion batteries (LIBs) as adsorbents for dye removal: Equilibrium, kinetics and mechanism, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343716303840</p>
ScienceDirect Nr.3	Lithium-Ion recycling	4'900	Keine	A Review of Lithium Supply and Demand and a Preliminary Investigation of a Room Temperature Method to Recycle Lithium Ion Batteries to

	<p>mechanical</p>			<p>Recover Lithium and Other Materials, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827114004296</p> <p>Recovery of cathode materials and Al from spent lithium-ion batteries by ultrasonic cleaning, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X15301021</p> <p>Recovery of metals from spent lithium-ion batteries with organic acids as leaching reagents and environmental assessment, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877531201943X</p> <p>Recovery of valuable metals from spent lithium-ion batteries by ultrasonic-assisted leaching process, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775314005011</p> <p>A study of the separation of cobalt from spent Li-ion battery residues, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775307007446</p> <p>Development of a metal recovery process from Li-ion battery wastes, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304386X0500143X</p> <p>Environmentally-friendly oxygen-free roasting/wet magnetic separation technology for in situ recycling cobalt, lithium carbonate and graphite from spent LiCoO₂/graphite lithium batteries, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389415301047</p>
--	-------------------	--	--	---

				<p>Recovery of metals from spent lithium-ion batteries with organic acids as leaching reagents and environmental assessment, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877531201943X</p> <p>Recovery of valuable metals from spent lithium-ion batteries by ultrasonic-assisted leaching process, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775314005011</p> <p>Recycling metals from lithium ion battery by mechanical separation and vacuum metallurgy, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389417303679</p> <p>Succinic acid-based leaching system: A sustainable process for recovery of valuable metals from spent Li-ion batteries, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775315003079</p> <p>Hydrometallurgical recovery of metal values from sulfuric acid leaching liquor of spent lithium-ion batteries, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X15000045</p> <p>Recycling of Battery Technologies – Ecological Impact Analysis Using Life Cycle Assessment (LCA), https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610216310748</p>
--	--	--	--	--

				<p>Use of mild organic acid reagents to recover the Co and Li from spent Li-ion batteries, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X15302427</p> <p>A novel recovery process of metal values from the cathode active materials of the lithium-ion secondary batteries, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304386X09001972</p> <p>Economies of scale for future lithium-ion battery recycling infrastructure, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344913002541</p> <p>Recycling of spent lithium-ion battery with polyvinyl chloride by mechanochemical process, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X1730315X</p> <p>Lithium recycling and cathode material regeneration from acid leach liquor of spent lithium-ion battery via facile co-extraction and co-precipitation processes, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X17301654</p> <p>Non-thermal process for extracting rare earths from bastnaesite by means of mechanochemical treatment, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304386X97000480</p>
--	--	--	--	---

			<p>Recycling of lithium-ion batteries: a novel method to separate coating and foil of electrodes, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615011154</p> <p>Advances in the recovering of spent lithium battery compounds, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775302003610</p> <p>An environmental benign process for cobalt and lithium recovery from spent lithium-ion batteries by mechanochemical approach, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X16300927</p>
Google Scholar	Lithium-Ion Recycling recovery	15'483	<p>Effects of acid concentration, temperature, and time on recycling of post-vehicle-application lithium-ion batteries of varying chemistries, https://link.springer.com/article/10.1007/s40243-015-0048-7</p> <p>Recycling of graphite anodes for the next generation of lithium ion batteries, https://link.springer.com/article/10.1007/s10800-015-0914-0</p> <p>Recovery of lithium from the effluent obtained in the process of spent lithium-ion batteries recycling, https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28453989</p>

				<p>Battery Recycling Technologies: Recycling Waste Lithium Ion Batteries with the Impact on the Environment In-View, http://www.macrothink.org/journal/index.php/jee/article/view/3257</p> <p>Current and Prospective Li-Ion Battery Recycling and Recovery Processes, https://link.springer.com/article/10.1007/s11837-016-1994-y</p> <p>Preparation of LiCoO₂ cathode materials from spent lithium-ion batteries, https://link.springer.com/article/10.1007/s11581-008-0238-8</p> <p>Recycling of Spent Lithium-Ion Battery: A Critical Review, http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10643389.2013.763578</p> <p>A novel process to recycle spent LiFePO₄ for synthesizing LiFePO₄/C hierarchical microflowers, https://www.researchgate.net/publication/287505160_A_novel_process_to_recycle_spent_LiFePO4_for_synthesizing_LiFePO4C_hierarchical_microflowers</p> <p>A Recovery Process of Active Cathode Paste from Spent Li-Ion Batteries, http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/209/1/012034</p>
--	--	--	--	---

				<p>Recovery of cobalt and lithium from spent lithium ion batteries using organic citric acid as leachant., https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19954882</p> <p>Ecological Recycling of Lithium-Ion Batteries from Electric Vehicles with Focus on Mechanical Processes, http://jes.ecsdl.org/content/164/1/A6184.abstract</p>
--	--	--	--	--

Anhang B: Arbeitsbibliothek

Tabelle 13: Arbeitsbibliothek Olivier Groux, ZHAW, 2018)

Hauptmethoden	Studie		Art des Akku	Relevanz für Forschungsfrage	Perspektive/Kontext	Machbarkeit für Forschungsfrage	Recyclingrate	Haupt-Komponenten	Sicherheitsaspekt	Rechtlich	Ökonomisch	Ökologisch	Ergebnis Besonderheit	Kritische Bewertung	
Um welche Recyclingmethode handelt es sich?	Autor, (Jahr), Titel der Studie, Journal.	Verweis	Um welchen Akku handelt es sich beim Recycling?	(1) Art der Methode des Recyclingverfahren (2) Machbarkeit (3) Resultat (4) Umweltrecht	In welchem Zusammenhang findet die Studie statt.	Ist die beschriebene Methode umsetzbar?	[%]	Welche sind die wichtigsten Werkzeugen / Maschinen	Welche Sicherheitsmassnahmen werden beachtet?	Werden rechtliche Punkte beachtet?	Wird die Wirtschaftlichkeit in Betracht gezogen?	Wie steht das Verhältnis zwischen Ökologie und Prozess?	Welche sind die wichtigsten Ergebnisse?	Was sind kritische Aspekte?	
Trennen der Hauptkomponenten	Nicht bekannt	Effects of acid concentration, temperature, and time on recycling of post-vehicle-application lithium-ion batteries of varying chemistries	(Li, Haikun et al., 2015)	LIB (LiFePO4) (NCA) (LiMn2O4)	(1) (2)	Chemische Auftrennung für alle LIB arten	Ja	Nicht bekannt	Anode Al HNO3 2ml/L 70°C Kathode Cu H2SO 0.5mol/L 40°C	Nebenreaktionen sind H2 und SO2 deswegen wird unter einer Abzugshaube gearbeitet	Nicht bekannt	Ja da wenig Material benötigt wird und das Verfahren schnell geschieht (Cu335s) (Al 83s)	Es wurden starke Lösungsmittel benutzt	Gutes verfahren, da sich das Verfahren für alle Li-Ion Batterien bestimmt wurden. Wenig benötigte Chemikalien	Es werden starke Lösungsmittel benutzt
Aufreinigung	Chemisch														
Trennen der Hauptkomponenten	Von Hand	A review of lithium supply and demand and a preliminary investigation of a room temperature method to recycle lithium ion batteries to recover lithium and other materia	(Sonoc et al., 2014)	LiCoO2 Kathode	(2)	Sicheres öffnen eines Akkus	Ja	Nicht bekannt	Aussere Sicherung Abkratzmaterial (genaues Werkzeug wurde nicht benannt)	- Entfernen von externen Sicherung - komplette Entladung - öffnen in einem gut belüfteten Raum	Nicht bekannt	Kein Energieverbrauch	Ja, da Wasser als Lösungsmittel benutzt wird.	Abtrennung des Kathodenbeschichtung mittels Wasser	Keine Recycling für die Anode Die Aufreinigung muss noch erforscht werden
Aufreinigung	Muss noch erforscht werden														
Trennen der Hauptkomponenten	Von Hand	An innovative approach to recover the metal values from spent lithium-ion batteries	(Barik et al., 2015)	LIB	(2)	Simple und umweltfreundliches Verfahren	Ja	Reinheit nicht bekannt.	Nicht bekannt	Nicht bekannt	Nicht bekannt	Nicht bekannt	Mittel	Simple Arbeitsschritte	Rösttemperatur 900°C (9h)
Aufreinigung	LiCoO2 abgekratzt danach chemisch aufgereinigt							Gewichtsprozent Co->76.2% Li->18.668%	Wasser HCl H2SO4 Röstmaschine						
Trennen der Hauptkomponenten	Manuelle Trennung	Succinic acid-based leaching system: A sustainable	(Li, Li et al., 2015)	LIB	(4)	96% Lithium organische Lösungsmittel	Nein	Co->100% Li->96%	Nicht bekannt	- komplette Entladung	Nicht bekannt	Auslaugung Tiefe kosten durch den Einsatz von org.	Nein, hoher Energieverbrauch und Säureneinsatz	Benutzung von organische Lösungsmitteln	Kalzinerung bei 700°C

Hauptmethoden		Studie		Art des Akku	Relevanz für Forschungsfrage	Perspektive/Kontext	Machbarkeit für Forschungsfrage	Recyclingrate	Haupt-Komponenten	Sicherheitsaspekt	Rechtlich	Ökonomisch	Ökologisch	Ergebnis Besonderheit /	Kritische Bewertung
Um welche Recyclingmethode handelt es sich.		Autor, (Jahr), Titel der Studie, Journal.	Verweis	Um welchen Akku handelt es sich beim Recycling?	(1) Art der Methode des Recyclingverfahren (2) Machbarkeit (3) Resultat (4) Umweltrecht	In welchem Zusammenhang findet die Studie statt.	Ist die beschriebene Methode umsetzbar?	[%]	Welche sind die wichtigsten Werkzeuge / Maschinen	Welche Sicherheitsmaßnahmen werden beachtet?	Werden rechtliche Punkte beachtet?	Wird die Wirtschaftlichkeit in Betracht gezogen?	Wie steht das Verhältnis zwischen Ökologie und Prozess?	Welche sind die wichtigsten Ergebnisse?	Was sind die kritischen Aspekte?
Aufreinigung	Chemische, Kalzinierung und synthetisiert	process for recovery of valuable metals from spent Li-ion batteries							Bernsteinsäure NMP H2O2 Röstungsmaschine			Lösungsmittel tiefe Temperaturen und kurze Reaktionszeit			
Trennen der Hauptkomponenten	Mechanische Trennung	Recycling Metals from Lithium Ion Battery by Mechanical Separation and Vacuum Metallurgy	(Xiao et al., 2017)	18650 Zellen	(4)	Keine chemische Aktivitäten	Nein	Li (Li2CO3) -- >91.30% Mn3O4 95.11%	Schredder	Nicht bekannt	Nicht bekannt	Nicht bekannt	JA da keine Chemie verwendet wird	Keine chemische Aktivitäten	Rösten geschieht bei 800°C, Filterkuchen wird verbrannt-->Emissionen
Aufreinigung	Mechanisch (Rösten)								Röstungsmaschine						
Trennen der Hauptkomponenten	Mechanische Trennung	Recovery of valuable metals from spent lithium-ion batteries by ultrasonic-assisted leaching process	(Li, Li et al., 2014)	LIB	(2) (4)	Benutzung eines Ultraschallbad verschiedene Lösungsmittel werden getestet	Ja	Co-->96% Li-->fast 100%	Mechanische Trennung	komplette Entladung	Nicht bekannt	Nicht bekannt	Ja, da das effizienteste Lösungsmittel am umweltfreundlichsten ist	fast 100% Rückgewinnung von Li	Kathodenmaterial wurde vor der Behandlung in NMP versetzt (1h bei 100°C) zudem wurde am Schluss eine Kalzinierung bei 700°C durchgeführt
Aufreinigung	Chemisch								2Mol Zitronensäure 0.55Mol H2O2 60°C / 5h Auslaugung 90W Ultraschallbad						
Trennen der Hauptkomponenten	Manuelle Trennung	Recovery of metals from spent lithium-ion batteries with organic acids as leaching reagents and environmental assessment	(Li, Li et al., 2014)	LIB	(4)	Rückgewinnung von Li einsetzt von org. Lösungsmittel	Ja	Co-->90% Li-->fats 100%	Von Hand und mit einer Schere	komplette Entladung	Nicht bekannt	Ja da Edukte die im Kreislauf bleiben	Umweltfreundliches analysieren	Geschlossener Kreislauf	Kathodenmaterial wurde vor der Behandlung in NMP versetzt (1h bei 100°C) zudem wurde am Schluss eine Kalzinierung bei 700°C / 5h durchgeführt
Aufreinigung	Chemisch								H2O2 org. Lösungsmittel						

Hauptmethoden		Studie		Art des Akku	Relevanz für Forschungsfrage	Perspektive/Kontext	Machbarkeit für Forschungsfrage	Recyclingrate	Haupt-Komponenten	Sicherheitsaspekt	Rechtlich	Ökonomisch	Ökologisch	Ergebnis Besonderheit /	Kritische Bewertung
Um welche Recyclingmethode handelt es sich.		Autor, (Jahr), Titel der Studie, Journal.	Verweis	Um welchen Akku handelt es sich beim Recycling?	(1) Art der Methode des Recyclingverfahren (2) Machbarkeit (3) Resultat (4) Umweltrecht	In welchem Zusammenhang findet die Studie statt.	Ist die beschriebene Methode umsetzbar?	[%]	Welche sind die wichtigsten Werkzeuge / Maschinen	Welche Sicherheitsmassnahmen werden beachtet?	Werden rechtliche Punkte beachtet?	Wird die Wirtschaftlichkeit in Betracht gezogen?	Wie steht das Verhältnis zwischen Ökologie und Prozess?	Welche sind die wichtigsten Ergebnisse?	Was sind kritische Aspekte?
Trennen der Hauptkomponenten	Mechanische Trennung	Recovering copper from spent Lithium ion battery by a mechanical separation process	(Zhu et al., n.d.)	LIB	(1)	Rein mechanisches Verfahren	Nein	the copper recovery rate reached 93.10 wt %, and the content of copper was 95.40 %.	Schredder	Nicht bekannt	Nicht bekannt	Nicht bekannt	JA da keine Chemie verwendet wird	Erkenntnis, dass die Anziehungskraft zwischen der Kupferfolie und dem Graphit klein sind und somit die Beschichtung leicht abfällt	Einsatz eines Wirbelschichtreaktor Nur die Anode wird weiterverarbeitet
Aufreinigung	Mechanische Trennung								Wirbelschichtreaktor						
Trennen der Hauptkomponenten	Mechanische Trennung	Environmentally-friendly oxygen-free roasting/wet magnetic separation technology for in situ recycling cobalt, lithium carbonate and graphite from spent LiCoO2/graphite lithium batteries	(Li, Jia et al., 2016)	18650 Zellen	(4)	Trennung durch einem Magnet	Nein	Co-->95.72% Li-->98.93% Graphite-->91.05%.	Schredder	Nicht bekannt	Nicht bekannt	Ja da keine Chemie eingesetzt wird, fallen Umweltkosten aus.	JA da keine Chemie verwendet wird	Das Rösten benötigt kein Sauerstoff	Röstung geschieht bei 700°C
Aufreinigung	Mechanisch (Rösten und magnetische Trennung)								Röstungsmaschine Reaktor mit Magnetrührer						
Trennen der Hauptkomponenten	Mechanische Trennung	Development of a metal recovery process from Li-ion battery wastes	(Myung et al., 2005)	LIB	(2)	Einfache Umsetzung des Verfahrens	Ja	Nicht bekannt	Schredder	Nicht bekannt	Nicht bekannt	Nicht bekannt	Nein da Schwefelsäure eingesetzt wurde	Erkenntnis, dass 15 Vol % H2O2 in H2SO4 genügend um eine komplette Auslaugung durchzuführen Aluminium wird leichter entfernt, wenn die Partikel kleiner sind	Einsatz von H2SO4
Aufreinigung	Chemisch								H2SO4 H2O2						
Trennen der Hauptkomponenten	Mechanische Trennung	Ecological Recycling of Lithium-Ion Batteries from Electric Vehicles with Focus on Mechanical Processes	(Diekmann et al., 2017)	18650 Zellen	(1)	Fokus auf mechanische Trennung	Nein	75 % des Akku	Schredder Siebmaschine Wirbelschichtreaktor	komplette Entladung	Nicht bekannt	Nicht bekannt	Nicht bekannt, da die Lösungsmittel nicht benannt werden	Beim zweitem schreddern ist die Rückgewinnung höher. Ausgasung beim Schreddern	Lösungsmittel für die Auslaugung ist nicht bekannt
Aufreinigung	Chemisch								Nicht bekannt						

Hauptmethoden		Studie		Art des Akkus	Relevanz für Forschungsfrage	Perspektive/Kontext	Machbarkeit für Forschungsfrage	Recyclingrate	Hauptkomponenten	Sicherheitsaspekt	Rechtlich	Ökonomisch	Ökologisch	Ergebnis Besonderheit	Kritische Bewertung
Um welche Recyclingmethode handelt es sich.		Autor, (Jahr), Titel der Studie, Journal.	Verweis	Um welchen Akku handelt es sich beim Recycling?	(1) Art der Methode des Recyclingverfahren (2) Machbarkeit (3) Resultat (4) Umweltrecht	In welchem Zusammenhang findet die Studie statt.	Ist die beschriebene Methode umsetzbar?	[%]	Welche sind die wichtigsten Werkzeuge / Maschinen	Welche Sicherheitsmaßnahmen werden beachtet?	Werden rechtliche Punkte beachtet?	Wird die Wirtschaftlichkeit in Betracht gezogen?	Wie steht das Verhältnis zwischen Ökologie und Prozess?	Welche sind die wichtigsten Ergebnisse?	Was sind die kritischen Aspekte?
Trennen der Hauptkomponenten	Manuelle Trennung	A study of the separation of cobalt from spent Li-ion battery residues	(Dorella et al., 2007)	LIB	(2)	Manuelle Trennung	Ja	Co-> 85 %	Messer Schraubenzieher Flüssiger Stickstoff Säge	Einsatz von flüssig Stickstoff, Handschuhe, Schutzbrille, Gasmasken	Nicht bekannt	Nicht bekannt	Nein da der Einsatz von NH4OH und Cyanex 272 eingesetzt wurden	Genauere Erklärung der manuellen Trennung	Einsatz von NH4OH Cyanex 272
Aufreinigung	Chemisch								Schere H2SO4 NH4OH Cyanex 272						
Trennen der Hauptkomponenten	Nicht bekannt	A Novel Method to Recycle Mixed Cathode Materials for Lithium Ion Batteries	(Haiyang Zou, Eric Gratz, n.d.)	Kathode LiCoO2, LiMn2O4, LiNi0.33Mn0.33Co0.33O2LiFePO4	(1)	Recycling der Kathode	Ja	Co fast 100% Ni fast 100% Mn fast 100% Li ungefähr 80%	Nicht bekannt	Nicht bekannt	Nicht bekannt	Einsparung von \$10,440/t durch Einsatz von gewonnenem Recycling Material	Nein da sehr viele Prozessschritte chemisch sind	Aussicht auf einem geschlossenen Kreislauf	Hohe H2SO4 Konzentration (4M)
Aufreinigung	Chemisch								H2SO4 H2O2 Fe(OH) Na2CO3						
Trennen der Hauptkomponenten	Nicht bekannt	Recovery of lithium, iron and phosphorus from spent LiFePO4 batteries using stoichiometric sulfuric acid leaching system	(Li, Huan et al., 2017)	Kathode LiFePO4	(2)	Stöchiometrische Auslaugung mit H2SO4	Ja	Li->96.85 % Fe->0.027 % P->1.95 %	Nicht bekannt	Nicht bekannt	Nicht bekannt	Im Artikel wird erwähnt, dass diese Methode kosteneffizient wäre aber nicht weiter erläutert	Nein, da hoher Energieverbrauch	Durch die richtige Konzentration von H2SO4 und H2O2 kann Li ausgefällt werden und Fe und P bleiben in Form von FePO4 gelöst	FePO4 wurde durch eine Verbrennung von 600°C / 4h gewonnen
Aufreinigung	Chemisch								H2SO4 H2O2 Na3PO4						
Trennen der Hauptkomponenten	Mechanische und chemische Trennung	Direct regeneration of recycled cathode material mixture from scrapped LiFePO4 batteries	(Li, Xuelei et al., 2017)	LiFePO4 Akkus	(4)	geschlossener Kreislauf	Nein	LiFePO4 Akkus 90%	Mechanisches Verfahren nicht bekannt NaOH	Geschlossene Arbeitsbox (Glovebox)	Nicht bekannt	Verfahren wird als Kostengünstig beschrieben	Ja keine toxischen Schadstoffe werden benutzt, geschlossener Kreislauf	Keine Emissionen	Direktes Recycling-Verfahren erfordert mind. 600°C
Aufreinigung	Chemisch								NaOH Zentrifugen Mühlmaschine						

Hauptmethoden		Studie		Art des Akkus	Relevanz für Forschungsfrage	Perspektive/Kontext	Machbarkeit für Forschungsfrage	Recyclingrate	Haupt-Komponenten	Sicherheitsaspekt	Rechtlich	Ökonomisch	Ökologisch	Ergebnis Besonderheit	Kritische Bewertung
Um welche Recyclingmethode handelt es sich.		Autor, (Jahr), Titel der Studie, Journal.	Verweis	Um welchen Akku handelt es sich beim Recycling?	(1) Art der Methode des Recyclingverfahren (2) Machbarkeit (3) Resultat (4) Umweltrecht	In welchem Zusammenhang findet die Studie statt.	Ist die beschriebene Methode umsetzbar?	[%]	Welche sind die wichtigsten Werkzeuge / Maschinen	Welche Sicherheitsmaßnahmen werden beachtet?	Werden rechtliche Punkte beachtet?	Wird die Wirtschaftlichkeit in Betracht gezogen?	Wie steht das Verhältnis zwischen Ökologie und Prozess?	Welche sind die wichtigsten Ergebnisse?	Was sind kritische Aspekte?
Trennen der Hauptkomponenten	Mechanisch oder manuell	An overview of recycling and treatment of spent LiFePO4 batteries in China	(Wang, Wei et al., 2017)	LiFePO4 Akkus	(4)	Überblick über mögliche Verfahren Ziel-> Weniger Einsatz von Chemikalien	-	-	Manuell mit einem scharfen Messer, Schraubenzieher und einer Säge	Vorsicht geboten beim manuellen trennen Entladen und in Flüssigstickstoff eintauchen	Nicht bekannt	Bei einem Fahrzeug Akku von 1.3-1.7t kann theoretisch 500kg (649\$) gewonnen werden	-	-	-
Aufreinigung	Chemisch elektrisch Vakuumverfahren Solvothermal Carbothermisch								H2SO4 H2O2 HNO3						
Trennen der Hauptkomponenten	Nicht bekannt	A Recovery Process of Active Cathode Paste from Spent Li-Ion Batteries	(Rohman et al., 2017)	LIB	(2)	Auslaugung durch Essigsäure	Ja	-	Waschcontainer	komplette Entladung	Nicht bekannt	Durch den Einsatz von Essigsäure ergibt sich ein günstiges Verfahren	Einsatz von org. Lösungsmittel	Einsatz von org. Lösungsmittel	Keine
Aufreinigung	Chemisch								Essigsäure Ultraschall-bad						
Trennen der Hauptkomponenten	Nicht bekannt	Advances in the recovering of spent lithium battery compounds	(Castillo et al., 2002)	LIB	(2)	Recycling von möglichst viel Li	Ja	Li Ungefähr 100%	Nicht bekannt	Nicht bekannt	Nicht bekannt	Zukunftsziel besseres Verfahren zu finden	Zukunftsziel besseres Verfahren zu finden	Keine	Einsatz von anorganische Lösungsmittel
Aufreinigung	Chemisch								Salpeter-säure Natronlauge Magnetrührer						
Trennen der Hauptkomponenten	Mechanische Trennung	Recovery of cobalt and lithium from spent lithium ion batteries using organic citric acid as leachant	(Li, Li et al., 2010)	LIB	(2)	Einfache Umsetzung des Verfahren Umweltfreundlich	Ja	Co->90% Li->fast 100%	Nicht bekannt	komplette Entladung	Nicht bekannt	Nicht bekannt	Ja, mehr als andere Methoden da Zitronensäure verwendet wird	Die Mischung von Zitronensäure und H2O2 erzielen die besten Ergebnisse	Kalzinierung bei 700°C für 5h
Aufreinigung	Chemisch								Zitronensäure H2O2						
Trennen der Hauptkomponenten	Mechanische Trennung	Environmentally friendly recycling and effective repairing of cathode powders from	(Jiangping Chen, Qingwen Li, Jishun Song, Dawei Song,	LiFePO4 Akkus Kathode	(4)	Umweltfreundlich es Kathoden Recycling-Verfahren	Ja	Anode und Kathode 93%	Mechanische Trennung	komplette Entladung Gearbeitet wird in Handschuhbox	Nicht bekannt	teuer Einrichtung	Durch die Handschuhbox wird das Gas aufgefangen und gewaschen	Kathoden Pulver wird versetzt. Um das Pulver wieder zu regulieren, wird es erhitzt	Kathoden Pulver wird auf 650°C erhitzt

