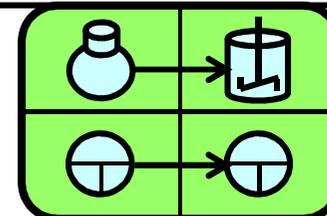


FuE-Projektmanagement in der Chemieindustrie



Die folgende Sammlung von PowerPoint®-Charts soll die einschlägigen Fachpublikationen zu den jeweils behandelten Sachthemen weiter verdeutlichen und ergänzen. Sie dient keinerlei kommerziellen Zwecken, sondern als Lernmaterial für Studierende.

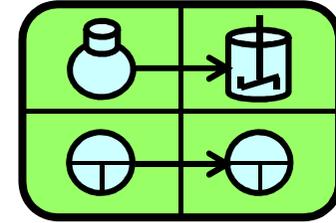
In einigen Literaturverzeichnissen sind ausgewählte Quellen zum vertieften Studium des jeweiligen Lernstoffs angegeben.

Die in den Fallstudien-Aufgaben aufgeführten chemisch-technischen Zielkomponenten, Formeln, Termine, „Umfeld-Informationen“, sowie die Daten in den „Profilboxen“ sind weitgehend praxisnah, aber dennoch rein fiktiv.

Sie dienen lediglich der Anschaulichkeit und als Übungsstoff.

Deckungsgleichheit mit realen Zielkomponenten Dritter wäre rein zufällig.

FuE-Projektmanagement
in der Chemieindustrie

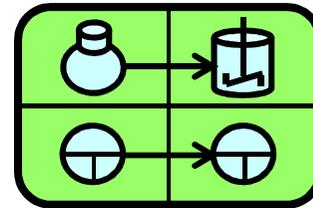


Zusatzmodul 01 für Chemiker (m/w/d)

Informationsmaterial für eine Fallstudienaufgabe.

**Neue "Ionic Liquids" als flammfeste
Elektrolyte in Lithium-Ionen-Zellen.**

FuE-Projektmanagement in der Chemieindustrie



Lerninhalt

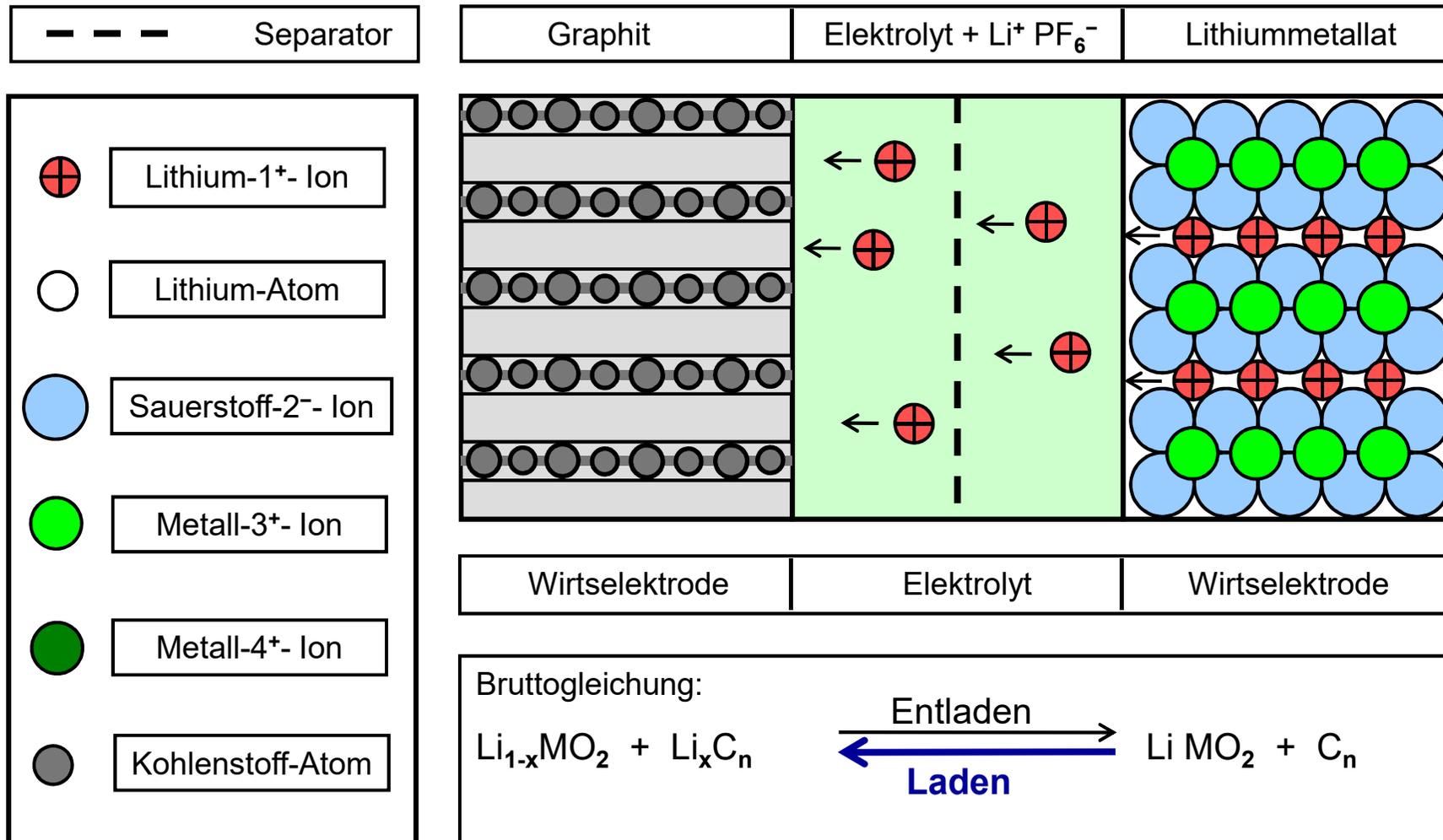


***Physikalisch-Chemische
Grundlagen (+ Aufgabe)***

***Neue "Ionic Liquids" als flammfeste
Elektrolyte in Lithium-Ionen-Zellen.***