Hauptmethoden		Studie		Art des Akkus	Relevanz für Forschungsfrage	Perspektive/Kontext	Machbarkeit für Forschungsfrage	Recyclingrate	Haupt-Komponenten	Sicherheitsaspekt	Rechtlich	Ökonomisch	Ökologisch	Ergebnis Besonderheit /	Kritische Bewertung
Um welche Recyclingmethode handelt es sich.		Autor, (Jahr), Titel der Studie, Journal.	Verweis	Um welchen Akku handelt es sich beim Recycling?	(1) Art der Methode des Recyclingverfahren (2) Machbarkeit (3) Resultat (4) Umweltrecht	In welchem Zusammenhang findet die Studie statt.	Ist die beschriebene Methode umsetzbar?	[%]	Welche sind die wichtigsten Werkzeuge / Maschinen	Welche Sicherheitsmassnahmen werden beachtet?	Werden rechtliche Punkte beachtet?	Wird die Wirtschaftlichkeit in Betracht gezogen?	Wie steht das Verhältnis zwischen Ökologie und Prozess?	Welche sind die wichtigsten Ergebnisse?	Was sind kritische Aspekte?
Aufreinigung	Mechanisch mit Einsatz von NaOH	spent LiFePO4 batteries	Lianqi Zhang, 2015)						Zentrifugen Kugelmühle Offen						
Trennen der Hauptkomponenten	Mechanische Trennung	Recycling of lithium-ion batteries: a novel method to separate coating and foil of electrodes	(Hanisch et al., 2015)	LIB	(1)	Reinheit 30x höher als der aktuelle Entwicklungszustand	Nein	Aktivmaterial 97%	Inerter Schredder	Nicht bekannt	Nicht bekannt	teuer Einrichtung, detaillierte Ökonomie muss in dieser Studie noch evaluiert werden.	Entstandene Gase werden abgefangen	Einsatz von Polyvinylidenfluorid welches die Anziehung vom Beschichtetem Aktivmaterial und der Platte schwächt. Dadurch entsteht im Gegensatz von malen eine höhere Reinheit	Prozess ist für ein In-House Verfahren schwer möglich. Um das Graphit zu trennen wird eine Temperatur von 650°C benötigt.
Aufreinigung	Mechanisch								Luftabscheider Magnetrenner Offen						
Trennen der Hauptkomponenten	Mechanische Trennung	Preparation of LiCoO2 cathode materials from spent lithium-ion batteries	(Li, Jiangang et al., 2009)	LIB	(2)	Herstellung von LiCoO2 für die Akku Industrie	Ja	Co --> 99.4% Li --> 94.5%	Schredder Ultraschallvibrationen	Nicht bekannt	Nicht bekannt	Reduziert die Herstellung von Akkus	Weniger Material wird für die Herstellung von Akkus benötigt Einsatz von Chemie	Herstellung von LiCoO2	Einsatz von Chemie
Aufreinigung	Chemisch								NMP H2SO4 H2O2						
Trennen der Hauptkomponenten	Mechanische Trennung	Optimized Li and Fe recovery from spent lithiumion batteries via a solution-	(Zheng et al., 2016)	LiFePO4	(1)	Einfache Recyclingmethode	Nein	As a result, 98% of the iron and 97% of the lithium are leached from the mixed powder.	Schredder	Nicht bekannt	Nicht bekannt	Prozess verhindert die Recycling kosten	Prozess verhindert die Umweltschäden	Erst ab 600°C wird 100% aktives Material Rückgewonnen Herstellung von LiCoO2	Einsatz von Chemie und hohe Temperaturen (700°C)

Hauptmethoden		Studie		Art des Akkus	Relevanz für Forschungsfrage	Perspektive/Kontext	Machbarkeit für Forschungsfrage	Recyclingrate	Hauptkomponenten	Sicherheitsaspekt	Rechtlich	Ökonomisch	Ökologisch	Ergebnis Besonderheit /	Kritische Bewertung
Um welche Recyclingmethode handelt es sich.		Autor, (Jahr), Titel der Studie, Journal.	Verweis	Um welchen Akku handelt es sich beim Recycling?	(1) Art der Methode des Recyclingverfahren (2) Machbarkeit (3) Resultat (4) Umweltrecht	In welchem Zusammenhang findet die Studie statt.	Ist die beschriebene Methode umsetzbar?	[%]	Welche sind die wichtigsten Werkzeuge / Maschinen	Welche Sicherheitsmassnahmen werden beachtet?	Werden rechtliche Punkte beachtet?	Wird die Wirtschaftlichkeit in Betracht gezogen?	Wie steht das Verhältnis zwischen Ökologie und Prozess?	Welche sind die wichtigsten Ergebnisse?	Was sind kritische Aspekte?
Aufreinigung	Chemisch	precipitation method							H2SO4 Ofen Oszillations-siebmaschine						
Trennen der Hauptkomponenten	Manuelle Trennung	Direct regeneration of cathode materials from spent lithium iron phosphate batteries using a solid phase sintering method	(Online et al., 2017)	LiFePO4 (alt und neu) LIB	(2)	Einfaches Verfahren	Ja	Nicht bekannt	Säge Schere Messer	Schutzbrille Handschuhe Gasmask	Nicht bekannt	Nein da die Lösungsmittel teuer sind	Nein da Umweltschädliche Lösungsmittel eingesetzt werden	Erfolgreiches regenerieren vom Kathoden-material	Einsatz von gefährliche Lösungsmittel (DMAc) Kalzinierung bei 700°C
Aufreinigung	Chemisch								NMP DMF Aceton oder DMAc Ofen						
Trennen der Hauptkomponenten	Mechanische Trennung	Recycling of spent lithium-ion battery with polyvinyl chloride by mechanochemical process	(Wang, Mengmeng et al., 2017)	LIB	(1)	Umweltfreundliches Kathoden Recycling-Verfahren	Ja	Lithium in Form von LiCl-> 96.4%	Zange Kugelmühle	Nicht bekannt	Nicht bekannt	Laut Artikel die Investitionen gedeckt und ein Profit erzielt	Ja zusätzlich PVC recyclet wird	Dechlorierung von PVC Wird beim sogenannten Co-Mahlen (zusammenvermahlen, Hilfsmaterial bei vermahlen) CaOH / NaOH / KOH zugefügt, steigt die dechlorierung von PVC über 60% an	Kalzinierung bei 800°C
Aufreinigung	Chemisch								NMP Ofen						
Trennen der Hauptkomponenten	Nicht bekannt	A novel recovery process of metal values from the cathode active	(Wang, Rong-chi et al., 2009)	LIB	(2)	Einfaches Verfahren	Ja	Li-> 96.97wt.% Mn-> 98.23wt.% Co-> 96.94wt.% Ni-> 97.43 wt.%,	Nicht bekannt	Nicht bekannt	Nicht bekannt	Nicht bekannt	Nein da viele Lösungsmittel eingesetzt werden		Einsatz von vielen Lösungsmitteln

Hauptmethoden		Studie		Art des Akku	Relevanz für Forschungsfrage	Perspektive/Kontext	Machbarkeit für Forschungsfrage	Recyclingrate	Haupt-Komponenten	Sicherheitsaspekt	Rechtlich	Ökonomisch	Ökologisch	Ergebnis Besonderheit /	Kritische Bewertung
Um welche Recyclingmethode handelt es sich.		Autor, (Jahr), Titel der Studie, Journal.	Verweis	Um welchen Akku handelt es sich beim Recycling?	(1) Art der Methode des Recyclingverfahren (2) Machbarkeit (3) Resultat (4) Umweltrecht	In welchem Zusammenhang findet die Studie statt.	Ist die beschriebene Methode umsetzbar?	[%]	Welche sind die wichtigsten Werkzeugen / Maschinen	Welche Sicherheitsmassnahmen werden beachtet?	Werden rechtliche Punkten beachtet?	Wird die Wirtschaftlichkeit in Betracht gezogen?	Wie steht das Verhältnis zwischen Ökologie und Prozess?	Welche sind die wichtigsten Ergebnisse?	Was sind kritische Aspekte?
Aufreinigung	Chemisch	materials of the lithium-ion secondary batteries							HCl NaOH NH3						
Trennen der Hauptkomponenten	Nicht bekannt	An environmental benign process for cobalt and lithium recovery from spent lithium-ion batteries by mechanochemical approach	(Wang, Meng et al., 2016)	LIB Kathodenmaterial	(1)	Kein Einsatz von starker Chemie	Ja	Co-> 98% Li->99%	Nicht bekannt	komplette Entladung	Nicht bekannt	Nicht bekannt	Ja da keine starke Chemie eingesetzt wird	Bester Co-Material ist EDTA Recyclingmethode ist aufskalierbar	Das schreddern dauert 4h
Aufreinigung	Chemisch								Kugelmühle EDTA Wasser Vakuum-filtration						

Anhang C: Beachtung rechtlicher Auflagen

In diesem Abschnitt werden anhand von Normen und Gesetzen die rechtlichen Aspekte für das Recycling der Zelle beschrieben. Die Normen können sich über den Verlauf der Jahre ändern. In der Kategorie der Batterien gibt es viele verschiedene Normen, Gesetze oder Vorgaben, die eine Übersicht erschweren. Es gibt regionale Normen, die zum Beispiel den Transport regeln (EN 62281), die Sicherheit der Li-Ion Batterien (EN 60086-4) beschreiben und die nur die Sicherheit, Leistungsverhalten oder Zuverlässigkeitsprüfung von Elektroautos regeln (EN 62660-1 bis 3). Für das Recycling gibt es die EU- Richtlinie 2006/66/EG, welche zudem die Behandlung und die Beseitigung von Altbatterien regelt. Die daraus wichtigsten Punkte, die für das Erstellen eines neuen Recyclingverfahrens zu beachten sind, werden in der unteren Tabelle aufgelistet.

Tabelle 14: Abschnitt (RICHTLINIE 2006/66/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES, 2006)

Anfang (16)	Alle interessierten Parteien sollten sich an Rücknahme-, Behandlungs- und Recyclingsystemen beteiligen können. Diese Systeme sollten so konzipiert sein, dass die Diskriminierung von eingeführten Batterien und Akkumulatoren sowie Handelshemmnisse oder Wettbewerbsverzerrungen vermieden werden.
Anfang (17)	Rücknahme- und Recyclingsysteme sollten optimiert werden, um insbesondere eine Minimierung der Kosten und der Umweltbelastung durch den Transport zu erreichen. Bei den Behandlungs- und Recyclingsystemen sollten die besten verfügbaren Techniken im Sinne der Definition in Artikel 2 Nummer 11 der Richtlinie 96/61/EG des Rates vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (1) eingesetzt werden. Die Definition des Begriffs „Recycling“ sollte die energetische Verwertung nicht umfassen. Der Begriff „energetische Verwertung“ ist in anderen Gemeinschaftsrechtsakten definiert.
Anfang (19)	Die Grundsätze für die Finanzierung der Entsorgung von Altbatterien und Akkumulatoren sollten auf Gemeinschaftsebene festgelegt werden. Die Finanzierungssysteme sollten zur Erzielung hoher Sammel- und Recyclingquoten und zur Umsetzung des Grundsatzes der Herstellerverantwortung beitragen. Sämtliche Hersteller im Sinne dieser Richtlinie sollten registriert werden. Die Hersteller sollten die Kosten für die Sammlung, die Behandlung und das Recycling aller gesammelten Batterien und Akkumulatoren abzüglich des durch den Verkauf der rückgewonnenen Materialien erzielten Gewinns tragen. Allerdings könnte unter bestimmten Umständen die Anwendung von De-minimis-Regeln auf Kleinerzeuger gerechtfertigt sein.
<i>Artikel 1</i> Gegenstand	Sie zielt darauf ab, die Umweltbilanz der Batterien und Akkumulatoren sowie der Tätigkeiten aller am Lebenszyklus von Batterien und Akkumulatoren beteiligten Wirtschaftsakteure, d. h. Hersteller, Vertreiber und Endnutzer und insbesondere der Akteure, die direkt an der Behandlung und am Recycling von Altbatterien und -akkumulatoren beteiligt sind, zu verbessern.

<p><i>Artikel 12</i></p> <p>Behandlung und Recycling</p>	<p>a) die Hersteller oder Dritte Systeme für die Behandlung und das Recycling von Altbatterien und -akkumulatoren einrichten und hierbei die besten verfügbaren Techniken im Sinne des Schutzes der Gesundheit und der Umwelt einsetzen, und</p>
	<p>b) alle identifizierbaren, gemäß Artikel 8 der vorliegenden Richtlinie oder gemäß der Richtlinie 2002/96/EG gesammelten Altbatterien und -akkumulatoren im Rahmen von Systemen, die als Mindestanforderung den gemeinschaftsrechtlichen Vorschriften insbesondere bezüglich Gesundheit, Sicherheit und Abfallbewirtschaftung entsprechen, behandelt und recycelt werden.</p>
	<p>2) Die Behandlung muss den Mindestanforderungen des Anhangs III Teil A entsprechen.</p>
	<p>(4) Das Recycling muss spätestens am 26. September 2010 den Recyclingeffizienzen und damit verbundenen Vorschriften des Anhangs III Teil B entsprechen.</p>
	<p>(5) Die Mitgliedstaaten berichten über das in jedem Kalenderjahr erreichte Recyclingniveau und darüber, ob die Effizienzen des Anhangs III Teil B erreicht wurden. Sie übermitteln der Kommission diese Informationen innerhalb von sechs Monaten nach Ablauf des betreffenden Kalenderjahres.</p>
<p>Neue Recyclingtechnologien</p>	<p>(1) Die Mitgliedstaaten unterstützen die Entwicklung neuer Recycling- und Behandlungstechnologien und fördern die Forschung in Bezug auf umweltfreundliche und kostengünstige Recyclingverfahren für alle Arten von Batterien und Akkumulatoren.</p>
<p>TEIL A: BEHANDLUNG</p>	<p>Die Behandlung muss mindestens die Entfernung aller Flüssigkeiten und Säuren umfassen.</p> <p>Die Behandlung und eine — auch vorübergehende — Lagerung in Behandlungsanlagen muss an Standorten mit undurchlässigen Oberflächen und geeigneter wetterbeständiger Abdeckung oder in geeigneten Behältern erfolgen.</p>
<p>TEIL B: RECYCLING</p> <p>Mit den Recyclingverfahren müssen die folgenden Mindesteffizienzen für das Recycling erreicht werden:</p>	<p>a) Recycling von 65 % des durchschnittlichen Gewichts von Blei-Säure-Batterien und -Akkumulatoren bei einem Höchstmaß an Recycling des Bleigehalts, das ohne übermäßige Kosten technisch erreichbar ist;</p> <p>Recycling von 75 % des durchschnittlichen Gewichts von Nickel-Cadmium-Batterien und -Akkumulatoren bei einem Höchstmaß an Recycling des Cadmiumgehalts, das ohne übermäßige Kosten technisch erreichbar ist</p> <p>Recycling von 50 % des durchschnittlichen Gewichts sonstiger Altbatterien und -akkumulatoren.</p>

Des Weiteren gibt es Normen und Gesetze, die den Abfall regeln. Da die Recyclingmethode durch den Elektrolyt im Moment noch Abfall verursacht, muss dieser nach rechtmässigen Richtlinien entsorgt werden. Durch die Inhaltstoffe des Elektrolyten, wird dieser Abfall als Sonderabfall kategorisiert. Für Sonderabfälle gelten folgende Vorschriften (*Verordnung über den Verkehr mit Abfällen*, 2018):

- Sonderabfälle dürfen nicht verdünnt werden, um den Schadstoffgehalt herabzusenken.
- Sonderabfälle müssen für den Transport gekennzeichnet werden
 - Anschrift Sonderabfall
 - Abfallcode
 - Nummer des Begleitscheins

- Sonderabfälle müssen von einem Entsorgungsunternehmen entsorgt werden, bei welchem eine Bewilligung für die Entsorgung von Sonderabfall von der kantonalen Behörde vorliegt.
- Sonderabfälle dürfen nur transportiert werden wenn,
 - Der Begleitschein mitgeführt wird
 - Das Entsorgungsunternehmen auf dem Begleitschein eingetragen ist
 - Die Sonderabfälle richtig gekennzeichnet sind

Der Abfallcode kann im Abfallverzeichnis Verordnung (AVV) herausgelesen werden (*Die Abfallverzeichnis-Verordnung - AVV, n.d.*). In diesem Falle lautet der Abfallcode 07 07 03.

Auch verursachte Emissionen müssen richtig behandelt werden. Beim Öffnen der Zelle entstehen flüchtige organische Verbindungen (VOC). Nach Erhebungssystem werden entstandene VOC mit Abgaben belastet (CHF 3 pro Kilogramm) außer die entstandenen VOC werden abgefangen und gelangen somit nicht in die Umwelt. Ist dies der Fall, muss dies durch eine VOC-Bilanz hinterlegt werden.

Grundsätzlich darf jedes Unternehmen ihr eigenes Recyclingunternehmen gründen, solange die Vorschriften eingehalten werden und die kantonale Behörde, in diesem Falle die EWAL, die Bewilligung genehmigt.

Anhang D: Sicherheitsaspekte

Bevor die Anleitung im Detail beschrieben wird, müssen die Sicherheitsaspekte erläutert werden. Dieser Anhang dient der Sicherheit aller Personen, die in einem späteren Zeitpunkt mit der Recyclingmethode hantieren. Als erstes werden in diesem Anhang die Gefahren vorgestellt, die sich aus den Stoffen in der Zelle ergeben. Danach werden alle Gefahren erläutert, die sich aus den verwendet Stoffen entstehen können.

Inhalt der Lithium-Ion Battery (SE100AHA)

In der unteren Tabelle werden alle Inhaltstoffe der LIB nach dem Datenblatt MSDS aufgelistet (PONY, 2013).

Stoff	CAS No.	Gewichtsprozent [%]
Lithiumeisenphosphat	15365-14-7	31
Graphit	7782-42-5	18
Kupfer	7440-50-8	12
Aluminium	7429-90-5	8
Lithiumhexafluorosphat	21324-40-3	4
Karbonat	-	8
Polypropylen	9003-07-0	19
Total		100

Gefahren der Inhaltsstoffe

Da die einzelnen Bestandteile einer Lithium Ionen Batterie jedoch weiter verarbeitet und aufgereinigt werden, müssen die Gefahren der einzelnen Stoffe genauer unter die Lupe genommen werden. Anhand der MSDS Datenblätter der einzelnen Stoffe kann eine solche Untersuchung der Gefahren durchgeführt werden. In diesem Abschnitt werden jeweils die wichtigsten Gefahren zusammengefasst. Um die Sicherheit des Personals zu gewährleisten, wurden alle Informationen eins zu eins vom MSDS Datenblatt übernommen und keine persönlichen Veränderungen erstellt.

Lithiumeisenphosphat

Lithiumeisenphosphat besteht aus Metalloxid, also Eisenphosphat (Beschichtungsmaterial) und aus dem darin gebundenen Lithium, welches sich auf der Kathodenplatte befindet. Der erste Kontakt mit dem Lithiumeisenphosphat geschieht beim auseinander nehmen der Elektroden.

Einstufung des Stoffs oder Gemischs	Kein gefährlicher Stoff
Nach Einatmen	Betroffene Person an die frische Luft bringen. Bei Atemstillstand, künstlich beatmen.
Nach Hautkontakt	Mit Seife und viel Wasser abwaschen.
Nach Augenkontakt	Augen vorsorglich mit Wasser ausspülen.
Nach Verschlucken	Nie einer ohnmächtigen Person etwas durch den Mund einflößen. Mund mit Wasser ausspülen.
Geeignete Löschmittel	Wassersprühnebel, alkoholbeständigen Schaum, Trockenlöschmittel oder Kohlendioxid verwenden.
Umweltschutzmaßnahmen	Keine besonderen Umweltschutzmaßnahmen erforderlich.
Methoden und Material für Rückhaltung und Reinigung	Zusammenkehren und aufschaukeln. Zur Entsorgung in geeignete und verschlossene Behälter geben.
Schutzmaßnahmen zur sicheren Handhabung	Bei Staubbildung für geeignete Entlüftung sorgen. Informationen über Schutzmassnahmen befinden sich in Abschnitt 2.2.
Bedingungen zur sicheren Lagerung unter Berücksichtigung von Unverträglichkeiten	An einem kühlen Ort aufbewahren. Behälter dicht verschlossen an einem trockenen, gut belüfteten Ort aufbewahren.
Hautschutz	Mit Handschuhen arbeiten (Minimale Schichtdicke: 0,11 mm) Nitrilkautschuk
Schmelzpunkt/Gefrierpunkt	Schmelzpunkt/Gefrierpunkt: > 300 °C
Siedebeginn und Siedebereich	Keine Daten verfügbar
Flammpunkt	Keine Daten verfügbar
Wasserlöslichkeit	Keine Daten verfügbar
Chemische Stabilität	Stabil unter angegebenen Lagerungsbedingungen.
Unverträgliche Materialien	Starke Oxidationsmittel
Abfallbehandlung- Produkt	Restmengen und nicht wieder verwertbare Lösungen einem anerkannten Entsorgungsunternehmen zuführen.
Verunreinigte Verpackungen	Wie ungebrauchtes Produkt entsorgen.

(SIGMA-ALDRICH, 2018b)

Graphit

Das Graphit ist das Beschichtungsmaterial auf der Anode. Der erste Kontakt mit dem Graphit geschieht beim auseinander nehmen der Elektroden.

Einstufung des Stoffs oder Gemischs	Kein gefährlicher Stoff
Nach Einatmen	Betroffene Person an die frische Luft bringen. Bei Atemstillstand, künstlich beatmen.
Nach Hautkontakt	Mit Seife und viel Wasser abwaschen.
Nach Augenkontakt	Augen vorsorglich mit Wasser ausspülen.
Nach Verschlucken	Nie einer ohnmächtigen Person etwas durch den Mund einflößen. Mund mit Wasser ausspülen.
Geeignete Löschmittel	Wassersprühnebel, alkoholbeständigen Schaum, Trockenlöschmittel oder Kohlendioxid verwenden
Umweltschutzmaßnahmen	Nicht in die Kanalisation gelangen lassen
Methoden und Material für Rückhaltung und Reinigung	Zusammenkehren und aufschaukeln. Zur Entsorgung in geeignete und verschlossene Behälter geben.
Schutzmaßnahmen zur sicheren Handhabung	Bei Staubbildung für geeignete Entlüftung sorgen.
Bedingungen zur sicheren Lagerung unter Berücksichtigung von Unverträglichkeiten	An einem kühlen Ort aufbewahren. Behälter dicht verschlossen an einem trockenen, gut belüfteten Ort aufbewahren.
Hautschutz	Mit Handschuhen arbeiten (Minimale Schichtdicke: 0,11 mm) Nitrilkautschuk
Schmelzpunkt/Gefrierpunkt	Schmelzpunkt/Schmelzbereich: 3.652 - 3.697 °C - lit.
Siedebeginn und Siedebereich	Keine Daten verfügbar
Flammpunkt	Keine Daten verfügbar
Wasserlöslichkeit	gering löslich
Abfallbehandlung- Produkt	Restmengen und nicht wieder verwertbare Lösungen einem anerkannten Entsorgungsunternehmen zuführen.
Verunreinigte Verpackungen	Wie ungebrauchtes Produkt entsorgen.

(SIGMA-ALDRICH, 2018b)

Kupfer

Die Anode besteht aus Kupfer. Der erste grössere Kontakt mit dem Kupfer geschieht beim Ablösen der Beschichtung der Anode.

Einstufung des Stoffs oder Gemischs	Kein gefährlicher Stoff
Nach Einatmen	Betroffene Person an die frische Luft bringen. Bei Atemstillstand, künstlich beatmen.
Nach Hautkontakt	Mit Seife und viel Wasser abwaschen.
Nach Augenkontakt	Augen vorsorglich mit Wasser ausspülen.
Nach Verschlucken	Nie einer ohnmächtigen Person etwas durch den Mund einflößen. Mund mit Wasser ausspülen.
Geeignete Löschmittel	Wassersprühnebel, alkoholbeständigen Schaum, Trockenlöschmittel oder Kohlendioxid verwenden
Umweltschutzmaßnahmen	Keine besonderen Umweltschutzmaßnahmen erforderlich.
Methoden und Material für Rückhaltung und Reinigung	Zusammenkehren und aufschaukeln. Zur Entsorgung in geeignete und verschlossene Behälter geben.
Schutzmaßnahmen zur sicheren Handhabung	Bei Staubbildung für geeignete Entlüftung sorgen.
Bedingungen zur sicheren Lagerung unter Berücksichtigung von Unverträglichkeiten	An einem kühlen Ort aufbewahren. Behälter dicht verschlossen an einem trockenen, gut belüfteten Ort aufbewahren.
Hautschutz	Mit Handschuhen arbeiten (Minimale Schichtdicke: 0,11 mm) Nitrilkautschuk
Schmelzpunkt/Gefrierpunkt	Schmelzpunkt/Schmelzbereich: 1.083,4 °C
Siedebeginn und Siedebereich	2.567 °C
Flammpunkt	Keine Daten verfügbar
Wasserlöslichkeit	Keine Daten verfügbar
Abfallbehandlung- Produkt	Restmengen und nicht wieder verwertbare Lösungen einem anerkannten Entsorgungsunternehmen zuführen.
Verunreinigte Verpackungen	Wie ungebrauchtes Produkt entsorgen.

(SIGMA-ALDRICH, 2018b)

Aluminium

Die Kathode besteht aus Aluminium. Der erste grössere Kontakt mit dem Kupfer geschieht beim Ablösen der Beschichtung der Kathode.

Einstufung des Stoffs oder Gemischs	Entzündbare Feststoffe (Kategorie 1), H228
Nach Einatmen	Betroffene Person an die frische Luft bringen. Bei Atemstillstand, künstlich beatmen.
Einstufung gemäss EU-Richtlinien 67/548/EWG oder 1999/45/EG	F Leichtentzündlich R11
Piktogramm	
Vorsichtsmaßnahmen	Von Hitze/Funken/offener Flamme/heißen Oberflächen fernhalten
Nach Hautkontakt	Mit Seife und viel Wasser abwaschen. Arzt konsultieren.
Nach Augenkontakt	Augen vorsorglich mit Wasser ausspülen.
Nach Verschlucken	KEIN Erbrechen herbeiführen. Nie einer ohnmächtigen Person etwas durch den Mund einflößen. Mund mit Wasser ausspülen.
Geeignete Löschmittel	Spezialpulver gegen Metallbrand Trockensand Löschmaßnahmen auf die Umgebung abstimmen. Wassersprühnebel, alkoholbeständigen Schaum, Trockenlöschmittel oder Kohlendioxid.
Ungeeignete Löschmittel	Wasser Kohlendioxid (CO ₂) ABC-Pulver
Umweltschutzmaßnahmen	Weiteres Auslaufen oder Verschütten verhindern, wenn dies ohne Gefahr möglich ist. Nicht in die Kanalisation gelangen lassen.
Methoden und Material für Rückhaltung und Reinigung	Zusammenkehren und aufschaukeln. Das verschüttete Material mit einem funkensicheren Staubsauger aufnehmen oder feucht zusammenkehren und in Behälter zur Entsorgung gemäß lokalen gesetzlichen Bestimmungen geben (siehe Abschnitt 13). Nicht mit Wasser nachspülen. Zur Entsorgung in geeignete und verschlossene Behälter geben. Das verschüttete Material eindämmen, mit einem funkensicheren Staubsauger aufnehmen oder feucht zusammenkehren und in Behälter zur Entsorgung gemäß lokalen gesetzlichen Bestimmungen geben (siehe Abschnitt 13). Zusammenkehren und aufschaukeln. Das verschüttete Material mit einem funkensicheren Staubsauger aufnehmen oder feucht zusammenkehren und in Behälter zur Entsorgung gemäß lokalen gesetzlichen Bestimmungen geben (siehe Abschnitt 13). Zur Entsorgung in geeignete und verschlossene

	Behälter geben. Das verschüttete Material eindämmen, mit einem funkensicheren Staubsauger aufnehmen oder feucht zusammenkehren und in Behälter zur Entsorgung gemäß lokalen gesetzlichen Bestimmungen geben (siehe Abschnitt 13).
Schutzmaßnahmen zur sicheren Handhabung	Bei Staubbildung für geeignete Entlüftung sorgen.
Bedingungen zur sicheren Lagerung unter Berücksichtigung von Unverträglichkeiten	Schutzmaßnahmen zur sicheren Handhabung Staub- und Aerosolbildung vermeiden. Bei Staubbildung für geeignete Entlüftung sorgen. Von Zündquellen fernhalten – Nicht rauchen. Maßnahmen gegen elektrostatisches Aufladen treffen. Informationen über Schutzmassnahmen befinden sich in Abschnitt 2.2.
Hautschutz	Mit Handschuhen arbeiten (Minimale Schichtdicke: 0,11 mm) Nitrilkautschuk
Schmelzpunkt/Gefrierpunkt	Schmelzpunkt/Schmelzbereich: 660 °C
Siedebeginn und Siedebereich	2.467 °C
Flammpunkt	Keine Daten verfügbar
Wasserlöslichkeit	unlöslich
Selbstentzündungstemperatur	nicht selbstentzündlich
Zu vermeidende Bedingungen	Feuchte Luft Wasser, Hitze, Flammen und Funken. Extreme Temperaturen und direkte Sonneneinstrahlung.
Abfallbehandlung- Produkt	In einer Verbrennungsanlage für Chemikalien mit Nachbrenner und Abluftwäscher verbrennen, aber sehr vorsichtig zünden, da das Material sehr leicht entflammbar ist. Restmengen und nicht wieder verwertbare Lösungen einem anerkannten Entsorgungsunternehmen zuführen.
Verunreinigte Verpackungen	Wie ungebrauchtes Produkt entsorgen.

(SIGMA-ALDRICH, 2015)

Lithiumhexafluorophosphat

Das Lithiumsalz befindet sich gelöst im Elektrolyten. Der erste Kontakt mit dem Elektrolyt geschieht sobald das Gehäuse geöffnet wird.

Einstufung des Stoffs oder Gemischs		Akute Toxizität, Oral (Kategorie 3), H301 Ätzwirkung auf die Haut (Kategorie 1A), H314 Spezifische Zielorgan-Toxizität - wiederholte Exposition, Einatmung (Kategorie 1), Knochen, Zähne, H372
Piktogramm		
Gefahrenbezeichnung(en)	H301	Giftig bei Verschlucken.
	H314	Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden
	H372	Schädigt die Organe (Knochen, Zähne) bei längerer oder wiederholter Exposition durch Einatmen
Vorsichtsmaßnahmen	P260	Staub/Rauch/Gas/Nebel/Dampf/Aerosol nicht einatmen.
	P280	Schutzhandschuhe/ Schutzkleidung/ Augenschutz/ Gesichtsschutz tragen.
	P301 + P330 + P331 + P310	BEI VERSCHLUCKEN: Mund ausspülen. KEIN Erbrechen herbeiführen. Sofort GIFTINFORMATIONSZENTRUM/ Arzt anrufen.
	P303 + P361 + P353	BEI BERÜHRUNG MIT DER HAUT (oder dem Haar): Alle kontaminierten Kleidungsstücke sofort ausziehen. Haut mit Wasser abwaschen/duschen.
	P304 + P340 + P310	BEI EINATMEN: Die Person an die frische Luft bringen und für ungehinderte Atmung sorgen. Sofort GIFTINFORMATIONSZENTRUM/Arzt anrufen.
	P305 + P351 + P338	BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.
	Weitere Gefahren	
Allgemeine Hinweise		Durch Fluorwasserstoffsäure hervorgerufene Verbrennungen erfordern sofortige und spezielle erste Hilfe und ärztliche Behandlung. Je nach

	<p>Konzentration der Fluorwasserstoffsäure können die Symptome bis zu 24 Stunden verzögert auftreten. Nach Dekontaminierung mit Wasser kann die Eindringung/Absorption des Fluorions zu weiteren Schäden führen. Die Behandlung sollte auf die Bindung des Fluorions sowie die Behandlung der Expositionswirkungen abzielen. Hautexpositionen können mit einem 2.5%igen Calciumgluconatgel behandelt werden, das wiederholt aufgetragen wird, bis das Brennen aufhört. Schwerere Hautexpositionen können evtl. subkutan Calciumgluconat erfordern, ausser in den Fingerbereichen, bei denen der Arzt aufgrund eines Gewebeschädigungspotentials, das durch erhöhten Druck hervorgerufen werden kann, mit dieser Technik besonders vertraut sein muss. Die Absorption kann schnell durch die subungualen Bereiche stattfinden und soll bei der Dekontaminierung berücksichtigt werden. Beim Verschlucken kann die Absorption des Fluoridions durch Verabreichung von Milch, Calciumcarbonat-Kautabletten oder Magnesiummilch an Opfer verhindert werden, die bei Bewusstsein sind. Es sollte nach Zuständen wie Hypocalcämie, Magnesiummangel und Herzrhythmusstörungen untersucht werden, da diese nach einer Exposition auftreten können. Arzt konsultieren. Dem behandelnden Arzt dieses Sicherheitsdatenblatt vorzeigen.</p>
Nach Einatmen	Betroffene Person an die frische Luft bringen. Bei Atemstillstand, künstlich beatmen.
Nach Hautkontakt	Beschmutzte Kleidung und Schuhe sofort ausziehen. Mit Seife und viel Wasser abwaschen. Patient umgehend in ein Krankenhaus bringen. Arzt konsultieren. Erstbehandlung mit Calciumgluconatpaste.
Nach Augenkontakt	Mindestens 15 Minuten mit viel Wasser gründlich ausspülen und Arzt konsultieren.
Nach Verschlucken	KEIN Erbrechen herbeiführen. Nie einer ohnmächtigen Person etwas durch den Mund einflößen. Mund mit Wasser ausspülen. Arzt konsultieren.
Geeignete Löschmittel	Wassersprühnebel, alkoholbeständigen Schaum, Trockenlöschmittel oder Kohlendioxid verwenden.
Umweltschutzmaßnahmen	Weiteres Auslaufen oder Verschütten verhindern, wenn dies ohne Gefahr möglich ist. Nicht in die Kanalisation gelangen lassen.
Methoden und Material für Rückhaltung und Reinigung	Staubfrei aufnehmen und staubfrei ablagern. Zusammenkehren und aufschaukeln. Zur Entsorgung in geeignete und verschlossene Behälter geben.
Schutzmaßnahmen zur sicheren Handhabung	Berührung mit den Augen und der Haut vermeiden. Staub- und Aerosolbildung vermeiden. Bei Staubbildung für geeignete Entlüftung sorgen. Informationen über Schutzmassnahmen befinden sich in Abschnitt 2.2.
Bedingungen zur sicheren Lagerung unter Berücksichtigung von Unverträglichkeiten	An einem kühlen Ort aufbewahren. Behälter dicht verschlossen an einem trockenen, gut belüfteten Ort aufbewahren. Unter Inertgas handhaben und aufbewahren. Hydrolysiert leicht. Luft- und

	feuchtigkeitsempfindlich. Nicht in Glasbehältern aufbewahren.
Hautschutz	Mit Handschuhen arbeiten (Minimale Schichtdicke: 0,11 mm) Nitrilkautschuk
Schmelzpunkt/Gefrierpunkt	Schmelzpunkt/Schmelzbereich: 200 °C - dec.
Siedebeginn und Siedebereich	Keine Daten verfügbar
Flammpunkt	Keine Daten verfügbar
Wasserlöslichkeit	Keine Daten verfügbar
Zu vermeidende Bedingungen	Feuchtigkeitsexposition. Reagiert gefährlich mit Glas.
Unverträgliche Materialien	Starke Oxidationsmittel, Starke SäurenGlas
Gefährliche Zersetzungsprodukte	Im Brandfall können gefährliche Zersetzungsprodukte entstehen. - Phosphoroxide, Fluorwasserstoff, Lithiumoxide
Chemische Stabilität	Stabil unter angegebenen Lagerungsbedingungen.
Abfallbehandlung- Produkt	Restmengen und nicht wieder verwertbare Lösungen einem anerkannten Entsorgungsunternehmen zuführen. Diese Produkte sind in einem brennbaren Lösungsmittel zu lösen oder mit diesem zu mischen und in einer Verbrennungsanlage für Chemikalien (mit Nachbrenner und Abluftwäscher) zu verbrennen.
Verunreinigte Verpackungen	Wie ungebrauchtes Produkt entsorgen.

(SIGMA-ALDRICH, 2018b)

Karbonat

Die Karbonate kommen im Elektrolyten vor. Die heutzutage meistverwendeten Karbonate sind Diethylcarbonat (DEC), Dimethylcarbonat (DMC) und Ethylencarbonat (EC) (Haiyang Zou, Eric Gratz, n.d.). Da keine Analysen des Elektrolyten gemacht werden konnten, werden alle drei Karbonate auf ihren Gefahren zusammengefasst.

Diethylcarbonat

Einstufung des Stoffs oder Gemischs		Entzündbare Flüssigkeiten (Kategorie 3), H226
Piktogramm		
Gefahrenbezeichnung(en)	H226	Flüssigkeit und Dampf entzündbar.
Vorsichtsmaßnahmen	P210	Von Hitze, heißen Oberflächen, Funken, offenen Flammen und anderen Zündquellen fernhalten. Nicht rauchen.
	P370 + P378	Bei Brand: Löschpulver oder Trockensand zum Löschen verwenden.
Nach Einatmen		Bei Einatmen, betroffene Person an die frische Luft bringen. Bei Atemstillstand, künstlich beatmen. Arzt konsultieren.
Nach Hautkontakt		Mit Seife und viel Wasser abwaschen. Arzt konsultieren.

Nach Augenkontakt	Augen vorsorglich mit Wasser ausspülen.
Nach Verschlucken	KEIN Erbrechen herbeiführen. Nie einer ohnmächtigen Person etwas durch den Mund einflößen. Mund mit Wasser ausspülen. Arzt konsultieren.
Geeignete Löschmittel	Löschpulver Trockensand
Ungeeignete Löschmittel	KEINEN Wasserstrahl einsetzen
Umweltschutzmaßnahmen	Weiteres Auslaufen oder Verschütten verhindern, wenn dies ohne Gefahr möglich ist. Nicht in die Kanalisation gelangen lassen.
Methoden und Material für Rückhaltung und Reinigung	Auslaufendes Material mit nicht brennbarem, absorbierendem Material (z.B. Sand, Erde, Kieselgur, Vermiculit) eindämmen und aufnehmen, und in Behälter zur Entsorgung gemäß lokalen / nationalen gesetzlichen Bestimmungen geben (siehe Abschnitt 13).
Schutzmaßnahmen zur sicheren Handhabung	Ein Einatmen der Dämpfe oder Nebel vermeiden. Von Zündquellen fernhalten - Nicht rauchen. Maßnahmen gegen elektrostatisches Aufladen treffen. Informationen über Schutzmassnahmen befinden sich in Abschnitt 2.2.
Bedingungen zur sicheren Lagerung unter Berücksichtigung von Unverträglichkeiten	Behälter dicht verschlossen an einem trockenen, gut belüfteten Ort aufbewahren. Geöffnete Behälter sorgfältig verschließen und aufrecht lagern um jegliches Auslaufen zu verhindern. An einem kühlen Ort aufbewahren. Unter Inertgas aufbewahren. Feuchtigkeitsempfindlich.
Hautschutz	Mit Handschuhen arbeiten (Minimale Schichtdicke: 0,30 mm) Butylkautschuk
Schmelzpunkt/Gefrierpunkt	Schmelzpunkt/Schmelzbereich: -43 °C - lit.
Siedebeginn und Siedebereich	126 - 128 °C - lit.
Flammpunkt	25 °C - geschlossener Tiegel
Wasserlöslichkeit	18,8 g/l bei 20 °C
Zu vermeidende Bedingungen	Hitze, Flammen und Funken.
Unverträgliche Materialien	Starke Säuren, Oxidationsmittel, Starke Basen, Reduktionsmittel
Gefährliche Zersetzungsprodukte	Im Brandfall können gefährliche Zersetzungsprodukte entstehen. – Kohlenstoffoxide.
Chemische Stabilität	Stabil unter angegebenen Lagerungsbedingungen.
Abfallbehandlung- Produkt	Restmengen und nicht wieder verwertbare Lösungen einem anerkannten Entsorgungsunternehmen zuführen. Produktreste sind unter Beachtung der Abfallrichtlinie 2008/98/EG sowie nationalen und regionalen Vorschriften zu entsorgen. Chemikalien in Originalbehältern belassen. Nicht mit anderen Abfällen vermischen. Ungereinigte Behälter sind dem Produkt entsprechend zu behandeln.
Verunreinigte Verpackungen	Wie ungebrauchtes Produkt entsorgen.

(SIGMA-ALDRICH, 2017a)

Dimethylcarbonat

Einstufung des Stoffs oder Gemischs	Entzündbare Flüssigkeiten (Kategorie 2), H225
--	---

Piktogramm		
Gefahrenbezeichnung(en)	H225	Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar.
Vorsichtsmaßnahmen	P210	Von Hitze, heißen Oberflächen, Funken, offenen Flammen und anderen Zündquellen fernhalten. Nicht rauchen.
	P403 + P235	An einem gut belüfteten Ort aufbewahren. Kühl halten.
Nach Einatmen		Bei Einatmen, betroffene Person an die frische Luft bringen. Bei Atemstillstand, künstlich beatmen. Arzt konsultieren.
Nach Hautkontakt		Mit Seife und viel Wasser abwaschen. Arzt konsultieren.
Nach Augenkontakt		Augen vorsorglich mit Wasser ausspülen.
Nach Verschlucken		KEIN Erbrechen herbeiführen. Nie einer ohnmächtigen Person etwas durch den Mund einflößen. Mund mit Wasser ausspülen. Arzt konsultieren.
Geeignete Löschmittel		Wassersprühnebel, alkoholbeständigen Schaum, Trockenlöschmittel oder Kohlendioxid verwenden.
Umweltschutzmaßnahmen		Weiteres Auslaufen oder Verschütten verhindern, wenn dies ohne Gefahr möglich ist. Nicht in die Kanalisation gelangen lassen.
Methoden und Material für Rückhaltung und Reinigung		Das verschüttete Material mit einem funkensicheren Staubsauger aufnehmen oder feucht zusammenkehren und in Behälter zur Entsorgung gemäß lokalen gesetzlichen Bestimmungen geben
Schutzmaßnahmen zur sicheren Handhabung		Ein Einatmen der Dämpfe oder Nebel vermeiden. Von Zündquellen fernhalten - Nicht rauchen. Maßnahmen gegen elektrostatisches Aufladen treffen. Informationen über Schutzmassnahmen befinden sich in Abschnitt 2.2.
Bedingungen zur sicheren Lagerung unter Berücksichtigung von Unverträglichkeiten		An einem kühlen Ort aufbewahren. Behälter dicht verschlossen an einem trockenen, gut belüfteten Ort aufbewahren. Geöffnete Behälter sorgfältig verschließen und aufrecht lagern um jegliches Auslaufen zu verhindern. Luftempfindlich.
Hautschutz		Mit Handschuhen arbeiten (Minimale Schichtdicke: 0,11 mm) Butylkautschuk
Schmelzpunkt/Gefrierpunkt		Schmelzpunkt/Schmelzbereich: 2 - 4 °C - lit.
Siedebeginn und Siedebereich		90 °C - lit.
Flammpunkt		16 °C - geschlossener Tiegel
Wasserlöslichkeit		114,7 g/l bei 20 °C - OECD Prüfrichtlinie 105 - vollkommen löslich
Zu vermeidende Bedingungen		Hitze, Flammen und Funken.
Unverträgliche Materialien		Oxidationsmittel, Starke Säuren, Starke Basen
Gefährliche Zersetzungsprodukte		Im Brandfall können gefährliche Zersetzungsprodukte entstehen. - Kohlenstoffoxide

Chemische Stabilität	Stabil unter angegebenen Lagerungsbedingungen.
Abfallbehandlung- Produkt	In einer Verbrennungsanlage für Chemikalien mit Nachbrenner und Abluftwäscher verbrennen, aber sehr vorsichtig zünden, da das Material sehr leicht entflammbar ist. Restmengen und nicht wieder verwertbare Lösungen einem anerkannten Entsorgungsunternehmen zuführen.
Verunreinigte Verpackungen	Wie ungebrauchtes Produkt entsorgen.

(SIGMA-ALDRICH, 2017b)

Ethylencarbonat

Einstufung des Stoffs oder Gemischs	Akute Toxizität, Oral (Kategorie 4), H302 Augenreizung (Kategorie 2), H319 Spezifische Zielorgan-Toxizität - wiederholte Exposition, Oral (Kategorie 2), Niere, H373	
Piktogramm		
Gefahrenbezeichnung(en)	H302	Gesundheitsschädlich bei Verschlucken
	H319	Verursacht schwere Augenreizung
	H373	Kann die Organe (Niere) schädigen bei längerer oder wiederholter Exposition durch Verschlucken.
Vorsichtsmaßnahmen	P260	Staub/Rauch/Gas/Nebel/Dampf/Aerosol nicht einatmen.
	P301 + P312 + P330	BEI VERSCHLUCKEN: Bei Unwohlsein GIFTINFORMATIONSZENTRUM/Arzt anrufen. Mund ausspülen.
	P305 + P351 + P338	BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.
Nach Einatmen	Bei Einatmen, betroffene Person an die frische Luft bringen. Bei Atemstillstand, künstlich beatmen. Arzt konsultieren.	
Nach Hautkontakt	Mit Seife und viel Wasser abwaschen. Arzt konsultieren.	
Nach Augenkontakt	Mindestens 15 Minuten mit viel Wasser gründlich ausspülen und Arzt konsultieren.	
Nach Verschlucken	Nie einer ohnmächtigen Person etwas durch den Mund einflößen. Mund mit Wasser ausspülen. Arzt konsultieren.	
Geeignete Löschmittel	Wassersprühnebel, alkoholbeständigen Schaum, Trockenlöschmittel oder Kohlendioxid verwenden.	
Umweltschutzmaßnahmen	Nicht in die Kanalisation gelangen lassen.	

Methoden und Material für Rückhaltung und Reinigung	Staubfrei aufnehmen und staubfrei ablagern. Zusammenkehren und aufschauflern. Zur Entsorgung in geeignete und verschlossene Behälter geben.
Schutzmaßnahmen zur sicheren Handhabung	Berührung mit den Augen und der Haut vermeiden. Staub- und Aerosolbildung vermeiden. Bei Staubbildung für geeignete Entlüftung sorgen. Informationen über Schutzmassnahmen befinden sich in Abschnitt 2.2.
Bedingungen zur sicheren Lagerung unter Berücksichtigung von Unverträglichkeiten	An einem kühlen Ort aufbewahren. Behälter dicht verschlossen an einem trockenen, gut belüfteten Ort aufbewahren.
Hautschutz	Mit Handschuhen arbeiten (Minimale Schichtdicke: 0,11 mm) Nitrilkautschuk
Schmelzpunkt/Gefrierpunkt	Schmelzpunkt/Schmelzbereich: 35 - 38 °C - lit.
Siedebeginn und Siedebereich	243 - 244 °C bei 987 hPa - lit.
Flammpunkt	143 °C - geschlossener Tiegel
Wasserlöslichkeit	ca.88,1 g/l bei 20 °C
Unverträgliche Materialien	Starke Oxidationsmittel, Säuren, Basen, Reduktionsmittel
Gefährliche Zersetzungsprodukte	Im Brandfall können gefährliche Zersetzungsprodukte entstehen. - Kohlenstoffoxide
Chemische Stabilität	Stabil unter angegebenen Lagerungsbedingungen.
Abfallbehandlung- Produkt	Restmengen und nicht wieder verwertbare Lösungen einem anerkannten Entsorgungsunternehmen zuführen. Diese Produkte sind in einem brennbaren Lösungsmittel zu lösen oder mit diesem zu mischen und in einer Verbrennungsanlage für Chemikalien (mit Nachbrenner und Abluftwäscher) zu verbrennen.
Verunreinigte Verpackungen	Wie ungebrauchtes Produkt entsorgen.

(SIGMA-ALDRICH, 2017b)

Polypropylen

Das Aussengehäuse der Zelle besteht aus dem Material Polypropylen. Die Funktion dieses Thermoplasten ist die Zelle zu kompakteren und auf äussere Einflüssen zu schützen. Das Gehäuse hat die Eigenschaft, dass es Wärmebeständig ist (bis circa 100°C), ziemlich hart ist, jedoch zum Verhältnis zur Eigenschaft eine kleine Dichte besitzt (ZHAW, 2017).

Die vorhandenen Daten stammen aus Polypropylen Pellets. In der Datenbank von Sigma Aldrich wurden keine Daten zur Polypropylen Platten gefunden.

Einstufung des Stoffs oder Gemischs	Kein gefährlicher Stoff
Nach Einatmen	Betroffene Person an die frische Luft bringen. Bei Atemstillstand, künstlich beatmen.
Nach Hautkontakt	Mit Seife und viel Wasser abwaschen.
Nach Augenkontakt	Augen vorsorglich mit Wasser ausspülen.
Nach Verschlucken	Nie einer ohnmächtigen Person etwas durch den Mund einflößen. Mund mit Wasser ausspülen.
Geeignete Löschmittel	Wassersprühnebel, alkoholbeständigen Schaum, Trockenlöschmittel oder Kohlendioxid verwenden.

Umweltschutzmaßnahmen	Nicht in die Kanalisation gelangen lassen.
Methoden und Material für Rückhaltung und Reinigung	Zusammenkehren und aufschaukeln. Zur Entsorgung in geeignete und verschlossene Behälter geben.
Schutzmaßnahmen zur sicheren Handhabung	Bei Staubbildung für geeignete Entlüftung sorgen. Übliche Maßnahmen des vorbeugenden Brandschutzes..
Bedingungen zur sicheren Lagerung unter Berücksichtigung von Unverträglichkeiten	An einem kühlen Ort aufbewahren. Behälter dicht verschlossen an einem trockenen, gut belüfteten Ort aufbewahren.
Hautschutz	Mit Handschuhen arbeiten (Minimale Schichtdicke: 0,11 mm) Nitrilkautschuk
Schmelzpunkt/Gefrierpunkt	Schmelzpunkt/Schmelzbereich: 1.083,4 °C
Siedebeginn und Siedebereich	Schmelzpunkt/Schmelzbereich: 157 °C
Flammpunkt	Keine Daten verfügbar
Wasserlöslichkeit	Keine Daten verfügbar
Unverträgliche Materialien	Starke Oxidationsmittel, Chlor, Permanganate, z. B. Kaliumpermanganat
Abfallbehandlung- Produkt	Restmengen und nicht wieder verwertbare Lösungen einem anerkannten Entsorgungsunternehmen zuführen.
Verunreinigte Verpackungen	Wie ungebrauchtes Produkt entsorgen.

(SIGMA-ALDRICH, 2011)

Benötige Chemikalien für die Recyclingmethode

Um die Recyclingmethode möglichst umweltfreundlich zu gestalten, wurden möglichst wenige und wenn möglich sogar gar keine Chemikalien eingesetzt. Die Gefahren der eingesetzten Chemikalien werden im folgenden Abschnitt aufgeführt.

Natronlauge

Dient als Reduktionsmittel beim Elektrolytensalz. Siehe Formel (2).

Einstufung des Stoffs oder Gemischs	Kein gefährlicher Stoff
Nach Einatmen	Betroffene Person an die frische Luft bringen. Bei Atemstillstand, künstlich beatmen.
Nach Hautkontakt	Mit Seife und viel Wasser abwaschen.
Nach Augenkontakt	Augen vorsorglich mit Wasser ausspülen.
Nach Verschlucken	Nie einer ohnmächtigen Person etwas durch den Mund einflößen. Mund mit Wasser ausspülen.
Geeignete Löschmittel	Wassersprühnebel, alkoholbeständigen Schaum, Trockenlöschmittel oder Kohlendioxid verwenden.
Umweltschutzmaßnahmen	Keine besonderen Umweltschutzmaßnahmen erforderlich.
Methoden und Material für Rückhaltung und Reinigung	Zur Entsorgung in geeignete und verschlossene Behälter geben.
Schutzmaßnahmen zur sicheren Handhabung	Informationen über Schutzmassnahmen befinden sich in Abschnitt 2.2.

Bedingungen zur sicheren Lagerung unter Berücksichtigung von Unverträglichkeiten	An einem kühlen Ort aufbewahren. Behälter dicht verschlossen an einem trockenen, gut belüfteten Ort aufbewahren.
Hautschutz	Mit Handschuhen arbeiten (Minimale Schichtdicke: 0,11 mm) Nitrilkautschuk
Schmelzpunkt/Gefrierpunkt	Keine Daten verfügbar
Siedebeginn und Siedebereich	Keine Daten verfügbar
Flammpunkt	Keine Daten verfügbar
Wasserlöslichkeit	Keine Daten verfügbar
Gefährliche Zersetzungsprodukte	Im Brandfall können gefährliche Zersetzungsprodukte entstehen. - Natriumoxide
Abfallbehandlung- Produkt	Restmengen und nicht wieder verwertbare Lösungen einem anerkannten Entsorgungsunternehmen zuführen.
Verunreinigte Verpackungen	Wie ungebrauchtes Produkt entsorgen.

(SIGMA-ALDRICH, 2017c)

Calciumhydroxid

Dient als Reduktionsmittel beim Elektrolytsalz. Siehe Formel (3).

Einstufung des Stoffs oder Gemischs		Reizwirkung auf die Haut (Kategorie 2), H315 Schwere Augenschädigung (Kategorie 1), H318 Spezifische Zielorgan-Toxizität - einmalige Exposition (Kategorie 3), Atmungssystem, H335
Piktogramm		
Gefahrenbezeichnung(en)	H315	Verursacht Hautreizungen.
	H318	Verursacht schwere Augenschäden.
	H335	Kann die Atemwege reizen.
Vorsichtsmaßnahmen	P261	Einatmen von Staub vermeiden.
	P280	Schutzhandschuhe/ Augenschutz/ Gesichtsschutz tragen.
	P305 + P351 + P338	BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.
Nach Einatmen		Bei Einatmen, betroffene Person an die frische Luft bringen. Bei Atemstillstand, künstlich beatmen. Arzt konsultieren.
Nach Hautkontakt		Mit Seife und viel Wasser abwaschen. Arzt konsultieren.
Nach Augenkontakt		Mindestens 15 Minuten mit viel Wasser gründlich ausspülen und Arzt konsultieren.

Nach Verschlucken	Nie einer ohnmächtigen Person etwas durch den Mund einflößen. Mund mit Wasser ausspülen. Arzt konsultieren.
Geeignete Löschmittel	Wassersprühnebel, alkoholbeständigen Schaum, Trockenlöschmittel oder Kohlendioxid verwenden.
Umweltschutzmaßnahmen	Weiteres Auslaufen oder Verschütten verhindern, wenn dies ohne Gefahr möglich ist. Nicht in die Kanalisation gelangen lassen. Ein Eintrag in die Umwelt ist zu vermeiden.
Methoden und Material für Rückhaltung und Reinigung	Staubfrei aufnehmen und staubfrei ablagern. Zusammenkehren und aufschaukeln. Zur Entsorgung in geeignete und verschlossene Behälter geben.
Schutzmaßnahmen zur sicheren Handhabung	Berührung mit den Augen und der Haut vermeiden. Staub- und Aerosolbildung vermeiden. Bei Staubbildung für geeignete Entlüftung sorgen. Informationen über Schutzmassnahmen befinden sich in Abschnitt 2.2.
Bedingungen zur sicheren Lagerung unter Berücksichtigung von Unverträglichkeiten	An einem kühlen Ort aufbewahren. Behälter dicht verschlossen an einem trockenen, gut belüfteten Ort aufbewahren. Luft- und feuchtigkeitsempfindlich.
Hautschutz	Mit Handschuhen arbeiten (Minimale Schichtdicke: 0,11 mm) Nitrilkautschuk
Schmelzpunkt/Gefrierpunkt	>= 450 °C
Siedebeginn und Siedebereich	Keine Daten verfügbar
Flammpunkt	Nicht anwendbar
Wasserlöslichkeit	0,99 g/l bei 20 °C
Unverträgliche Materialien	Starke Säuren
Gefährliche Zersetzungsprodukte	Im Brandfall können gefährliche Zersetzungsprodukte entstehen. - Calciumoxid
Chemische Stabilität	Stabil unter angegebenen Lagerungsbedingungen.
Abfallbehandlung- Produkt	Restmengen und nicht wieder verwertbare Lösungen einem anerkannten Entsorgungsunternehmen zuführen. Diese Produkte sind in einem brennbaren Lösungsmittel zu lösen oder mit diesem zu mischen und in einer Verbrennungsanlage für Chemikalien (mit Nachbrenner und Abluftwäscher) zu verbrennen.
Verunreinigte Verpackungen	Wie ungebrauchtes Produkt entsorgen.

(SIGMA-ALDRICH, 2017b)

Ethanol

Ethanol wird benutzt um ein Azeotrop mit dem entstandenen Schlamm der Anoden zu bilden.

Einstufung des Stoffs oder Gemischs		Entzündbare Flüssigkeiten (Kategorie 2), H225 Augenreizung (Kategorie 2), H319
Piktogramm		
Gefahrenbezeichnung(en)	H225	Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar.
	H319	Verursacht schwere Augenreizung

Vorsichtsmaßnahmen	P210	Von Hitze, heißen Oberflächen, Funken, offenen Flammen und anderen Zündquellen fernhalten. Nicht rauchen.
	P280	Augenschutz/ Gesichtsschutz tragen.
	P305 + P351 + P338	BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.
	P337 + P313	Bei anhaltender Augenreizung: Ärztlichen Rat einholen/ ärztliche Hilfe hinzuziehen.
	P403 + P235	An einem gut belüfteten Ort aufbewahren. Kühl halten.
Nach Einatmen		Bei Einatmen, betroffene Person an die frische Luft bringen. Bei Atemstillstand, künstlich beatmen. Arzt konsultieren.
Nach Hautkontakt		Mit Seife und viel Wasser abwaschen. Arzt konsultieren.
Nach Augenkontakt		Mindestens 15 Minuten mit viel Wasser gründlich ausspülen und Arzt konsultieren.
Nach Verschlucken		KEIN Erbrechen herbeiführen. Nie einer ohnmächtigen Person etwas durch den Mund einflößen. Mund mit Wasser ausspülen. Arzt konsultieren.
Geeignete Löschmittel		Wassersprühnebel, alkoholbeständigen Schaum, Trockenlöschmittel oder Kohlendioxid verwenden.
Umweltschutzmaßnahmen		Weiteres Auslaufen oder Verschütten verhindern, wenn dies ohne Gefahr möglich ist. Nicht in die Kanalisation gelangen lassen.
Methoden und Material für Rückhaltung und Reinigung		Das verschüttete Material mit einem funkensicheren Staubsauger aufnehmen oder feucht zusammenkehren und in Behälter zur Entsorgung gemäß lokalen gesetzlichen Bestimmungen geben (siehe Abschnitt 13).
Schutzmaßnahmen zur sicheren Handhabung		Berührung mit den Augen und der Haut vermeiden. Ein Einatmen der Dämpfe oder Nebel vermeiden. Von Zündquellen fernhalten – Nicht rauchen. Maßnahmen gegen elektrostatisches Aufladen treffen. Informationen über Schutzmassnahmen befinden sich in Abschnitt 2.2.
Bedingungen zur sicheren Lagerung unter Berücksichtigung von Unverträglichkeiten		An einem kühlen Ort aufbewahren. Behälter dicht verschlossen an einem trockenen, gut belüfteten Ort aufbewahren. Geöffnete Behälter sorgfältig verschließen und aufrecht lagern um jegliches Auslaufen zu verhindern. Hygroskopisch.
Hautschutz		Mit Handschuhen arbeiten (Minimale Schichtdicke: 0,30 mm) Butylkautschuk
Schmelzpunkt/Gefrierpunkt		-143,99 °C
Siedebeginn und Siedebereich		78,0 - 80,0 °C
Flammpunkt		14,0 °C - geschlossener Tiegel
Wasserlöslichkeit		vollkommen löslich
Zu vermeidende Bedingungen		Hitze, Flammen und Funken
Unverträgliche Materialien		Alkalimetalle, Oxidationsmittel, Peroxide
Gefährliche Zersetzungsprodukte		Im Brandfall können gefährliche Zersetzungsprodukte entstehen. - Kohlenstoffoxide
Chemische Stabilität		Stabil unter angegebenen Lagerungsbedingungen.

Abfallbehandlung- Produkt	In einer Verbrennungsanlage für Chemikalien mit Nachbrenner und Abluftwäscher verbrennen, aber sehr Vorsichtig zünden, da das Material sehr leicht entflammbar ist. Restmengen und nicht wieder Verwertbare Lösungen einem anerkannten Entsorgungsunternehmen zuführen.
Verunreinigte Verpackungen	Wie ungebrauchtes Produkt entsorgen.

(SIGMA-ALDRICH, 2017b)

Sobald mit dem Recycling begonnen wird, müssen die MSDS Datenblätter ausgedruckt und in der Nähe gelagert werden.

Anhang E: Arbeitsprotokolle

Datum 26.10.17

Öffnung der Zelle Model Typ SE100AHA

Ziel des Versuches

Dieser Versuch soll einen ersten Überblick über die Zelle geben. Das Hauptziel ist es, die Zelle zu öffnen und über deren Aufbau so vieles wie möglich zu lernen.

Theoretische Grundlage

Über den inneren Aufbau der Zelle ist zu diesem Zeitpunkt noch nichts bekannt. Es wurde keine Literatur zur Öffnung einer Zelle gefunden. Lediglich zur Ausstattung des Arbeitsortes konnten in der Literatur Vorschläge und Empfehlungen entnommen werden (siehe unter Sicherheitsaspekte). Die zu öffnende Zelle für dieses Experiment hat eine Höhe von 216 mm, eine Länge von 143 mm und eine Breite von 68 mm. Die Dicke der Zelle wird auf 5 mm eingeschätzt.

Sicherheitsaspekt

Um ein sicheres Arbeiten zu gewährleisten sollen stets Nitril Handschuhe der minimalen Schichtdicke von 0.11mm getragen werden. Jeder Umgang mit der Zelle soll in einer gut belüfteten Kapelle geschehen. Zusätzlich gehören Schutzbrille und Arbeitskleider zur Ausstattung. Mehr zu Sicherheit siehe Kapitel 3.2. Diese Sicherheitsaspekte müssen zu jederzeit eingehalten werden.

Arbeitsort

ZHAW Wädenswil / Labor

Zusammenfassung der Ergebnisse

Das Öffnen der Zelle war schwieriger als erwartet. Es müssen präzise Aufschnitte gemacht werden. Sobald der Deckel und die Seitenwand entfernt wurden, fingen die Gase auszuweichen. Der Geruch war stark und nicht angenehm. Deshalb ist es sehr wichtig unter einer guten belüfteten Kapelle zu arbeiten.

Diskussion der Ergebnisse

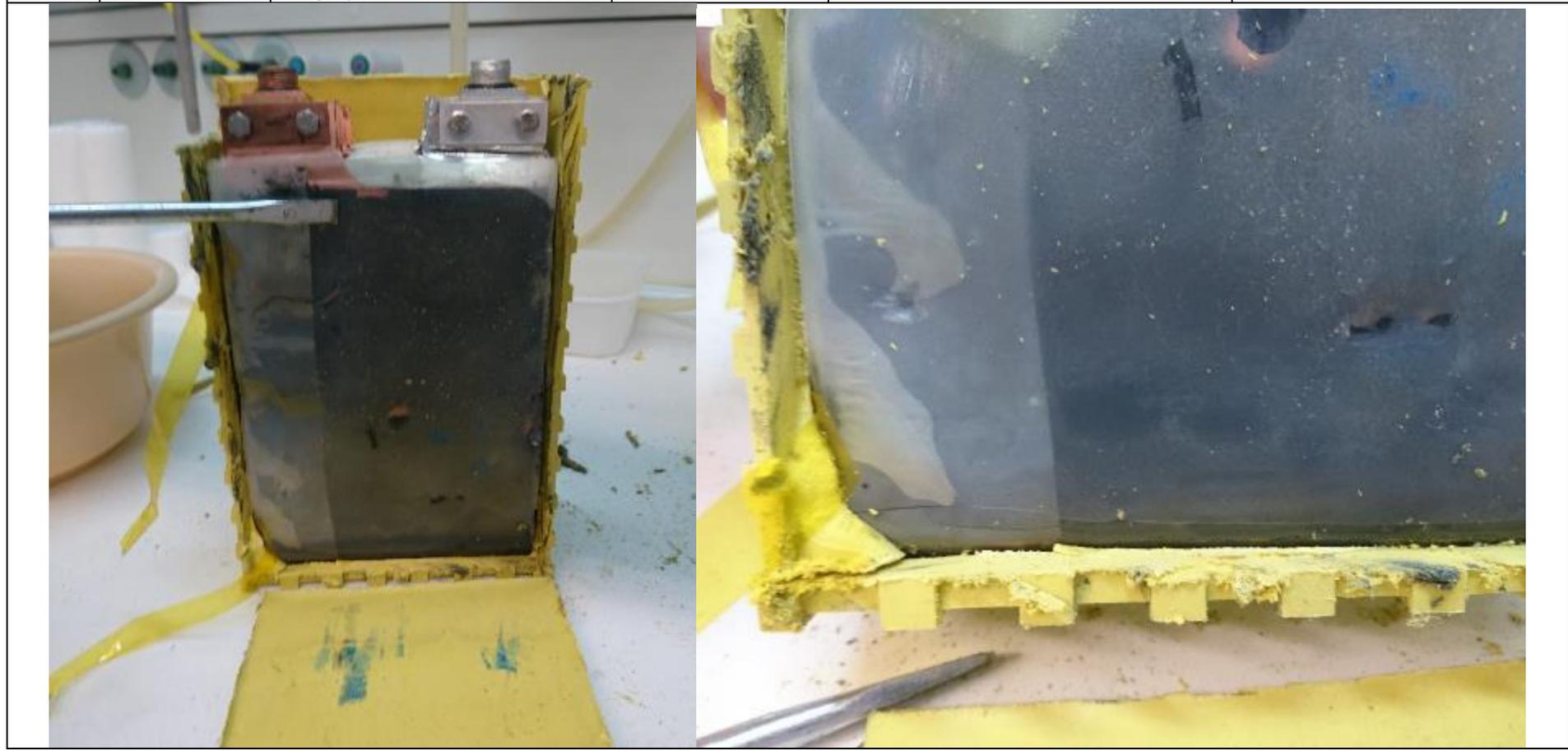
Eine einfachere Variante um die Zelle präzise zu öffnen wäre ein Kreisblatt zu besitzen, welche den genauen Radius der Zellwand hätte. So würde sich die Möglichkeit verringern die Elektroden zu zerstören. Des Weiteren muss überdenkt werden wie lange die austropf Zeit des Elektrolyt dauern soll. Sicherlich wäre eine längere Zeit besser, jedoch ist eine längere aussetzzeit des Elektrolyten an der Luft nicht geeignet, da sich HF bilden kann.

Schritt		Beschreibung	Werkzeuge	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
1	Messung der Restspannung	Wurde vergessen	Voltmeter	Keine	Keine
2	Lösen der Mutter	Zelle einklemmen und Mutter Lösen	Schraubenschlüssel grösse 24	Keine	Keine
3	Öffnen der Zelle	Zelle wurde auf Augenhöhe befestigt. Zuerst wurde einem um den Deckel gesägt.	Dremel mit Metallsägeblatt der Dicke 0.75mm	Der Dremel eignet sich gut um die Zelle zu öffnen.	Die Zelle darf nicht zu langsam am gleichen Ort gesägt werden. Ansonsten schmilzt der Plastik wieder. Besser sind schnelle und häufigere Bewegungen entlang der Zelle.
					
4	Heraustropfen des Elektrolyten	Die Zelle wurde 1.5h auf den Kopf gestellt.	Kunststoffbehälter um den Elektrolyt aufzufangen.	Schwarzer Elektrolyt tropft heraus. Ungefähr 10ml.	Es muss zwingend ein Kunststoffbehälter verwendet werde, da sich HF bilden könnte und diese Säure Glas auflöst.

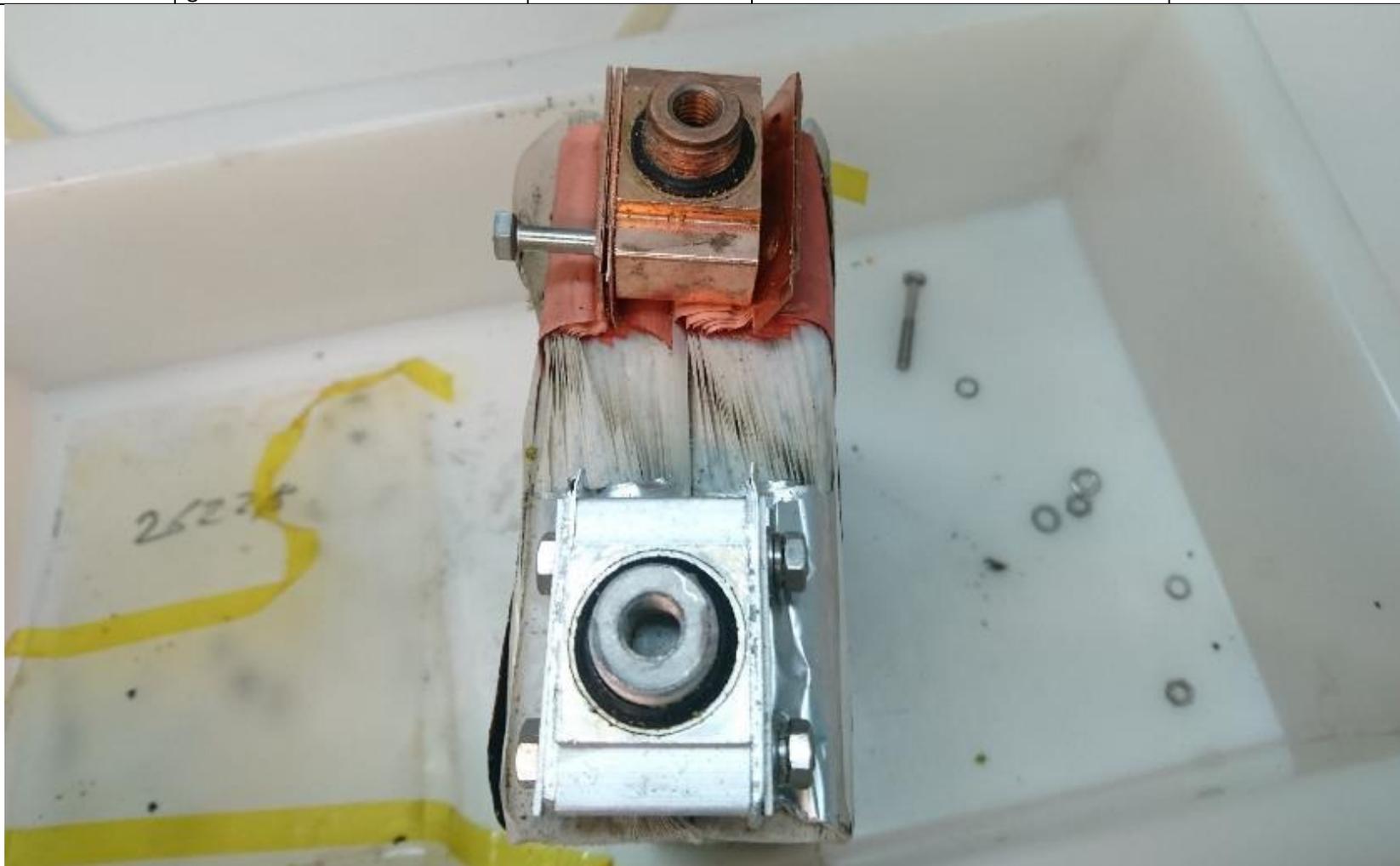
	Schritt	Beschreibung	Werkzeuge	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
5	Herausziehen der Elektroden	Herausziehen der Elektrode.	Hände	Die Elektroden waren zu feucht und hafteten an den Rändern.	Entweder Schritt 5 durchführen oder Zelle im Trockenschrank trocknen und dann Schritt 5 erneut versuchen.



	Schritt	Beschreibung	Werkzeuge	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
6	Zelle der Höhe entlang aufsagen.	Die Zelle wurde an beiden Enden der langen Seite aufgesagt (siehe Bild). Danach wurde mit einem Meissel und einem Hammer die Seiten aufgespaltet.	Dremel mit Metallsägeblatt der Dicke 0.75mm. Seite mit Meissel und Hammer	Gleiche Beobachten wie Schritt 2.	Dieser Schritt muss vorsichtig durchgeführt werden, da sich die Platten / Elektroden direkt hinter dem Gehäuse befinden.



	Schritt	Beschreibung	Werkzeuge	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
7	Lösen der Schrauben	Durch das lösen der Schrauben können die einzelnen Platten getrennt werden.	Schraubenschlüssel grösse 8	Schrauben und Muttern sind noch im einem guten Zustand.	Keine



	Schritt	Beschreibung	Werkzeuge	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
8	Trennen der einzelnen Platten	Die Platten werden einzeln von Hand getrennt.	Hände	Die Platten haften noch gut am Separator, da sich noch ein wenig Elektrolyt dazwischen aufhält. Die Zelle besteht aus mehreren einzelnen Platten.	Die Kathoden sehen optisch nicht allzu benutzt aus. Die Anoden hingegen haben leichte weisse Spuren.



Datum 30.10.17

Mechanische Aufreinigung der Elektroden

Ziel des Versuches

Das Ziel dieses Versuches soll es sein, mit einfachen Werkzeugen, die in Baumärkten erhältlich sind, die Beschichtungen der Elektroden zu entfernen. Desweiteren soll die Aluminium-Platte und Kupferplatte in der Ursprungsform erhalten bleiben (keine Zerkleinerung).

Theoretische Grundlage

Keine, eigene Reflektion

Sicherheitsaspekt

Um ein sicheres Arbeiten zu gewährleisten sollen stets Nitril-Handschuhe der minimalen Schichtdicke von 0.11mm getragen werden. Jeder Umgang mit der Zelle soll in einer gut belüfteten Kapelle geschehen. Zusätzlich gehören Schutzbrille und Arbeitskleider zur Ausstattung. Mehr zu Sicherheit siehe Kapitel 3.2. Diese Sicherheitsaspekte müssen zu jeder Zeit eingehalten werden.

Arbeitsort

ZHAW Wädenswil / Labor

Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Bürsten eignen sich um die Beschichtungen der Kathode abzutrennen. Jedoch wird vermutet, dass das Beschichtungsmaterial auch Aluminium enthält. Somit ist diese Methode noch verbesserbar, um eine saubere Abtrennung zwischen Aluminium und Beschichtungen zu erhalten.

Um die Anode zu reinigen eignet sich keine der angewendeten Methoden.

Diskussion der Ergebnisse

Es muss für beide Variationen eine neue Methode herausgearbeitet werden.

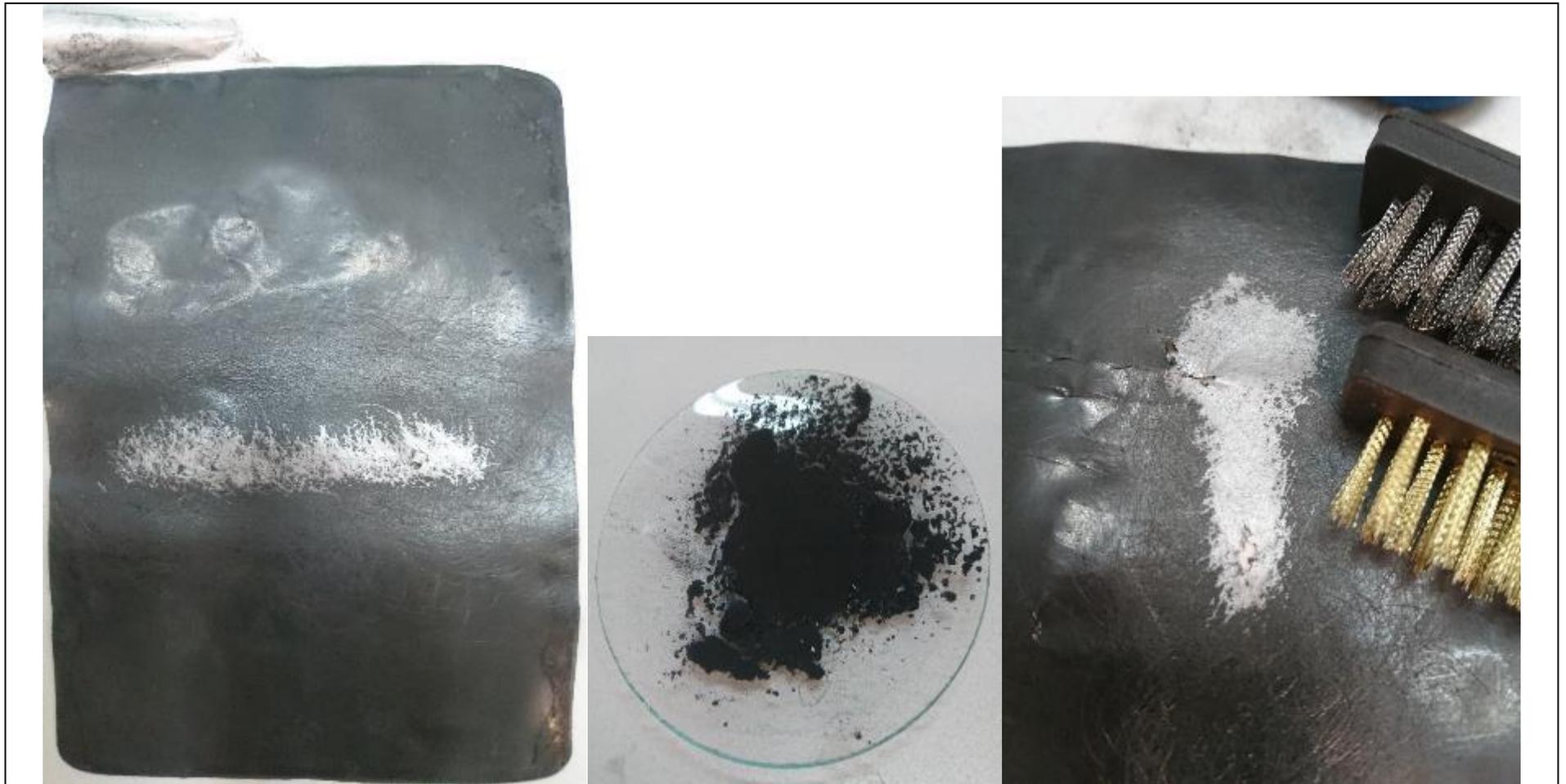
Schritt		Beschreibung	Werkzeuge	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
Anode					
1	Abkratzen	Mit einem mittleren Druck wird versucht mit dem Spatel die Beschichtung zu entfernen.	Spachtel	Es ist sehr schwer die Beschichtung zu entfernen. Das Kupfer ist so fein, dass sehr schnell Risse oder Löcher entstehen bevor die Beschichtung abkommt. Jedoch hält die Beschichtung an den Rändern teilweise nicht. An diesen Orten ist das Entfernen der Beschichtung einfacher.	Der Spachtel ist nicht geeignet. Ein anderes Werkzeug muss ausprobiert werden.
2	Abkratzen	Es wird versucht mit der Bürste die Beschichtungen zu entfernen.	Bürste (Messing und Stahl)	Es ist sehr schwer die Beschichtung zu entfernen. Das Kupfer ist so fein, dass sehr schnell Risse oder Löcher entstehen bevor die Beschichtung abkommt.	Die Bürsten sind bis zu einem gewissen Punkt brauchbar. Jedoch um eine saubere Abtrennung zu bekommen eignen sich die Bürsten nicht.



Schritt		Beschreibung	Werkzeuge	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
Kathode					
1	Abkratzen	Mit einem mittleren Druck wird versucht mit dem Spatel die Beschichtung zu entfernen.	Spachtel	Die Beschichtung liess sich mit dem Spachtel bis zu einem gewissen Punkt gut abkratzen. Es ist nicht möglich mit dem Spachtel den Glanz des Aluminiums zum vorderschein zu bringen. Die Oberfläche wird sehr glatt mit einer leichten Beschichtung die haften bleibt.	Keine



	Schritt	Beschreibung	Werkzeuge	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
2	Abkratzen	Es wird versucht mit der Bürste die Beschichtungen zu entfernen.	Bürste (Messing und Stahl)	Eine gute Kombination ist es mit der Messingbürste zu beginnen. Sobald das Aluminium zum Vorschein kommt, kann die etwas weichere Stahlbürste verwendet werden. Auf der einte Seite geht das Entfernen der Beschichtung einfacher als auf der anderen Seite.	Das beste Ergebnis, um die Beschichtung zu entfernen ist ein mittlerer Bürstendruck auf die Kathode. Ein zu harter Druck verursacht Löcher.



Datum 30-31.10.17

Aufreinigung der Elektroden durch Wasser Aufreinigung der Elektroden

Ziel des Versuches

Das Ziel dieses Versuches soll es sein, mittels Wasser erstens Spuren von Lithium nachzuweisen. Zweitens soll versucht werden die Elektroden aufzureinigen.

Theoretische Grundlage

Laut (Sonoc et al., 2014) wird ein besseres Ergebnis erzielt, wenn die Anode in Wasser eingetaucht wird. Das Ablösen der Beschichtungen sollte damit geringer/einfacher verlaufen. Jedoch erschwert sich das ablösen der Beschichtung der Kathoden Seite.

Dieser Aussage soll es in diesem Versuch nachgegangen werden.

Sicherheitsaspekt

Um ein sicheres Arbeiten zu gewährleisten sollen stets Nitril Handschuhe der minimale Schichtdicke von 0.11mm getragen werden. Jeder Umgang mit der Zelle soll in einer gut belüfteten Kapelle geschehen. Zusätzlich gehören Schutzbrille und Arbeitskleider zur Ausstattung. Mehr zu Sicherheit siehe Kapitel 3.2. Diese Sicherheitsaspekte müssen zu jederzeit eingehalten werden.

Da in diesem Versuch mit Wasser gearbeitet wird, sollte eine Temperatur von 60 °C nicht überschritten werden (Mögliche Bildung von HF). Um mehr über dieses Thema zu erfahren siehe Kapitel 0.

Arbeitsort

ZHAW Wädenswil / Labor

Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Versuche mit Wasser haben sich sehr positiv ausgezeichnet. Die Literatur (Sonoc et al., 2014) konnte bei der Anode bestätigt werden. Bei der Kathode wurde sie jedoch wiederlegt.

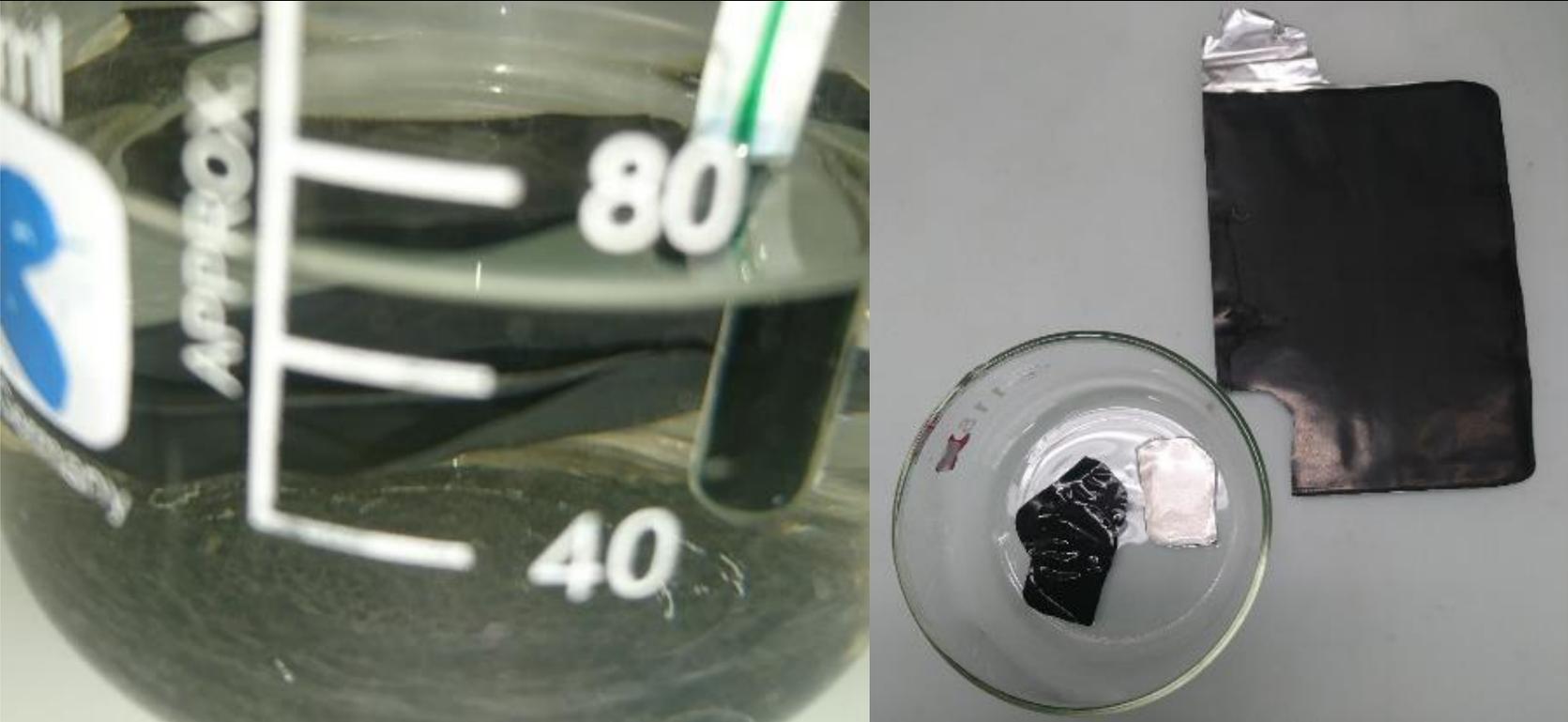
Diskussion der Ergebnisse

Die Versuche müssen bei mehreren Zellen wiederholt werden um diese Methode zu Bestätigen.

Schritt	Beschreibung	Werkzeuge	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
Anode				
1	Sicherheitstest In einem mit Millipore Wasser befüllten Becherglas wird ein ca. 2cm ² grosses Elektrodenstück eingetaucht. Zusätzlich wird die Temperatur überwacht.	- Becherglas 150ml -Thermometer -Millipore Wasser	Nach 10Sekunden bilden sich kleine Gasblasen. Verdacht auf HF und POF ₃ Bildung. Temperatur bleibt bei 21°C konstant. Wasser verfärbt sich nach ca. 15min gelblich.	Das abkratzen erleichtert sich.



Schritt		Beschreibung	Werkzeuge	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
2	Ultraschallbad	Becherglas mit ganzer Elektrode wird für 20min in einem Ultraschallbad gelegt.	-Becherglas 800ml -Ultraschallbad -Millipore Wasser	Nach 20min bildet sich eine schwarze Suspension. Die Anode ist zum grössten Teil von der Beschichtung gelöst.	Diese Methode scheint sich zu eignen. Die Beschichtung wird abgenutscht, ab destilliert und im Trockenschrank gestellt. Das Roh Material wird aufbewahrt für eine spätere Analyse.
					

Schritt		Beschreibung	Werkzeuge	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
Kathode					
1	Sicherheitstest	In einem mit Millipore Wasser befüllten Becherglas wird ein ca. 3cm ² grosses Elektrodenstück eingetaucht. Zusätzlich wird die Temperatur überwacht.	- Becherglas 150ml - Thermometer - Millipore Wasser	Nach 10 Sekunden bilden sich kleine Gasblasen. Verdacht auf HF und POF ₃ Bildung. Temperatur bleibt bei 21°C konstant. Wasser verfärbt sich nicht. Nach 2min trennt sich die Beschichtung von selbst (siehe linkes Bild). Mit einer Pinzette ist es möglich die Aluminium Platte herauszuziehen.	Diese Methode wird auf eine ganze Platte getestet.
					

Schritt		Beschreibung	Werkzeuge	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
Kathode					
2	Kathode in Wasser	Die ganze Elektrode wird in einem mit Millipore Wasser befüllten Becherglas eingetaucht.	- Becherglas 800ml -Thermometer -Millipore Wasser	Nach 10Sekunden bilden sich kleine Gasblasen. Verdacht auf HF und POF ₃ Bildung. Temperatur bleibt bei 21°C konstant. Wasser verfärbt sich nicht. Nach 2min trennt sich die Beschichtung von selbst. Mit einer Pinzette ist es möglich die Aluminium Platte herauszuziehen.	Gleiche Reaktion wie beim Sicherheitstest. Diese Variante scheint sehr effektiv zu sein. Die Beschichtung wird abgenutscht und im Trockenschrank gelegt. Das Roh Material wird aufbewahrt für eine spätere Analyse.
					

Datum 02.11.17

Sicheres Öffnen der Zellen Model Typ SE100AHA

Ziel des Versuches

Das Hauptziel dieses Versuches, ist es eine sichere Methode zu finden, um die Zelle zu öffnen.

Theoretische Grundlage

Beim Bohren des ersten Loches, sollte keine Flüssigkeit austreten, da die Zelle ausser dem Loch ein geschlossenes Gefäss ist (Sobald Flüssigkeit austritt, muss der entstandene Raum ersetzt werden). Danach soll ein Schlauch samt Auffangbehälter angebracht werden. Sobald das Auffangbehälter montiert ist, wird das zweite Loch gebohrt, damit Luft rein kann und Elektrolyt rausfliessen kann.

Sicherheitsaspekt

Um ein sicheres Arbeiten zu gewährleisten, müssen stets Nitril Handschuhe der Minimalen Schichtdicke von 0.11mm getragen werden. Jeder Umgang mit der Zelle muss in einer gut belüfteten Kapelle geschehen. Zusätzlich gehören Schutzbrille und Arbeitskleider zur Ausstattung. Mehr zur Sicherheit siehe Kapitel 3.2. Diese Sicherheitsaspekte müssen zu jederzeit eingehalten werden.

Arbeitsort

ZHAW Wädenswil/ Labor

Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Methode ist nicht geeignet. Sobald das erste Loch gebohrt wurde, floss Elektrolyt heraus. Somit ist der Sicherheitsaspekt nicht gedeckt und zudem kann der Elektrolyt nicht zu 100 % rückgewonnen werden. Sobald jedoch der Schlauch angebracht wird, fliesst kein Elektrolyt mehr daneben und es kann von einem sicheren geschlossenen System gesprochen werden.

Diskussion der Ergebnisse

Es stellt sich heraus, dass die angewendete Methode noch verbessert werden kann. Es wird vermutet, dass das Gasverhältnis zur Flüssigkeit in der Zelle zu gross ist. Wird nun ein Loch gebohrt, kommt Luft in die Zelle herein und der Elektrolyt fliesst aus dem Loch heraus. Dieser Vorgang verhindert somit ein Unterdruck und die gewünschte Theorie funktioniert nicht. Ein Verbesserungsvorschlag ist das Loch oberhalb auf dem Deckel der Zelle zu bohren. Somit könnte der Schlauch in aller Ruhe ohne Elektrolyten Austritt angebracht werden. Sobald der Schlauch befestigt ist, wird die Zelle um 180° gedreht, um den Elektrolyt aufzufangen. Eine weitere Möglichkeit wäre es, eine Vakuumpumpe mit einer Waschflasche anzuschliessen.

Schritt		Beschreibung	Werkzeuge	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
1	Messung der Restspannung	Mit dem Voltmeter wurde eine Restspannung von 0 V gemessen.	Voltmeter	Keine	Keine
2	Loch Bohren (unten)	Loch wird unterhalb der Zelle mit je einem Abstand von circa 5mm vom Rand gebohrt. Die Wanddicke ist 5mm.	Bohrer Stift 5mm	Einfache Durchbohrung	
3	Schlauch aufmontieren	Sobald das Loch gebohrt wurde, wurde der Schlauch hineingesteckt. Am anderen Ende des Schlauches befindet sich ein Auffangbehälter.	Schlauch mit 4mm Innendurchmesser und 5mm Aussendurchmesser und Auffangbehälter	Sobald das Loch gebohrt wurde, floss der Elektrolyt heraus. Der Schlauch musste schnell montiert werden.	Es wurde gehofft, dass der Elektrolyt erst bei der zweiten oberen Durchbohrung ausfliessen würde.
4	Loch Bohren (oben)	Loch wird oben bei der Zelle mit je einem Abstand 5mm vom Rand gebohrt. Die Wanddicke ist 5mm.	Bohrer Stift 5mm	Einfache Durchbohrung	
5	Montierung der Spirtze	Eine 60ml grosse Spritze wird mit einem Schlauch verbunden und in das Loch gesteckt.	Schlauch Spritze 60ml	Nun wird immer wieder Luft in die Zelle gepumpt, um den Elektrolyt herauszubekommen.	Methode eignet sich nicht allzu gut. Da der Schlauch immer wieder herausgenommen werden muss, um neue Luft aufzusaugen. Eine bessere Methode wäre es, eine Vakuumpumpe anzuschliessen.



	Schritt	Beschreibung	Werkzeuge	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
6	Öffnung der Zelle 2 und 3	Die restlichen Schritte, um die Zelle zu öffnen, blieben die gleichen wie im Protokoll 1: Öffnung der Zelle Model Typ SE100AHA.			

Datum 06 -20.11.17

Bestätigung des Versuches 3

Ziel des Versuches

Das Ziel dieses Versuches ist eine neue Zelle zu öffnen und den Versuch 3: „Aufreinigung der Elektroden durch Wasser“ zu bestätigen.

Theoretische Grundlage

Laut (Sonoc et al., 2014) wird ein besseres Ergebnis erzielt, wenn die Anode in Wasser eingetaucht wird. Das Ablösen der Beschichtungen sollte damit geringer/einfacher verlaufen. Jedoch erschwert sich das Ablösen der Beschichtung der Kathoden Seite.

Die Literatur (Sonoc et al., 2014) konnte beim Versuch 3 bei der Anode bestätigt werden. Bei der Kathode wurde sie jedoch widerlegt.

Sicherheitsaspekt

Um ein sicheres Arbeiten zu gewährleisten, sollen stets Nitril Handschuhe der Minimale Schichtdicke von 0.11mm getragen werden. Jeder Umgang mit der Zelle soll in einer gut belüfteten Kapelle durchgeführt werden. Zusätzlich gehören Schutzbrille und Arbeitskleider zur Ausstattung. Mehr zu Sicherheit siehe Kapitel 3.2. Diese Sicherheitsaspekte müssen zu jederzeit eingehalten werden.

Arbeitsort

ZHAW Wädenswil / Labor

Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Methode bestätigte sich bei der Kathode nicht. Aus unbekanntem Gründen löste sich die Beschichtung nicht mehr vom Aluminium ab. Auch nach einem Ultraschallbad, blieb die Beschichtung, mit kleinen Ausnahmen erhalten. Aus diesem Grunde wurde noch eine dritte Zelle geöffnet. Jedoch war das Resultat gleich wie bei der zweiten Zelle. Die Methode wurde bei der ersten Zelle nochmals überprüft. Das Resultat war eine automatische Abtrennung der Beschichtung. Aus unbekanntem Gründen verhält sich die erste Zelle anders, als die zweite und dritte.

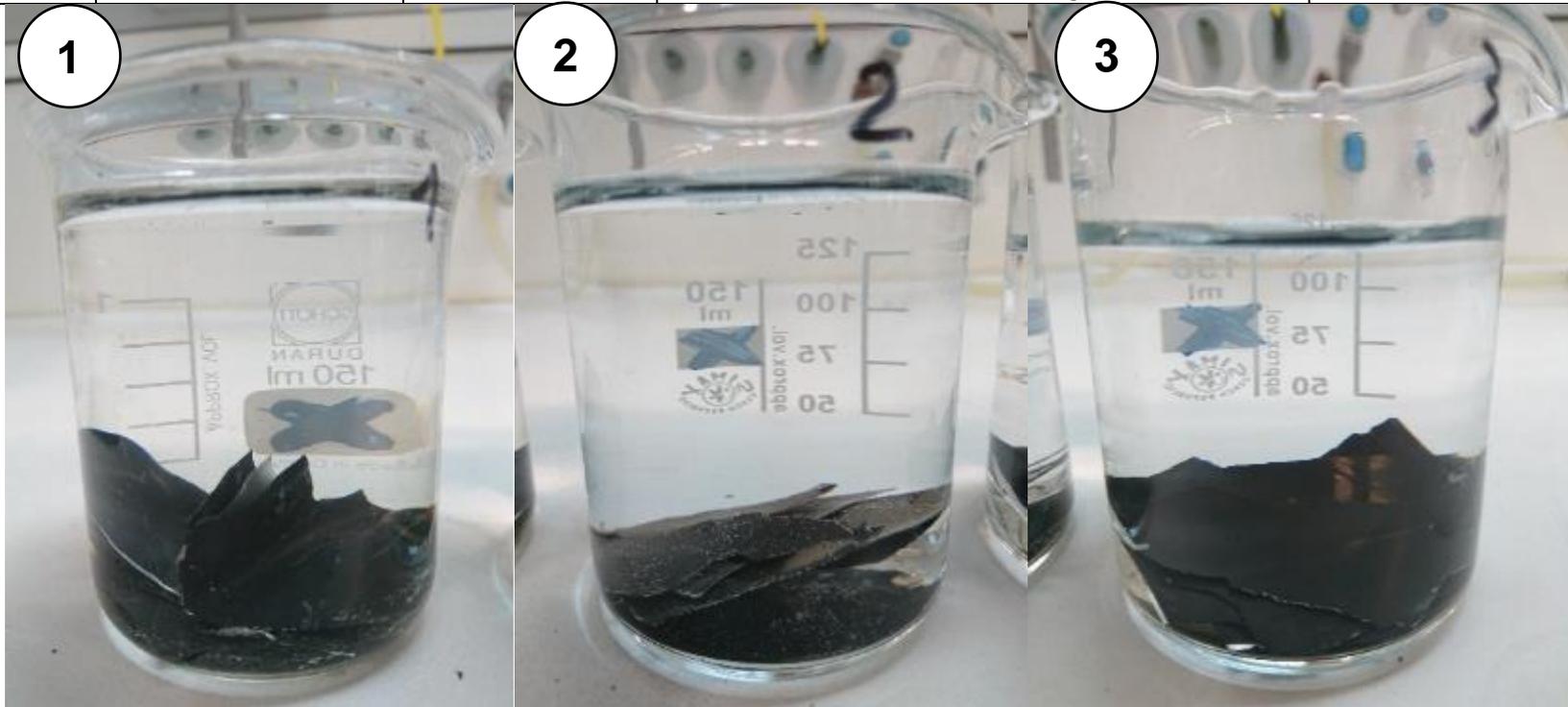
Bei der Anode wurde das gleiche Resultat erzielt.

Diskussion der Ergebnisse

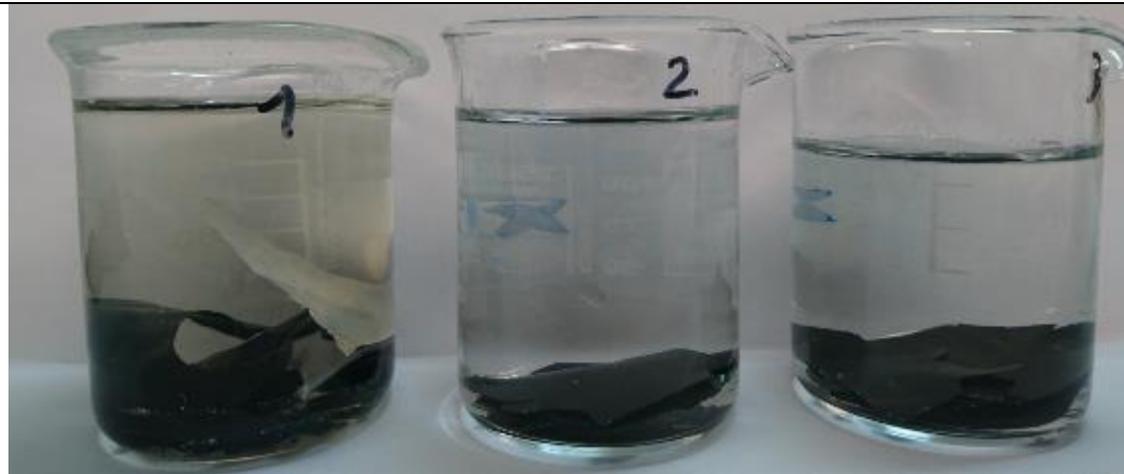
Es werden mehrere Gründe vermutet, weshalb sich die Methode nicht bestätigen lässt. Erstens könnte die Restspannung der Zelle ein Grund sein, weshalb sich die Zellen nicht gleich verhalten. Ein weiterer Punkt könnte die Handhabung der Zelle vor dem Öffnen von Bedeutung sein. Wie wurden die Zellen eingesetzt, geladen, entladen, gelagert etc.

Schritt		Beschreibung	Werkzeuge	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
Anode					
1	Anode in Wasser	Die Anode der Zelle 2 & 3 werden in Wasser eingetunkt und danach gereinigt.	<ul style="list-style-type: none"> - Becherglas 150ml - Millipore Wasser - Bürste - Papiertuch 	Gleiches Verhalten wie Protokoll 3. Zusätzlich wird versucht die Beschichtung mit einem Papiertuch zu entfernen. Das Entfernen der Beschichtung mit dem Papiertuch funktioniert sehr gut.	Das Abkratzen erleichtert sich.
					

Schritt	Beschreibung	Werkzeuge	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
Kathode				
1	Kathode in Wasser Zelle 1, 2 & 3 werden in einem mit Millipore befüllten Becherglas eingetaucht.	- Becherglas 150ml -Thermometer -Millipore Wasser	Nach dem Einlegen der Platten, bleibt bei allen das Wasser farblos. Bei allen drei steigen kleine Bläschen auf. Bei der Zelle 2 bleiben die Blättchen an der Platte haften. Nach 2min beginnen sich bei der Zelle 1 die Schichten automatisch an abzulösen. Nach 3min werden alle Bechergläser gerührt. Bei der Zelle 1 verfärbt sich das Wasser gelblich (auf dem Foto schwer erkennbar), bei Zelle 2 & 3 geschieht nichts.	Versuch konnte nicht bestätigt werden. Zelle 2 & 3 verhalten sich anders.



Nach 2min



Nach dem umrühren

Schritt	Beschreibung	Werkzeuge	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
2	Kathode im Ultraschall bad Zelle 2 wird für 20 min & Zelle 3 wird für 40 min im Ultraschallbad gelegt.	Ultraschallbad	Es bildet sich bei beiden eine Suspension. Bei der Zelle 3, die 40min im Ultraschallbad gelegen ist, ist die Suspension grösser.	Das Ultraschallbad brachte keine grosse Wirkung. Das aktive Material haftet immer noch sehr gut an der Aluminiumfolie.



Datum 21.11.17

Aufreinigung der Elektroden durch weiche Bürsten und Wasser

Ziel des Versuches

Das Ziel dieses Versuches ist, mittels einer weichen Bürste und Wasser die Beschichtungen abzutrennen.

Theoretische Grundlage

Keine direkte Theorie vorhanden. Diese Methode, mit den weichen Bürsten, wird in China angewendet. Information stammte von Martin Kyburz.

Sicherheitsaspekt

Um ein sicheres Arbeiten zu gewährleisten sollen stets Nitril Handschuhe der Minimalen Schichtdicke von 0.11mm getragen werden. Jeder Umgang mit der Zelle soll in einer gut belüfteten Kapelle geschehen. Zusätzlich gehören Schutzbrille und Arbeitskleider zur Ausstattung. Mehr zu Sicherheit siehe Kapitel 3.2. Diese Sicherheitsaspekte müssen zu jederzeit eingehalten werden.

Arbeitsort

ZHAW Wädenswil / Labor

Zusammenfassung der Ergebnisse

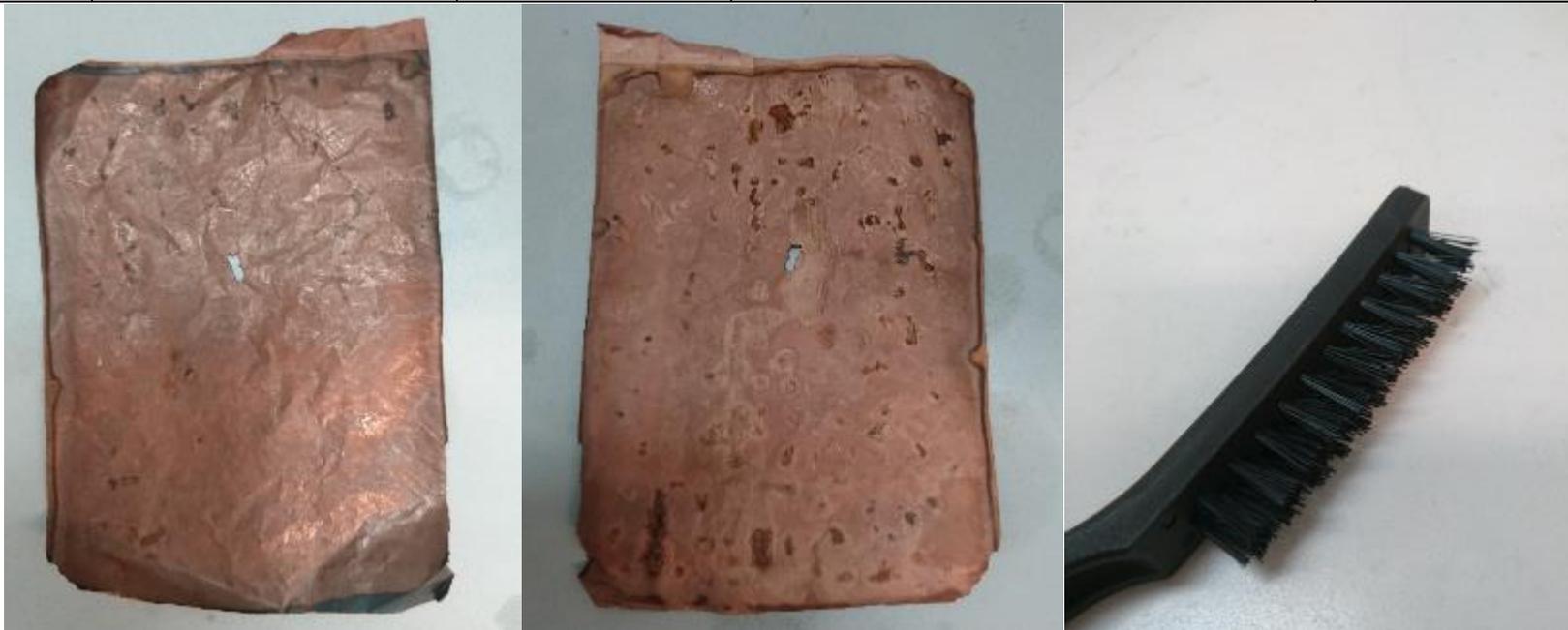
Die Anode lässt sich sehr gut reinigen. Durch den Einsatz der weichen Bürsten, wird das Kupfer nicht beschädigt. Die Entstehung von kleinen Rissen ist auch geringer. Es wird wieder beobachtet, dass sich eine Seite der Anode besser reinigen lässt, als die andere Seite. Bei der Kathode wird nichts erzielt. Die Beschichtung bleibt auf dem Aluminium.

Diskussion der Ergebnisse

Diese Methode erwies sich bei der Anode als eine gute Methode. Die gesamte Beschichtung konnte auf diese Weise entfernt werden. Wenn diese Methode bei der Anode als Endmethode gewählt wird, muss überlegt werden, was mit der Suspension geschehen soll.

Schritt		Beschreibung	Werkzeuge	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
Anode					
1	Reinigung der Anode	Als erstes wird versucht ein wenig Wasser auf die Anode zu geben. Danach wird in Kreisbewegungen mit der Bürste versucht, die Beschichtung abzutrennen.	-Spritzflasche -Weiche schwarze Bürste	Bei der Zugabe von wenig Wasser entsteht an manchen Stellen manchmal ein leichtes aufgasen (leichte weisse Aufschäumung am Rande des Wasser). Danach verformt sich die Beschichtung und es entstehen kleine Wölbungen. Sobald die Wölbungen entstanden sind, lässt sich die Beschichtung mittels Bürste ganz leicht entfernen. Der Druck einer Wasserspitzflasche reicht auch aus, um die Beschichtung der einten Anodenseite abzutrennen. Die andere Seite ist schwerer zu reinigen. Es entstehen auch keine Wölbungen.	Nicht beide Seiten der Anode verhalten sich gleich und sehen leicht anders aus (siehe unteres Bild).
					

Schritt	Beschreibung	Werkzeuge	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
2	Reinigung der Anode Die Anode wird in ein Becken gelegt, so dass die Anode komplett unter Wasser liegt. Nach 3min wird in Kreisbewegungen mit der Bürste die Beschichtung entfernt.	-Becken mit Millipore Wasser - Weiche schwarze Bürste	Diese Methode eignet sich sehr gut. Die Beschichtung entfernt sich komplett von der Kupferfolie.	Was wird mit der schwarzen Suspension gemacht.



Schritt		Beschreibung	Werkzeuge	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
Kathode					
1	Reinigung der Kathode	Als erstes wird versucht ein wenig Wasser auf die Kathode zu geben. Danach wird in Kreisbewegungen mit der Bürste versucht die Beschichtung abzutrennen.	-Spritzflasche -Weiche schwarze Bürste	Es geschieht gar nichts. Die Kathode bleibt unverändert.	Bestätigung der Literatur (Sonoc et al., 2014).
2	Reinigung der Kathode	Die Kathode wird in ein Becken gelegt, so dass die Kathode komplett unter Wasser liegt. Danach wird in Kreisbewegungen mit der Bürste versucht die Beschichtung abzutrennen.	-Becken mit Millipore Wasser - Weiche schwarze Bürste	Es geschieht gar nichts. Die Kathode bleibt unverändert.	Bestätigung der Literatur (Sonoc et al., 2014).

Datum 21.11.17

Aufreinigung der Kathode durch milde organische Lösungsmittel

Ziel des Versuches

Das Ziel dieses Versuches ist, mittels milden organischen Lösungsmittel die Kathode zu reinigen.

Theoretische Grundlage

Die Idee, dass sich die Beschichtungen durch milde organische Lösungsmittel entfernen lassen, stammt aus den Literaturen (Li, Li et al., 2013) und (Li, Li et al., 2014).

Sicherheitsaspekt

Um ein sicheres Arbeiten zu gewährleisten sollen stets Nitril Handschuhe der Minimale Schichtdicke von 0.11mm getragen werden. Jeder Umgang mit der Zelle soll in einer gut belüfteten Kapelle durchgeführt werden. Zusätzlich gehören Schutzbrille und Arbeitskleider zur Ausstattung. Mehr zu Sicherheit siehe Kapitel 3.2. Diese Sicherheitsaspekte müssen zu jederzeit eingehalten werden.

Arbeitsort

ZHAW Wädenswil / Labor

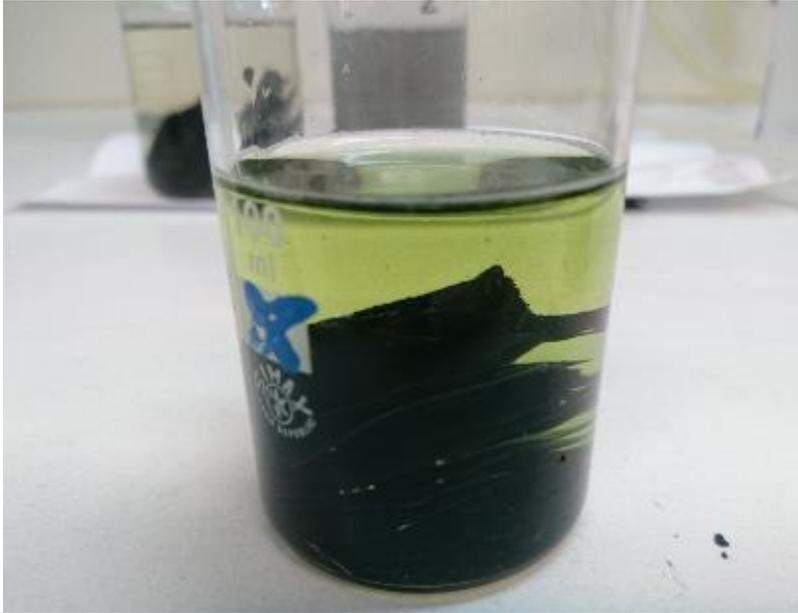
Zusammenfassung der Ergebnisse

Rein optisch kann gesagt werden, dass alle – ausser die Asparaginsäure, geeignete Lösungsmittel sind, um die Beschichtung zu entfernen. Jedoch muss bei allen, ausser bei der Essigsäure, Wasserstoffperoxid zugegeben werden. Bei der Zitronensäure reicht ein Umrühren nicht aus, um die Beschichtung abzutrennen. Für das Entfernen der Beschichtung muss teilweise mit der weichen Bürste nachgeholfen werden. Bei der Apfelsäure und der Essigsäure reichen die Umrührungen aus, um die Beschichtungen abzutrennen. Zudem muss bei der Essigsäure kein Wasserstoffperoxid zugegeben werden.

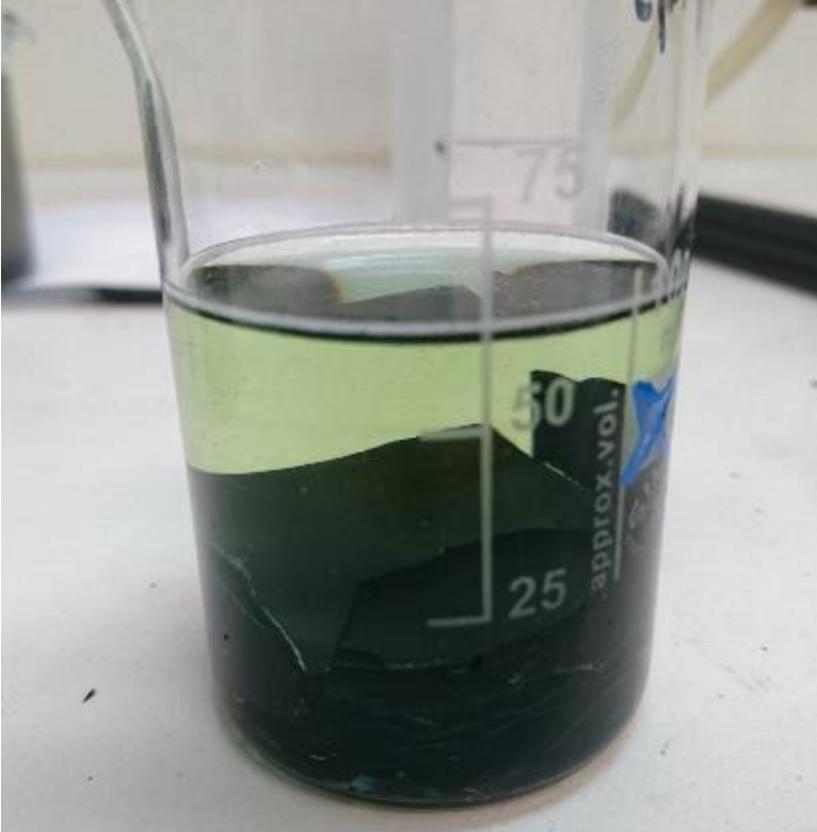
Diskussion der Ergebnisse

Die Apfelsäure und die Essigsäure erwiesen sich als geeignete Methoden. Es stellt sich die Frage, ob ein längeres Warten ausreicht würde, um auf die Zugabe von Wasserstoffperoxid bei der Apfelsäure zu verzichten.

Diese Methoden mit den Säuren werden erst optimiert, wenn nicht herausgefunden wird, warum sich die Zelle 1 von der Zelle 2 & 3 anders verhält.

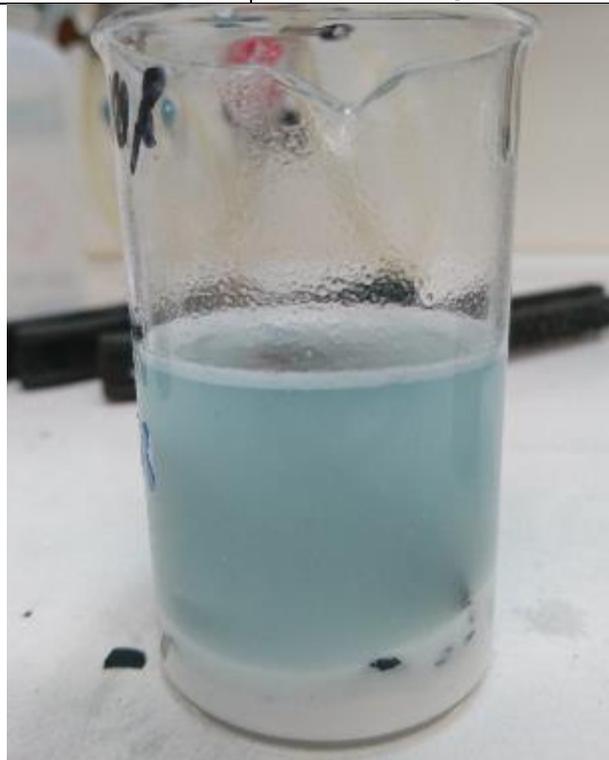
Schritt	Beschreibung	Konzentration	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion	
Alle Kathoden stammen aus der Zelle 2 und 3					
Zitronensäure					
1	Reinigung der Kathode mittels der Zitronensäure	Es werden 13g Zitronensäure mit 54ml Millipore Wasser vermischt (klare Lösung). Danach werden 10.8 g Kathode hinzugefügt.	- 1.25 Molare Zitronensäure - 20g L ⁻¹	Die Zitronensäure Lösung ist farblos. Sobald die Kathode zugefügt wird, verfärbt sich die Lösung leicht grünlich. Es bildet sich sehr wenig Gas.	Die Beschichtung bleibt an der Aluminiumplatte haften.
					

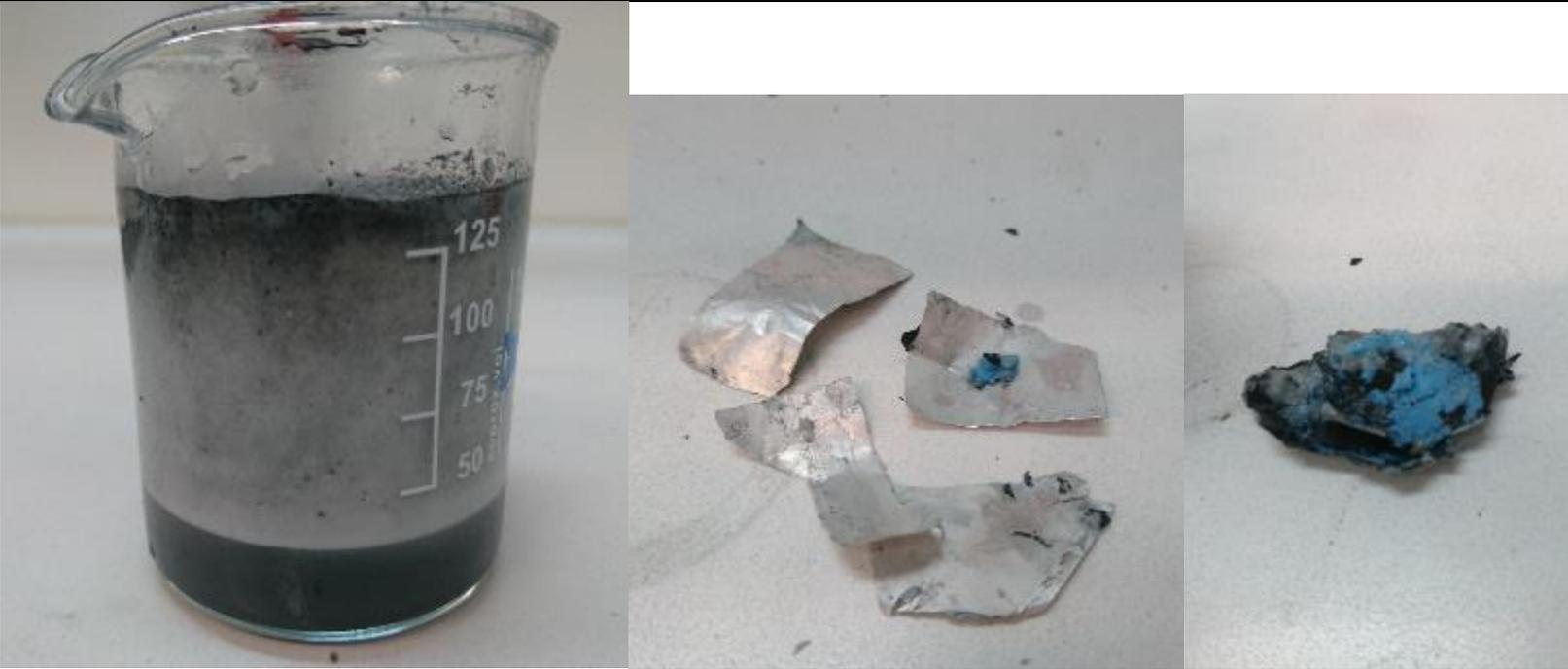
Schritt		Beschreibung	Konzentration	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
2	Zugabe H ₂ O ₂	Zur Lösung werden 0.75g H ₂ O ₂ zugegeben.	Circa 2% Volumen Zugabe	Sobald das Wasserstoffperoxid zugefügt wird, verfärbt sich die Lösung zu einer dunkelgrünen Lösung. Es bilden sich leichte Gase. Die Temperatur der Lösung steigt leicht an (knappe 30°C).	Durch die Zugabe von Wasserstoffperoxid löst sich die Beschichtung von der Aluminiumplatte.
					
Schritt		Beschreibung	Werkzeuge	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
3	Filtration	Das Gemisch wird über ein Filterpapier gefiltert.	-Filterpapier -Erlenmeyerkolben -Gastrichter	Die Lösung filtert durch. Kein grosser Rückstand. Die Beschichtung lässt sich halbwegs von der Aluminiumplatte entfernen. Endresultat: sauberes Aluminium.	Sehr langsamer Prozess (ca. 45min)

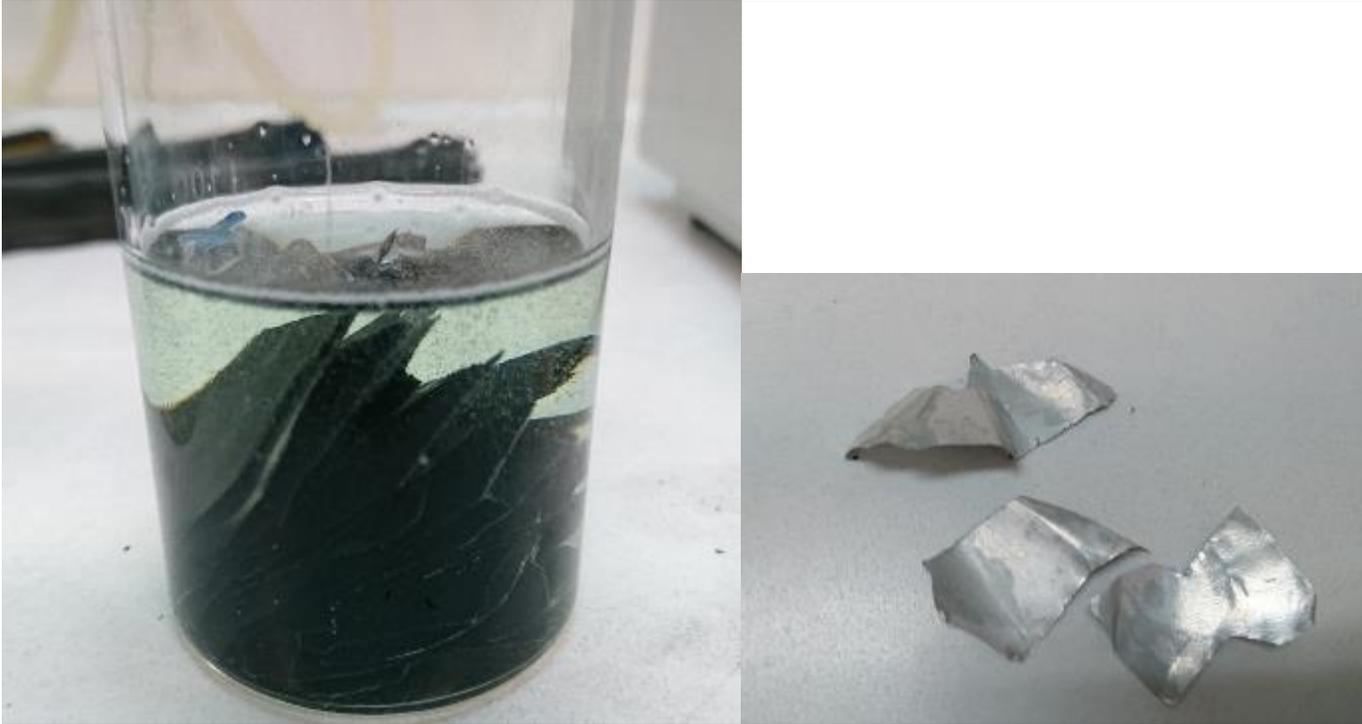
Schritt	Beschreibung	Konzentration	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion	
Apfelsäure					
1	Reinigung der Kathode mittels der Apfelsäure	Es werden 13g Apfelsäure mit 52.5ml Millipore Wasser vermischt (klare Lösung). Danach werden 10.5 g Kathode hinzugefügt.	- 1.5 Molare Apfelsäure - 20 g L ⁻¹	Die Apfelsäure Lösung ist farblos. Sobald die Kathode zugefügt wird, verfärbt sich die Lösung leicht grünlich. Es bildet sich sehr wenig Gas.	Die Beschichtung bleibt an der Aluminiumplatte haften.
					

Schritt		Beschreibung	Konzentration	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
2	Zugabe H ₂ O ₂	Zur Lösung werden 0.9g H ₂ O ₂ zugegeben.	Circa 2% Volumen Zugabe	Sobald das Wasserstoffperoxid zugefügt wird, verfärbt sich die Lösung zu einer temporären dunkelroter Lösung, die stark aufschäumt. Die Temperatur der Lösung steigt leicht an (knappe 30°C). Nach dem aufschäumen verfärbt sich die Lösung langsam zu einer dunkelgrünen/gelbliche Lösung	Durch die Zugabe vom Wasserstoffperoxid löst sich die Beschichtung von der Aluminiumplatte.
					
Schritt		Beschreibung	Werkzeuge	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
3	Filtration	Das Gemisch wird über einen Filterpapier gefiltert.	-Filterpapier -Erlenmeyerkolben -Glastrichter	Die Lösung filtert durch. Kein grosser Rückstand. Die Beschichtung lässt sich gut von der Aluminiumplatte entfernen. Endresultat: sauberes Aluminium.	Sehr langsamer Prozess (ca. 45min)

Schritt	Beschreibung	Konzentration	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion	
Asparaginsäure					
1	Reinigung der Kathode mittels der Asparaginsäure	Es werden 14.37g Asparaginsäure mit 54ml Millipore Wasser vermischt (weisse Suspension). Danach werden 10.8 g Kathode hinzugefügt.	- 2 Molare Asparaginsäure - 20 g L ⁻¹	Die Asparaginsäure Suspension ist weiss. Es wird vermutet, dass die Konzentration zu stark ist und sich die Asparaginsäure nicht komplett ausflösen kann. Sobald die Kathode zugefügt wird, verfärbt sich die Lösung leicht bläulich. Es bildet sich wenig Gas.	Die Beschichtung bleibt an der Aluminiumplatte haften.



Schritt		Beschreibung	Konzentration	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
2	Zugabe H ₂ O ₂	Zur Lösung werden 0.85g H ₂ O ₂ zugegeben.	Circa 2% Volumen Zugabe	Sobald das Wasserstoffperoxid zugefügt wird, bildet sich ein starker Gas, der zu einem Schaum wird (Schwarz/grauer Schaum). Die Temperatur der Lösung steigt leicht an (knappe 30°C).	Es ist nicht ersichtlich, ob sich die Beschichtung von der Aluminiumplatte löst.
					
Schritt		Beschreibung	Werkzeuge	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
3	Filtration	Das Gemisch wird über ein Filterpapier gefiltert.	-Filterpapier -Erlenmeyerkolben -Glastrichter	Die Flüssigkeit filtert durch. Sehr grosser Rückstand. Die Beschichtung lässt sich halbwegs von der Aluminiumplatte entfernen. Zusätzlich bildet sich ein blauer Feststoff. Endresultat: teilweise sauberes Aluminium, grosser Rückstand.	Sehr langsamer Prozess (ca. 80 min)

Schritt		Beschreibung	Konzentration	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
Essigsäure					
1	Reinigung der Kathode mittels der Essigsäure	Es werden 4.82 g Essigsäure mit 53.5ml Millipore Wasser vermischt (klare Lösung). Danach werden 10.7 g Kathode hinzugefügt.	- 1.5 Molare Essigsäure - 20 g L ⁻¹	Die Essigsäure Lösung ist farblos. Sobald die Kathode zugefügt wird, verfärbt sich die Lösung sehr leicht Türkis. Es bildet sich wenig Gas.	Nach 10min und umrühren löst sich die Beschichtung von der Aluminiumplatte. Somit ist keine Zugabe von H ₂ O ₂ nötig.
					
2	Filtration	Das Gemisch wird über einen Filterpapier gefiltert.	-Filterpapier -Erlenmeyerkolben -Gastrichter	Die Lösung filtert durch. Kein grosser Rückstand. Die Beschichtung lässt sich gut von der Aluminiumplatte entfernen. Endresultat: sauberes Aluminium.	Sehr langsamer Prozess (ca. 45min)

Gesamtüberlick

Von links nach rechts

Zitronensäure – Apfelsäure - Asparaginsäure - Essigsäure



Datum 28.11.17

Sicheres Entfernen des Elektrolyten der Zellen Model Typ SE160AHA, Heissleimpistole

Ziel des Versuches

Das Hauptziel dieses Versuches ist eine sichere Methode zu finden, um die Zelle zu öffnen.

Zelle 4 wird geöffnet.

Theoretische Grundlage

Waschvorgang: In der Waschflasche befindet sich Natriumhydroxid und Calciumhydroxid welches mit Lithiumhexafluorophosphat reagieren würde und das Fluor zu einem Fluorid reduzieren würde. Somit kann die Bildung von HF verhindert werden. Zudem wird mit dieser Methode am meisten Elektrolyt gewonnen, da die Zelle an einer Vakuumpumpe angeschlossen ist.

Sicherheitsaspekt

Um ein sicheres Arbeiten zu gewährleisten, sollen stets Nitril Handschuhe der Minimale Schichtdicke von 0.11mm getragen werden. Jede Handhabung der Zelle soll in einer gut belüfteten Kapelle durchgeführt werden. Zusätzlich gehören Schutzbrille und Arbeitskleider zur Ausstattung. Mehr zu Sicherheit siehe Kapitel 3.2. Diese Sicherheitsaspekte müssen zu jederzeit eingehalten werden.

Arbeitsort

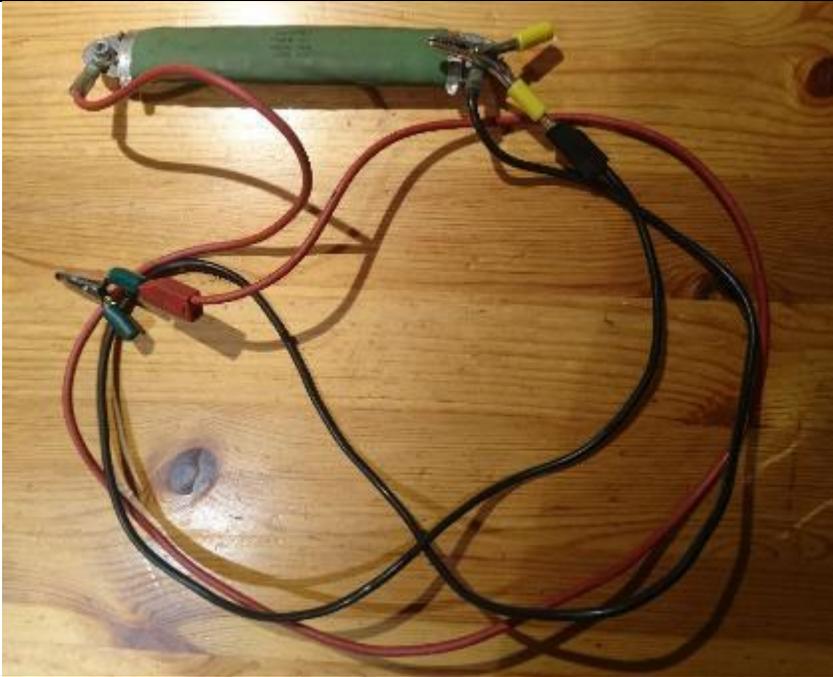
ZHAW Wädenswil / Labor

Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Methode den Vakuumschlauch mit der Heissleimpistole zu befestigen eignet sich nicht. Beim Aufmachen der Zelle wurde bemerkt, dass der Separator sehr weiss ist. Zudem glänzen die Anoden.

Diskussion der Ergebnisse

Mit der Heissleimpistole wird kein absolut dichtes System erzeugt. Es muss eine andere Methode überlegt werden. Der Separator und die Anoden sehen etwas anders aus, als bei den anderen Zellen. Dies könnte mit der Restspannung zu tun haben.

Schritt		Beschreibung	Werkzeuge	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
1	Passives entladen	Mit einem Widerstand von 0.68 Ohm wird die Zelle passiv entladen.	Widerstand (PMEN 153 0.68 Ω 10% 125 W AO)	Die Zelle wird auf 0.6 V entladen.	Die Zelle bläht sich leicht auf.
					
2	Messung der Restspannung	Mit dem Voltmeter wird die Restspannung gemessen.	Voltmeter	Die Zelle hat wieder eine Restspannung von 2.2 V.	Die Zelle wurde über Nacht stehengelassen. Somit steigt die Spannung wieder an.
3	Loch bohren (oben)	Ein Loch wird oben auf dem Deckel der Zelle gebohrt.	Bohrer Stift 7mm	Einfache Durchbohrung.	Es entsteht ein kurzer Druckanstieg.
4	Vakuumschlauch befestigen	Mittels Heissleimpistole wird versucht, den Vakuumschlauch zu befestigen	Heissleimpistole	Das System scheint dicht zu sein.	Keine

Schritt		Beschreibung	Werkzeuge	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
6	Waschflaschen	Um den Sicherheitsaspekt zu erhöhen, werden zwischen der Zelle und der Vakuumpumpe zwei Waschflaschen montiert. In der ersten Gasflasche wird eine Mischung aus NaOH und Ca(OH) ₂ zugefügt. Die erste Gasflasche soll damit das enthaltene Fluor des LiPF ₆ reduzieren und zu einem Fluorid umwandeln. Somit wird zu 100% verhindert, dass HF überhaupt entstehen kann. Die zweite Waschflasche wird hinter der ersten Waschflasche leer montiert. Diese Waschflasche soll überziehende Flüssigkeit auffangen und verhindern, dass Elektrolyten in die Vakuumpumpe gelangen können.	- 0.5 molare NaOH Lösung (50ml) - 0.5 molare Ca(OH) ₂ Lösung (50ml)	Keine	keine
7	Absaugen des Elektrolyten	Die Zelle wird auf den Kopf gestellt. Danach wird die Vakuumpumpe angestellt und der Elektrolyt abgesaugt.	Vakuumpumpe	In der Waschflasche bilden sich gelbe Kugeln.	Es kann kein konstantes Vakuum erzeugt werden. Es wird vermutet, dass das System nicht dicht ist. Zudem wird vermutet, dass die Kugeln Leim von der Heissleimpistole ist.



	Schritt	Beschreibung	Werkzeuge	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
8	Öffnen der Zelle	Die Zelle wurde auf Augenhöhe befestigt. Zuerst werden die Schrauben gelöst. Danach wird um den Deckel gesägt. Um das Öffnen zu erleichtern, wird die Seite der Zelle auch aufgesägt. Danach wird der Deckel mit zwei Schraubenziehern abgenommen. Sobald der Deckel ab ist, können mit einem Hammer und einem Meissel die Seiten abgespalten werden.	<ul style="list-style-type: none"> - Dremel mit Metallsägeblatt der Dicke 0.75mm - Hammer - Meissel 	Wenn oberhalb und auf der Seite gesägt wird, erleichtert dies das Öffnen der Zelle. Mit dieser Technik dauert das Öffnen der Zelle keine 15min.	Die Zelle darf nicht zu langsam am gleichen Ort gesägt werden. Ansonsten schmilzt der Plastik wieder. Besser sind schnelle und ofte Bewegungen entlang der Zelle.



9	Herausnehmen der Elektroden Lösen der Schrauben	Die Elektroden werden herausgenommen und die Schrauben gelöst.	Hände	Die Elektroden waren leicht feucht. Die Elektroden werden für 5min in der Kapelle stengelassen, damit die restlichen, flüchtigen Lösungen entweichen können.	keine
---	--	--	-------	--	-------

					
10	Trennen der einzelnen Platten	Die Platten werden einzeln von Hand getrennt.	Hände	Die Platten haften im Vergleich zu den anderen Versuchen nicht mehr so stark am Separator. Der Separator ist im Vergleich zu den anderen Versuchen sehr weiss.	Die Kathoden sehen optisch nicht allzu benutzt aus. Die Anoden hingehend haben leichte weisse Flecken und glänzen.



Vergleich Separator Zelle 3



Datum 29.11.17

Sicheres entfernen des Elektrolyten der Zellen Model Typ SE100AHA, Gewindebohrer

Ziel des Versuches

Das Hauptziel dieses Versuches ist eine sichere Methode zu finden, um die Zelle zu öffnen.

Zelle 5 wird geöffnet.

Theoretische Grundlage

Versuch basiert auf eigenen Überlegungen.

Sicherheitsaspekt

Um ein sicheres Arbeiten zu gewährleisten, sollen stets Nitril Handschuhe der Minimale Schichtdicke von 0.11mm getragen werden. Jeder Umgang mit der Zelle soll in einer gut belüfteten Kapelle geschehen. Zusätzlich gehören Schutzbrille und Arbeitskleider zur Ausstattung. Mehr zu Sicherheit siehe Kapitel 3.2. Diese Sicherheitsaspekte müssen zu jederzeit eingehalten werden.

Arbeitsort

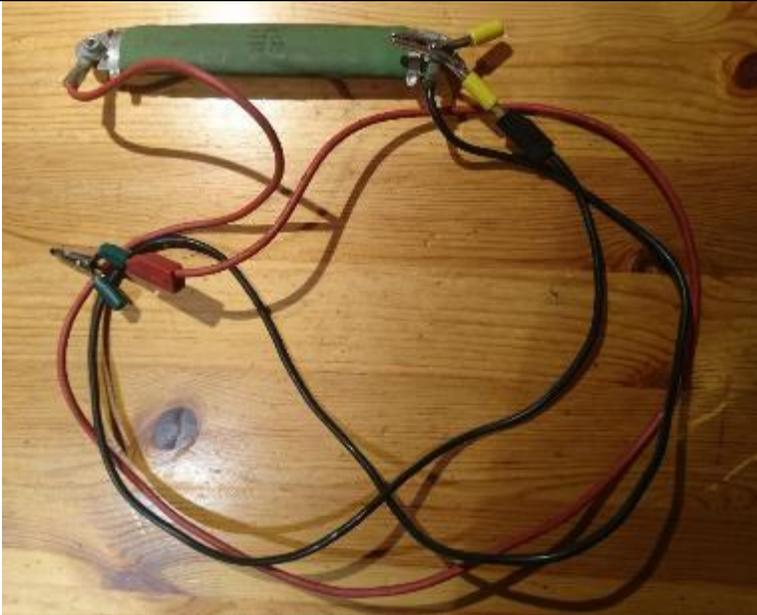
ZHAW Wädenswil / Labor

Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Methode mit dem Gewindebohrer scheint zu funktionieren. Die Vakuumpumpe erreicht ein Druck von 50mbar, somit ist das System dicht. Mit dieser Methode wird der direkte Kontakt mit dem Elektrolyten verhindert. Die restlichen Schritte bleiben dieselben.

Diskussion der Ergebnisse

Diese Methode wird zum Standardverlauf für das Öffnen der restlichen Zellen verwendet.

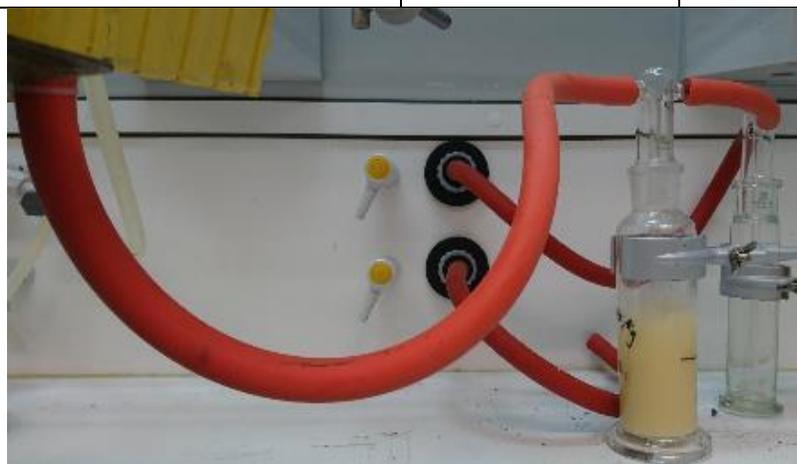
Schritt		Beschreibung	Werkzeuge	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion	
1	Passives entladen	Mit einem Widerstand von 0.68 Ohm wird die Zelle passiv entladen.	Widerstand (PMEN 153 0.68 Ω 10% 125 W AO)	Die Zelle wird auf 0.8 V entladen.	Die Zelle bläht sich leicht auf.	
						
2	Messung der Restspannung	Mit dem Voltmeter wird die Restspannung gemessen.	Voltmeter	Die Zelle hat wieder eine Restspannung von 1.5 V.	Die Zelle wurde über Nacht stehengelassen. Somit steigt die Spannung wieder an.	
3	Loch Bohren (oben)	Ein Loch wird oben auf dem Deckel der Zelle gebohrt.	Bohrer Stift 7mm	Einfache Durchbohrung.	Es entsteht ein kurzer Druckanstieg.	
4	Innengewinde schneiden	Mit einem Gewindebohrer wird vorsichtig ein Gewinde geschnitten.	Gewindebohrer 6mm	Keine	Keine	



5	Montieren eines Zwischenstück und montieren des Vakuumschlauches	Es wird ein Zwischenstück mit Gummidichtung montiert, um eine dichte Verbindung der Zelle und dem Vakuumschlauch zu erhalten.	<ul style="list-style-type: none"> -Zwischenstück -Gummidichtung -Vakuumschlauch 	Das Zwischenstück erfüllt seine Funktion.	keine
---	--	---	---	---	-------



Schritt	Beschreibung	Werkzeuge	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
6	Waschflaschen Um den Sicherheitsaspekt zu erhöhen, werden zwischen der Zelle und der Vakuumpumpe zwei Waschflaschen montiert. In der ersten Waschflasche wird eine Mischung aus NaOH und $\text{Ca}(\text{OH})_2$ zugefügt. Die erste Gasflasche soll damit das enthaltene Fluor des LiPF ₆ reduzieren und zu einem Fluorid umwandeln. Somit wird zu 100% verhindert, dass HF überhaupt entstehen kann. Die zweite Waschflasche wird hinter der ersten Waschflasche leer montiert. Diese Waschflasche soll überziehende Flüssigkeit auffangen und verhindern, dass Elektrolyten in die Vakuumpumpe gelangen können.	- 0.5 molare NaOH Lösung (50ml) - 0.5 molare $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Lösung (50ml)	Keine	keine
7	Absaugen des Elektrolyten Die Zelle wird auf den Kopf gestellt. Danach wird die Vakuumpumpe angestellt und der Elektrolyt abgesaugt.	Vakuumpumpe	Es entsteht eine beige Flüssigkeit. Es wird bis auf 50mBar gezogen.	keine



	Schritt	Beschreibung	Werkzeuge	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
8	Öffnen der Zelle	Zelle wurde auf Augenhöhe befestigt. Zuerst werden die Muttern gelöst. Danach wird um den Deckel gesägt. Um das Öffnen zu erleichtern, wird die Seite der Zelle auch aufgesägt. Danach wird der Deckel mit zwei Schraubenziehern abgenommen. Sobald der Deckel ab ist, können mit einem Hammer und einem Meissel die Seiten abgespalten werden.	- Dremel mit Metallsägeblatt der Dicke 0.75mm - Hammer - Meissel	Wenn oben und auf der Seite gesägt wird, erleichtert dies das Öffnen der Zelle. Mit dieser Technik dauert das Öffnen der Zelle keine 15min.	Die Zelle darf nicht zu langsam am gleichen Ort gesägt werden. Ansonsten schmilzt der Plastik wieder. Besser sind schnelle und häufige Bewegungen entlang der Zelle.
9	Herausnehmen der Elektroden	Die Elektroden werden herausgenommen	Hände	Die Elektroden waren leicht feucht. Die Elektroden werden für 5min in der Kapelle stengelassen, damit die restlichen flüchtigen Lösungen entweichen können.	keine
10	Trennen der einzelnen Platten	Die Platten werden einzeln von Hand getrennt.	Hände	Die Platten haften im Vergleich zu den anderen Versuchen nicht mehr so stark am Separator. Der Separator ist im Vergleich zu den anderen Versuchen (ausser Versuch 9) sehr weiss.	Die Kathoden sehen optisch nicht allzu benutzt aus. Die Anoden hingehend haben leichte weisse Flecken und glänzen.



Datum 29.11 – 05.12.17

Reinigungstest mit passiv entladene Zellen

Ziel des Versuches

In diesem Versuch werden die Zellen 4 und 5 mittels Wasser gereinigt. Das Hauptziel ist ein Unterschied zu den anderen vorigen Zellen festzustellen, die eine Restspannung von 0 Volt hatten.

Theoretische Grundlage

Email von Abel Olaechea, 24.10.2017:

“Concerning the discharge.

Down to 2V – all the lithium present in the graphite will be inserted inside the LFP. The electrochemical energy left in your cell is nearly 0 even if you see a potential. The potential is a measured of the difference of voltage of the oxidant and reductant in your cell, this is not a measure of the energy left inside (a 1 Ah, or 100Ah or 0.1mAh cell of couple graphite – lfp will give you the same voltage at the same state of charge)

When you push the discharge down to lower value by active discharge (means you apply a voltage), you introduce electron inside your system, no more lithium available to move so other species will start to react, could be : electrolyte reaction, copper (from current collector) dissolution, active material reaction,...

The best to ensure the safety, ensure a discharged state, of the battery is by active discharge down to the end of the electrochemical activity of your component (in the case graphite – LFP, voltage < 2.5V is safe enough) and at this point to short-circuit the cell to discharge the remaining energy (say 1day, or just let the plus and minus pole connected)

*Graphite – LFP : V < 2.5 active discharge, after short-circuit (passive discharge)
Graphite – NMC or LCO : V < 2.0 active, after short-circuit.”*

Sicherheitsaspekt

Um ein sicheres Arbeiten zu gewährleisten, sollen stets Nitril Handschuhe der Minimale Schichtdicke von 0.11mm getragen werden. Jeder Umgang mit der Zelle muss in einer gut belüfteten Kapelle geschehen. Zusätzlich gehören Schutzbrille und Arbeitskleider zur Ausstattung. Mehr zu Sicherheit siehe Kapitel 3.2. Diese Sicherheitsaspekte müssen zu jederzeit eingehalten werden.

Arbeitsort

ZHAW Wädenswil / Labor

Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Versuche bestätigen die Theorie. Da die Zellen nicht aktiv sondern passiv entladen wurden, konnten keine Nebenreaktionen geschehen. Es zeigt sich, dass die Beschichtung auf der Kathoden Seite einfach zu entfernen ist. Die Anoden Beschichtung konnte ebenfalls wie üblich leicht entfernt werden. Der einzige Unterschied bei der Anode zeigte sich optisch. Die Anode hatte eine glänzende Oberfläche.

Diskussion der Ergebnisse

Um dieses Verfahren bei der Kathode zu bestätigen, müssen mehrere Wiederholungen durchgeführt werden. Bei der Anode muss ein anderes Verfahren überlegt werden. Das momentane Verfahren eignet sich nicht, da das Wasser und die Beschichtung sich nicht mehr gut trennen lassen. Eine Versuchsmöglichkeit wäre es, ein leicht verdampfbares Lösungsmittel wie Aceton zu verwenden. Das Aceton könnte später ab destilliert werden.

Schritt		Beschreibung	Werkzeuge	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
Anode Zelle 4 & 5					
1	Reinigung der Kathode (grosses Stück)	Die ganze Kathode wird in einer mit Millipore Wasser befüllte Petrischale eingetaucht und nach 5min wird das Kupfer herausgenommen.	-Petrischale - Millipore Wasser - Zange	Nach 1min bilden sich kleine Wölbungen. Es wird bemerkt, dass die Beschichtung noch gut am Kupfer haftet. Die Anodeplatte wird 5min stengelassen. Nach 5min haben sich sehr viele Wölbungen gebildet. Nun trennt sich die Beschichtung problemlos von der Kupferplatte ab. Das Wasser wird gelblich grün. Bei beiden Zellen geschieht dasselbe.	Dieser Vorgang dauert 5min, ist jedoch rein vom Trennmechanismus effizient.
					

Schritt		Beschreibung	Werkzeuge	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
2	Totaler Wasserverbrauch	Insgesamt werden 52 Anodenplatten gereinigt. Das Ziel ist den Wasserverbrauch zu messen. Es werden jeweils 10 Anodenplatten in einem mit Millipore Wasser befüllten Becken eingetaucht. Das Kupfer wird mit einer Zange herausgefischt. Das Wasser wird später abgenuscht.	-Becken mit 1Liter Millipore Wasser -Zange	Die Anodenplatten lassen sich gut von der Beschichtung trennen. Kleine Stücke bleiben jedoch haften, die mittels Spritzflasche und Bürste entfernt werden. Nach 20 Anodenplatten wird bemerkt, dass sich ein dickflüssiger Rückstand bildet. Dieser dickflüssige Rückstand kann niemals abgenuscht oder nur sehr schwer und energiereich getrocknet werden. Der Versuch wird nach 20 Anodenplatten abgebrochen. Die Kupferplatten werden bei 105°C in einem Trockenschrank getrocknet. Der dickflüssige Rückstand wird entsorgt.	Vielleicht wäre es besser diesen Vorgang mit Aceton durchzuführen. Das Aceton könnte am Schluss am Rotationsverdampfer eingengt werden und somit rückgewonnen werden. Das rückbleibende Rohmaterial könnte im Trockenschrank getrocknet werden.
					
Objekt				Gewicht	
20 Anodenplatten				141 [g]	
Kupferplatten feucht				55.4 [g]	
Kupferplatten trocken				53.2 [g]	
Beschichtung feucht				Entsorgt	

Produktlösung			Entsorgt		
Schritt	Beschreibung	Werkzeuge	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion	
Kathode Zelle 4 & 5					
1	Reinigung der Kathode (kleines Stück)	Ein Stück der Kathode wird in einem mit Millipore Wasser befüllten Becherglas eingetaucht. Mit einer Zange wird die Aluminiumplatte herausgefischt.	- Becherglas 200ml - Millipore Wasser	Nach ca. 30sec geschieht eine Reaktion. Die Kathode wölbt sich und ein Gas trennt die Beschichtung von der Aluminiumpatte ab. Bei beiden Zellen geschieht dasselbe.	Dieser Versuch wird auf einer ganzen Kathodenplatte getestet.
2	Reinigung der Kathode (grosstes Stück)	Die ganze Kathode wird in einem mit Millipore Wasser befüllten Becherglas eingetaucht. Mit einer Zange wird die Aluminiumplatte herausgefischt.		Gleiche Reaktion wie beim kleinen Stück. Bei beiden Zellen geschieht dasselbe. Es sieht aber so aus, als wäre die Zelle 5 in einem besseren Zustand.	Diese Methode scheint sehr effektiv zu sein. Die Beschichtung wird abgenutscht
Zelle 4		Zelle 4		Zelle 5	
					

Schritt		Beschreibung	Werkzeuge	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
3	Totaler Wasserverbrauch	Insgesamt werden 52 Kathodenplatten der Zelle 5 gereinigt. Das Ziel ist es, den Wasserverbrauch zu messen. Als erstes werden 10 Kathodenplatte in einem mit Millipore Wasser befüllten Becken eingetaucht. Nach ca 30sekunden geschieht dasselbe wie bei den kleinen Versuchen. Das Aluminium wird mit einer Zange herausgefischt. Da sich die Beschichtung ganzheitlich als Platte abgetrennt haben, können die Beschichtungen im Wasser mit einem Spachtel gefaltet werden. Nach dem Falten werden die Beschichtungen in eine Petrischale gelegt. Nun wird dieser Schritt wiederholt, um zu beobachten, ob sich das Wasser sättigt und die Reaktion auch noch nach 42 Kathodenplatten funktioniert.	-Becken mit 1Liter Millipore Wasser -Zange -Spachtel - Petrischale	Alle Kathodenplatten wurden mit einem Liter gereinigt. Somit kann gesagt werden, dass mit max. 2 Liter Wasser sich alle 103 Kathodenplatten reinigen lassen. Das Wasser wird von Kathodenplatte zu Kathodenplatte gelber. Am Schluss hat das Wasser einen dunkelgelben, leicht grünlichen Stich.	Der Wasserverbrauch kann optimiert werden.
4	Abnutschen	Das Wasser mit den kleinen übrigen Beschichtungen wird abgenutscht.	-Nutsche -Nutschflasche -Filterpapier -Nutschring -Vakuumpumpe	Die ersten ca. 400ml werden schnell abgenutscht. Danach verlangsamt sich das abnutschen drastisch. Insgesamt dauert das abgenutschten über 2h. Am Schluss wird sogar 100ml mit der Vollpipette von oben abgesaugt, da sich die Nutsche komplett verstopf hat. Die Produktlösung hat einen dunkelgelben, leicht grünlichen Stich.	Die Abnutschzeit dauert sehr lange. Somit kann sich überlegt werden, das Wasser abzudekantieren und die kleinen Reste der Beschichtungen wegzuerwerfen.

Abgefiltertes Wasser (Produktlösung)



Dunkelgelbe Lösung mit leicht grünlichem Stich

Schritt		Beschreibung	Werkzeuge	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
5	Trocknen der Beschichtung	Die Beschichtung und die Aluminiumplatten der Zelle 5 werden bei 105°C über 24h getrocknet.	Trockenschrank	Das Rohmaterial ist schwarz, hart und spröde. Das Rohmaterial wird für eine spätere Analyse aufbewahrt. Die Aluminiumplatten sind teilweise sehr sauber glänzend. Einige Aluminiumplatten haben aber auch Flecken.	



Objekt	Gewicht
52 Kathodenplatten	529.4 [g]
Aluminiumplatte feucht	122.3 [g]
Aluminiumplatte trocken	64.6 [g]
Beschichtung feucht	580.2 [g]
Beschichtung trocken	433.4 [g]
Filtrerrückstand trocken	3.0 [g]
Produktlösung	599.7 [g] (ca. 100ml entfernt mit der Vollpipette)

Datum 29.11 – 05.12.17

Bestimmung der Zusammensetzung der Zelle 5

Ziel des Versuches

In diesem Versuch wird die Zusammensetzung der Zelle 5 bestimmt.

Theoretische Grundlage

Datenblatt MSDS

Stoff	MSDS	
	CAS No.	Gewichtsprozent [%]
Lithiumeisenphosphat	15365-14-7	31
Graphit	7782-42-5	18
Kupfer	7440-50-8	12
Aluminium	7429-90-5	8
Lithiumhexafluorphosphat	21324-40-3	4
Karbonat	-	8
Polypropylen	9003-07-0	19

Sicherheitsaspekt

Um ein sicheres Arbeiten zu gewährleisten, sollen stets Nitril Handschuhe der Minimalen Schichtdicke von 0.11mm getragen werden. Jeder Umgang mit der Zelle soll in einer gut belüfteten Kapelle durchgeführt werden. Zusätzlich gehören Schutzbrille und Arbeitskleider zur Ausstattung. Mehr zu Sicherheit siehe Kapitel 3.2. Diese Sicherheitsaspekte müssen zu jederzeit eingehalten werden.

Arbeitsort

ZHAW Wädenswil / Labor 280 g Kupfer und 130g

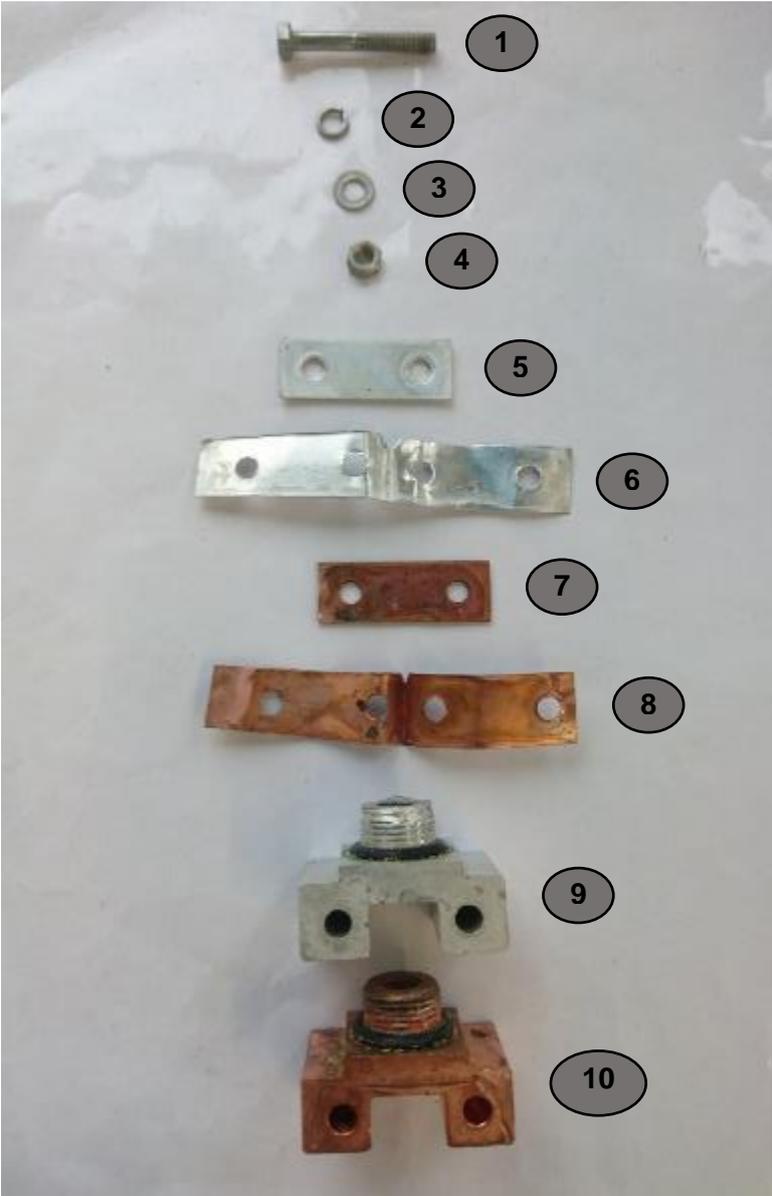
Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Zelle besteht aus 130 g Aluminium und 208 g Kupfer. Die Beschichtung der Kathode wiegt etwa 875 g. Die Beschichtung der Anode wurde entsorgt und deshalb konnte noch kein Gewicht ermittelt werden. Insgesamt verflüchtigte sich circa 500 g Elektrolyt bei Raumtemperatur.

Diskussion der Ergebnisse

Trotz präzisem Arbeiten stellt sich die Frage, ob es möglich ist, dass sich etwa 250g Elektrolyten verflüchtigen. Es wurde davon ausgegangen, dass die vorhandene Menge an Elektrolyten geringer sein würde.

	Zelle 5		Nummer
Entladen auf	0.6 [V]		
Restspannung beim Öffnen	1.5 [V]		
Restspannung kurz bevor der Trennung der Elektroden	1.0 [V]		
Gewicht der Zelle	3223.4 [g]		
Gehäuse (versagt)	579.5 [g]		
Entstehender Abfall	2.5 [g]		
Elektrolyt gesammelt	30.5 [g]		
Separator	149.5 [g]		
Folie um Elektroden	16.5 [g]		
	Gemessener Wert	Hochgerechneter Wert	
Anode			
Anzahl Anoden	105 [Stk]		
105 Anodenplatten getrocknet bei RT	745.2 [g]		
20 gereinigte Anodenplatten (Kupferplatten)	53.2 [g]		
105 gereinigte Anodenplatten (Kupferplatten)		279.3 [g]	
20 Anode Beschichtungen feucht	weggeworfen		
Gesamtgewicht der Anode		-	
Kathode			
Anzahl Kathodenplatten	105 [Stk]		
105 Kathodenplatten getrocknet bei RT	1070.1 [g]		
52 gereinigte Kathoden (Aluminiumplatten)	64.6 [g]		
105 gereinigte Kathodenplatten (Aluminiumplatten)		130.4 [g]	
52 Kathodenplatten Beschichtungen trocken	433.4 [g]		
105 Kathodenplatten Beschichtungen trocken		875.1 [g]	
Filterrückstand	3.0 [g]		
Gesamtgewicht der Kathode		1005.57 [g]	
Befestigungstechnik			
	Anzahl	Gesamtgewicht	
Schraube	4x	22.1 [g]	1
Metalldichtung klein	4x	0.95 [g]	2
Metalldichtung mittel	4x	0.8 [g]	3
Mutter klein	4x	3.4 [g]	4
Verbindung klein Al	2x	3.0 [g]	5
Verbindung gross Al	2x	2.1 [g]	6
Verbindung klein Cu	2x	9.9 [g]	7
Verbindung gross Cu	2x	6.7 [g]	8
Klemmstücke Al	1x	33.2 [g] (exkl. Gummidichtung 0.15g)	9
Klemmstücke Cu	1x	105.7[g] (exkl. Gummidichtung 0.15g)	10
Mutter grosse	2x	9.0 [g]	
Gesamtgewicht		197.15 [g]	
		Ausgerechneter Wert	
Verdunstetes Elektrolyt		232.7 [g] (Zusatz Information Arbeitsprotokoll 13)	



Datum 10.1.2018

Reinigungstest der Elektroden der Zelle 5

Ziel des Versuches

In diesem Versuch wird versucht die Anode und Kathode mittels Aceton oder Ethanol aufzureinigen. Wenn nichts geschieht, wird versucht ein Azeotrop mit Wasser und Ethanol zu bilden. Das Azeotrop wird in einem zweiten Schritt abdestilliert.

Theoretische Grundlage

Da Ethanol oder Aceton einen kleineren Siedepunkt besitzen, könnte der entstandene Schlamm einfacher abdestilliert werden.

Die Eigenschaft des Azeotropen (in diesem Fall) ist es, den Siedepunkt des höheren liegendem Lösungsmittel herabzusetzen. Sobald das Ethanol anfängt zu Sieden, reisst es Wassermoleküle mit sich. Somit kann das Wasser einfacher entzogen werden.

Sicherheitsaspekt

Um ein sicheres Arbeiten zu gewährleisten, sollen stets Nitril Handschuhe der Minimale Schichtdicke von 0.11mm getragen werden. Jeder Umgang mit der Zelle soll in einer gut belüfteten Kapelle durchgeführt werden. Zusätzlich gehören Schutzbrille und Arbeitskleider zur Ausstattung. Mehr zu Sicherheit siehe Kapitel 3.2. Diese Sicherheitsaspekte müssen zu jederzeit eingehalten werden.

Arbeitsort

ZHAW Wädenswil / Labor

Zusammenfassung der Ergebnisse

Ethanol und Aceton eignen sich nicht um die Beschichtungen abzulösen. Die Theorie des Azeotropes hat sich bestätigt. Die gesamte Lösung konnte nach etwa 4 h am Rotationsverdampfer abdestilliert werden. Der Rückstand wurde bei 105 °C über Nacht getrocknet.

Diskussion der Ergebnisse

Diese Methode funktioniert. Es könnte eine Endlösung sein um die Beschichtungsmaterial der Anode zu gewinnen. Insgesamt wurde etwa 270 g Graphit rückgewonnen.

Schritt		Beschreibung	Werkzeuge	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
Anode Zelle 5					
1	Reinigung der Anode (grosses Stück)	Die ganze Anode wird in einer mit Aceton befüllte Petrischale eingetaucht und 15 min gewartet.	-Petrischale - Aceton - Zange	Es geschieht nichts. Die Anode bleibt gleich wie am Anfang.	Diese Methode eignet sich nicht.
2	Reinigung der Anode (grosses Stück)	Die ganze Anode wird in einer mit Ethanol befüllte Petrischale eingetaucht und 15 min gewartet.	-Petrischale - Ethanol - Zange	Es geschieht nichts. Die Anode bleibt gleich wie am Anfang.	Diese Methode eignet sich nicht.
Kathode Zelle 5					
1	Reinigung der Kathode (grosses Stück)	Die ganze Kathode wird in einer mit Aceton befüllte Petrischale eingetaucht und 15 min gewartet.	-Petrischale - Aceton - Zange	Es geschieht nichts. Die Kathode bleibt gleich wie am Anfang.	Diese Methode eignet sich nicht.
2	Reinigung der Kathode (grosses Stück)	Die ganze Kathode wird in einer mit Ethanol befüllte Petrischale eingetaucht und 15 min gewartet.	-Petrischale - Ethanol - Zange	Es geschieht nichts. Die Kathode bleibt gleich wie am Anfang.	Diese Methode eignet sich nicht.

Schritt		Beschreibung	Werkzeuge	Beobachtungen (Eignung)	Reflexion
Anode					
1	Trennung der Beschichtung	Insgesamt werden 20 Anodenplatten gereinigt. Es werden alle 20 Anodenplatten in einem mit Millipore Wasser Becken eingetaucht. Das Kupfer wird mit einer Zange herausgefischt. Der Schlamm wird später abdestilliert.	-Becken mit 500ml Millipore Wasser -Zange	Die Anodenplatten lassen sich gut von der Beschichtung trennen. Kleine Stücke bleiben jedoch haften, die mittels Spritzflasche und Bürste entfernt werden. Die Kupferplatten werden bei 105°C in einem Trockenschrank getrocknet.	Die Beschichtung lässt sich wie gewohnt entfernen.
2	Zugabe von Ethanol	Nachdem die Beschichtung abgetrennt war, wurde Ethanol zugefügt.	- 500 ml Ethanol 99.8%	Die Zugabe von Ethanol verflüssigt den Schlamm. Jedoch geschieht ausser der Verflüssigung rein optisch nichts.	Die Kupferplatten sehen wie gewohnt aus.
3	abdestillieren	Der Schlamm wird in einem Rundkolben am Rotationsverdampfer eingeengt.	- Rundkolben 2000ml - Rotationsverdampfer	Der Schlamm lässt sich langsam abdestillieren. Bei einer Temperatur von 40°C und einem Vakuum von 200 mbar wird abdestilliert. Da mehrheitlich Ethanol abdestilliert wird, muss immer wieder ein wenig (50-100ml) Ethanol zugegeben werden (Erhaltung des Azeotrop). Der Rückstand wird im Trockenschrank bei 105°C über Nacht getrocknet.	Diese Methode funktioniert.
					

Akku- In-house Recycling

Typ SE100AHA
LiFePO₄

1.1- Anleitung

Anhang F



In-house Recycling von Li-Ionenbatterien: Alternativen zu etablierten Recyclingoptionen unter Beachtung rechtlicher und sicherheitstechnischer Auflagen

Olivier Groux
Bachelorstudiengang
Studiennrichtung
Umweltingenieurwesen

ANLEITUNG, DIE ZUM RECYCLING DES AKKUS ZU BEFOLGEN IST

Mechanischer Prozess

Diese Anleitung stellt sich aus den Erkenntnissen der Arbeitsprotokolle zusammen. Die Bilder in der Anleitung sollen dazu dienen, dass der Recycling Prozess nachvollzogen werden kann. Bitte beginnen Sie erst mit dem Recycling Prozess, wenn Sie alle Sicherheitsaspekte verstanden und befolgen können. Wird mit dem Recycling begonnen, sollten Sie sich nun entweder an einem sehr gut belüfteten Arbeitsort befinden oder noch besser, Sie arbeiten in einer Kapelle. *BEMERKUNG: Alle benötigten Werkzeuge sind auf der letzten Seite (5.5) der Anleitung aufgelistet.*

PASSIVE ENTLADUNG

Vor der Demontage sollte Sie die Zelle bis zu einer Restspannung von 2.5 V entladen. Sobald Sie diese Restspannung erreicht haben, können Sie die Zelle passiv entladen. Um eine Zelle passiv zu entladen, benutzen Sie einen Widerstand von 0.68 Ohm oder ein Gerät mit den gleichen Eigenschaften. Das Ziel bei der passiven Entladung ist es, die Zelle kurzzuschliessen.

BEMERKUNG: Die elektrochemische Energie, die in Ihrer Zelle verbleibt, ist fast 0, selbst wenn Sie ein Potential sehen. Das Potential ist ein Maß für die Differenz zwischen der Spannung des Oxidationsmittels und des Reduktionsmittels in Ihrer Zelle, dies ist kein Maß für die Energie, die im Inneren verbleibt. Zudem, beim passiven entladen einer Zelle, kann es vorkommen, dass die Zelle sich leicht aufbläht. Dies ist nichts weiter schlimm jedoch geschieht diese Aufblähung durch das entstandene Gas in der Zelle. Beim Öffnen der Zelle weicht das entstandene Gas aus.

FIXIERUNG DES GEWINDES

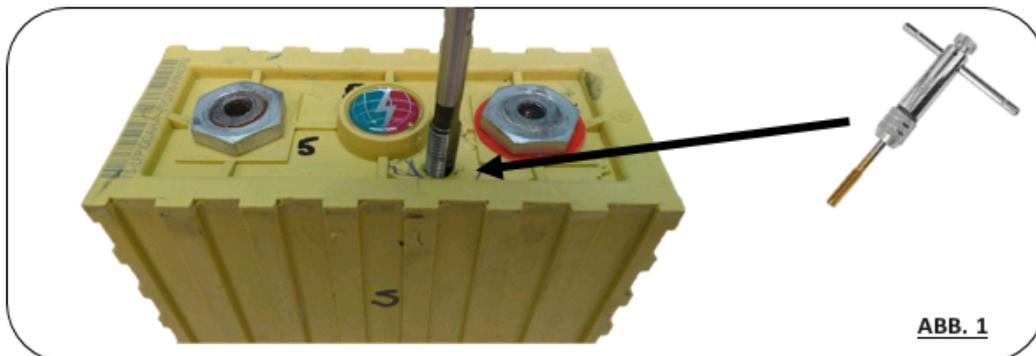
- Mit einem **Bohrer (Stift Größe 7mm)** wird auf der Oberfläche des Deckels ein Loch gebohrt. Die dafür geeignete Stelle ist auf der Abbildung 1 ersichtlich

BEMERKUNG: Zelle steht leicht unter Druck, es besteht keine Gefahr jedoch sollte sich das Gesicht beim Bohren nicht direkt oberhalb befinden.

- Als nächstes wird mit einem **Gewindebohrer (6mm)** beim gebohrten Loch ein **Gewinde** eingeführt (ABB 1).

- Das **Zwischenstück mit Gummidichtung** wird aufmontiert und der **Vakuumschlauch** angehängt.

BEMERKUNG: Die Zelle sollte nun wieder Dicht sein.



ABSAUGEN DES ELEKTROLYTES

- Die Zelle wird vorsichtig auf den Kopf gestellt, so dass das Gewinde mit dem Vakuumschlauch die tiefste Stelle erreicht.

- Das andere Ende des Vakuumschlauches ist an einer **Vakuumpumpe** angehängt.

WICHTIG: Um den Sicherheitsaspekt zu erhöhen, werden zwischen der Zelle und der Vakuumpumpe zwei Waschflaschen montiert. In der ersten Waschflasche wird eine Mischung aus 50ml 0.5 Molare NaOH und Ca(OH)₂ zugefügt (ABB2). Die erste Gasflasche soll damit das enthaltene Fluor des LiPF₆ reduzieren und zu einem Fluorid umwandeln. Somit wird zu 100% verhindert, dass HF überhaupt entstehen kann. Die zweite Waschflasche wird hinter der ersten Waschflasche leer montiert. Diese Waschflasche soll überziehende Flüssigkeit auffangen und verhindern, dass Elektrolyten in die Vakuumpumpe gelangen können



HINWEIS: Damit die Waschflaschen ihre Funktion übernehmen, müssen Sie richtig montiert werden. Eine Waschflasche besteht aus einem Eingang und einem Ausgang. In diesem Fall hat der Eingang ein langes Glasrohr, welches nach unten zum Boden ragt. Diese Seite muss mit der Zelle verbunden werden. Um die zwei Waschflaschen zu verbinden, wird das Ende der ersten Waschflasche mit dem Anfang der zweiten Waschflasche verbunden. Das Ende der zweiten Waschflasche wird an die Vakuumpumpe angehängt.

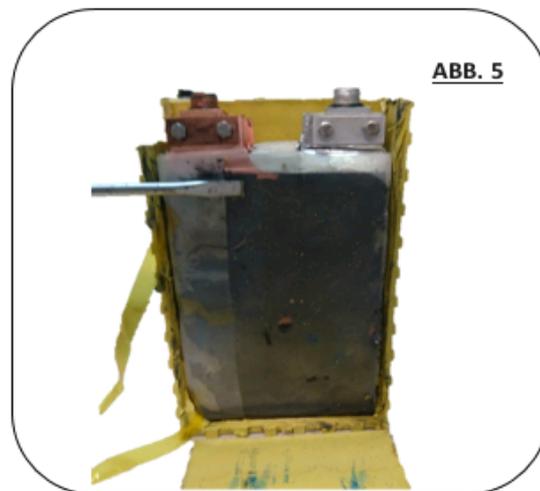
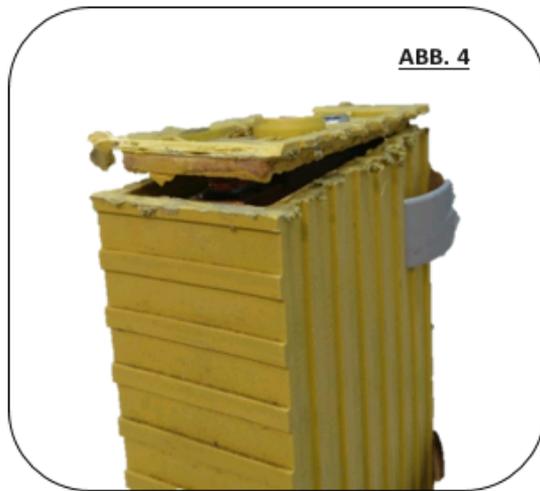


- Die Vakuumpumpe einschalten und so viele Elektrolyten wie möglich absaugen. Wird bemerkt, dass sich der Flüssigkeitsstand in der Waschflasche nach einiger Zeit nicht mehr verändert, kann die Vakuumpumpe ausgeschaltet werden.

DEMONTAGE DER EINZELTEILE Teil 1

WICHTIG: zur Demontage der Zelle wird empfohlen die Zelle an einem fixen Ort zu befestigen. Dadurch rutscht die Zelle nicht hin und her und saubere Sägeschnitte können vollzogen werden.

- Als erster Schritt müssen die zwei großen Muttern gelöst werden.
- Als nächstes wird mit dem Dremel und der Sägeplatte der Dicke 0.75mm ein etwa 5mm tiefer Schnitt entlang des Deckels gesägt (ABB 4).
- Wird mit dem Dremel einmal herum gesägt, kann der Deckel abgenommen werden.
- *BEMERKUNG: Lässt sich der Deckel nur schwer abnehmen, kann man dem nächsten Schritt folgen und den Deckel später abnehmen.*
- Nun folgen zwei seitliche Schnitte entlang der Zelle und ein horizontaler Schnitt ca. 5 mm oberhalb des Bodens (ABB 5).
- Sobald die seitlichen Schnitte vollzogen wurden (nun spätestens den Deckel abnehmen), wird mit einem Hammer und einer Meißel die Seiten abgespaltet.



- Die Elektroden können nun vom Gehäuse entfernt werden.
- *BEMERKUNG: Riecht die Elektrode nach Lösungsmittel, so muss die Elektrode für ca. 30min in der geschlossenen Kapelle liegen gelassen werden, bis kein Geruch mehr vorhanden ist.*
- Fortsetzung auf der nächsten Seite

DEMONTAGE DER EINZELTEILE Teil 2

- Die ABB 6 stammt von einem anderen Zellen Typ, jedoch dient die Abbildung der Visualisierung. Am oberen Ende sind die Elektrodenplatten alle zusammenfixiert mit zwei Klemmstücken.
- Mit einem Schraubenschlüssel werden die Schrauben entfernt.
WICHTIG: Da die Zelle noch leicht unter Spannung stehen könnte, muss beim Trennen der Befestigungsstücke Vorsicht geboten werden. Das Verbinden des Minus- und Pluspol mit jeglichen Gegenstände muss verhindert werden.
- Nun können die einzelnen Teile voneinander getrennt werden (ABB 7).
- Insgesamt können zehn Befestigungsstücke abgenommen werden (Tab 1).
- Sind alle Befestigungsstücke entfernt, können der Separator und die Elektrodenplatten einzeln getrennt werden (ABB 8).

Typ SE160AHA **ABB. 6**



ABB. 7



Befestigungstechnik	STK.	Befestigungstechnik	STK.
Material Edelstahl			
	4x		
	4x		
	4x		
	4x		
Material Aluminium		Material Kupfer	
	2x		2x
	2x		2x
	1x		1x

Tab. 1

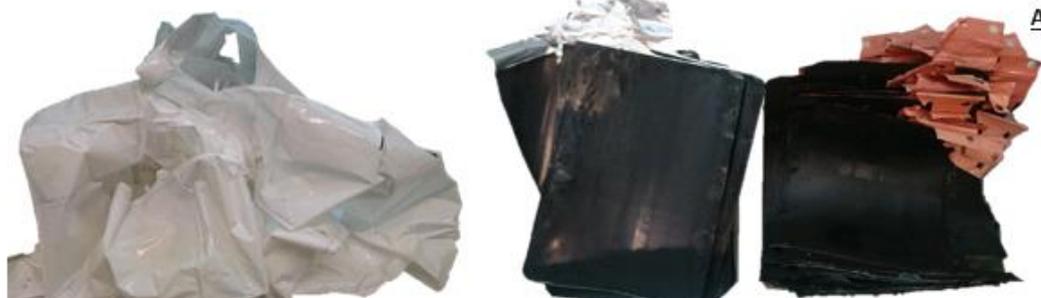


ABB. 8

Nasschemischer Prozess

Reinigung der Anode & Kathode

während dieses Arbeitsschrittes, werden die Anoden und Kathoden von Ihrer Beschichtung mittels Wasser getrennt.

Anoden

Reinigung

- Die Anodenplatten (ABB 9) werden in einem mit Millipore Wasser befüllten Becken eingetaucht.
- HINWEIS: Das Becken sollte nicht zu gross dimensioniert sein. Das Becken sollte ein wenig grösser sein als die Anodenplatte selbst. Somit lässt sich der Wasserverbrauch reduzieren.
- Warten bis sich kleine Wölbungen auf der Anodenplatten bilden.
- Nach 5min werden die Kupferplatten einzeln herausgenommen.
- HINWEIS: Bleiben kleine Flächen der Beschichtungen am Kupfer hängen, können diese mittels Wasserspritzflaschen oder einer weichen Bürste entfernt werden. Um alle Anodenplatten einer Zelle zu reinigen, werden etwa 10 Liter Wasser benötigt

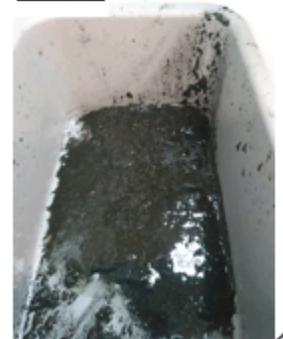
ABB. 9



Rückgewinnung der Beschichtung Teil 1

- Um das Beschichtungsmaterial rückzugewinnen wird ein Azeotrop gebildet. Dieses Azeotrop wird an einem Rotationsverdampfer eingehängt und abdestilliert.
 - Der Zurückgebliebene Schlamm wird 1:1 mit Ethanol verdünnt.
 - Nun wird der verdünnte Schlamm in einen Rundkolben gegeben.
- BEMERKUNG: Abb.10 Beschichtungsmaterial mit Wasser und Ethanol.*

ABB. 10



Kathode

Reinigung

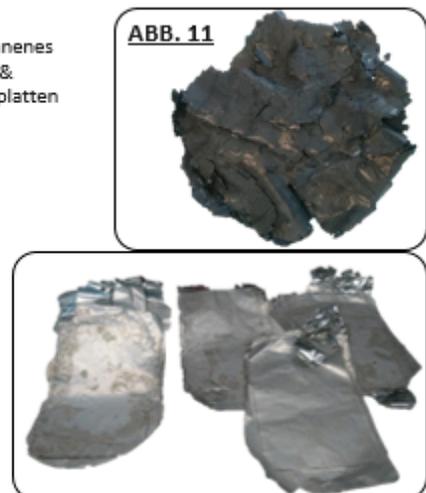
- Die Kathodenplatten (ABB10) werden in einem mit Millipore Wasser befüllten Becken eingetaucht.
- HINWEIS: Das Becken sollte nicht zu gross dimensioniert sein. Das Becken sollte ein wenig grösser sein als die Anodenplatte selbst. Somit lässt sich der Wasserverbrauch reduzieren.
- Nach ca. 30 Sec trennt sich die Beschichtung langsam von der Aluminiumplatte ab.
- Mit einer Zange die Aluminiumplatten herausfischen.
- HINWEIS: Um alle Kathodenplatten einer Zelle zu reinigen, werden maximal 2 Liter Wasser benötigt. Das Wasser verfärbt sich dunkelgelb, mit einem leichten, grünlichen Stich.
- Die Beschichtungen, die sich ganzeinheitlich als Platte abgetrennt haben, können nun im Wasser mit einem Spachtel gefaltet werden und separat gesammelt.
- Die kleinen übriggebliebenen Beschichtungen werden mit einer Nutsche abfiltriert.
- Das Beschichtungsmaterial und die Aluminiumplatten werden über Nacht in einem 105°C heissen Ofen getrocknet.

ABB. 10



ABB 11:
Rückgewonnenes
Metalloxid &
Aluminiumplatten

ABB. 11



Rückgewinnung der Beschichtung Teil 2

- Der Rundkolben wird an einem Rotationsverdampfer (ABB 12) angehängt.
- Starteinstellung: Wasserbad 40°C, Innendruck 200 mbar.
- Die Flüssigkeit wird langsam abdestilliert.

HINWEIS: Der Innendruck sollte nur in kleinen Schritten heruntergesetzt werden. Zusätzlich sollte immer wieder ein wenig Ethanol hinzu zugegeben werden, um das Azeotrop beizubehalten.

ABB 13: |
Rückgewonnenes
Graphit &
Kupferplatten



ABB. 12

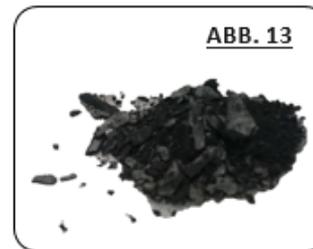


ABB. 13

Lagerung

Um weitere Sicherheitsaspekte zu gewährleisten müssen die Zellen richtig gelagert werden. Eine Möglichkeit ist es, die Zellen in Metallfaser zu lagern, die mit Vermiculit gefüllt sind (ABB 14).



ABB. 14

Entsorgung

Der Elektrolyt ist der einzige Stoff, der eine spezielle Entsorgung benötigt. Alle anderen Stoffe können entweder verkauft werden oder wieder in den Kreislauf zurückgebracht werden.

Aufgefangener Elektrolyt

Das aufgefangene Elektrolyt besteht aus dem LiPF₆ Salz, DEC, DMC EC, NaOH, Ca(OH)₂ und zusätzlichen nicht bekannten Additiven.

Die entstandene Flüssigkeit besitzt einen prozentual höheren Anteil von 2% an Halogenen und muss deshalb als flüssiger halogener Sondermüll entsorgt werden.

HINWEIS: Bitte verwenden Sie einen luftdichten Behälter mit der Aufschrift „Abfälle für halogenierte Lösungsmittelabfälle (Halogenanteil > 2%)“ und mit dem Abfallschlüssel 07 07 03. Alle Abfallschlüssel sind in der AVV (Die Abfallverzeichnis-Verordnung) hinterlegt.

Materialliste

Material	Zweck
Schutzbrille	Sicherheit
Schutzkleider	Sicherheit
Handschuhe Nitrilkautschuk	Sicherheit
Handschuhe Butyl	Sicherheit
Abzugshaube	Sicherheit
Bohrer und Stift	Absaugen des Elektrolyten
Gewindeschneider	Absaugen des Elektrolyten
Verbindungsstück (Gewinde / Vakuumschlauch)	Absaugen des Elektrolyten
Vakuumpumpe mit Vakuumschlauch	Absaugen des Elektrolyten
Gaswaschflasche	Absaugen des Elektrolyten
Ringmaulschlüssel-Satz	Lösen der Muttern
Dremel	Öffnen der Zelle
Meißel und Hammer	Öffnen der Zelle
Rotationsverdampfer	Abdestillation des Azeotropes
Trockenschrank	Trocknung des Beschichtungsmaterials
NaOH	Absaugen des Elektrolyten
Ca(OH) ₂	Absaugen des Elektrolyten
Wasser	Reinigung der Elektroden

Erklärung betreffend das selbständige Verfassen einer Bachelorarbeit im Departement Life Sciences und Facility Management

Mit der Abgabe dieser Bachelorarbeit versichert der/die Studierende, dass er/sie die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst hat.

Der/die unterzeichnende Studierende erklärt, dass alle verwendeten Quellen (auch Internetseiten) im Text oder Anhang korrekt ausgewiesen sind, d.h. dass die Bachelorarbeit keine Plagiate enthält, also keine Teile, die teilweise oder vollständig aus einem fremden Text oder einer fremden Arbeit unter Vorgabe der eigenen Urheberschaft bzw. ohne Quellenangabe übernommen worden sind.

Bei Verfehlungen aller Art treten Paragraph 39 und Paragraph 40 der Rahmenprüfungsordnung für die Bachelor- und Masterstudiengänge an der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften vom 29. Januar 2008 sowie die Bestimmungen der Disziplinar massnahmen der Hochschulordnung in Kraft.

Ort, Datum:

S.4.18 Bern

Unterschrift:



Das Original dieses Formulars ist bei der ZHAW-Version aller abgegebenen Bachelorarbeiten im Anhang mit Original-Unterschriften und -Datum (keine Kopie) einzufügen.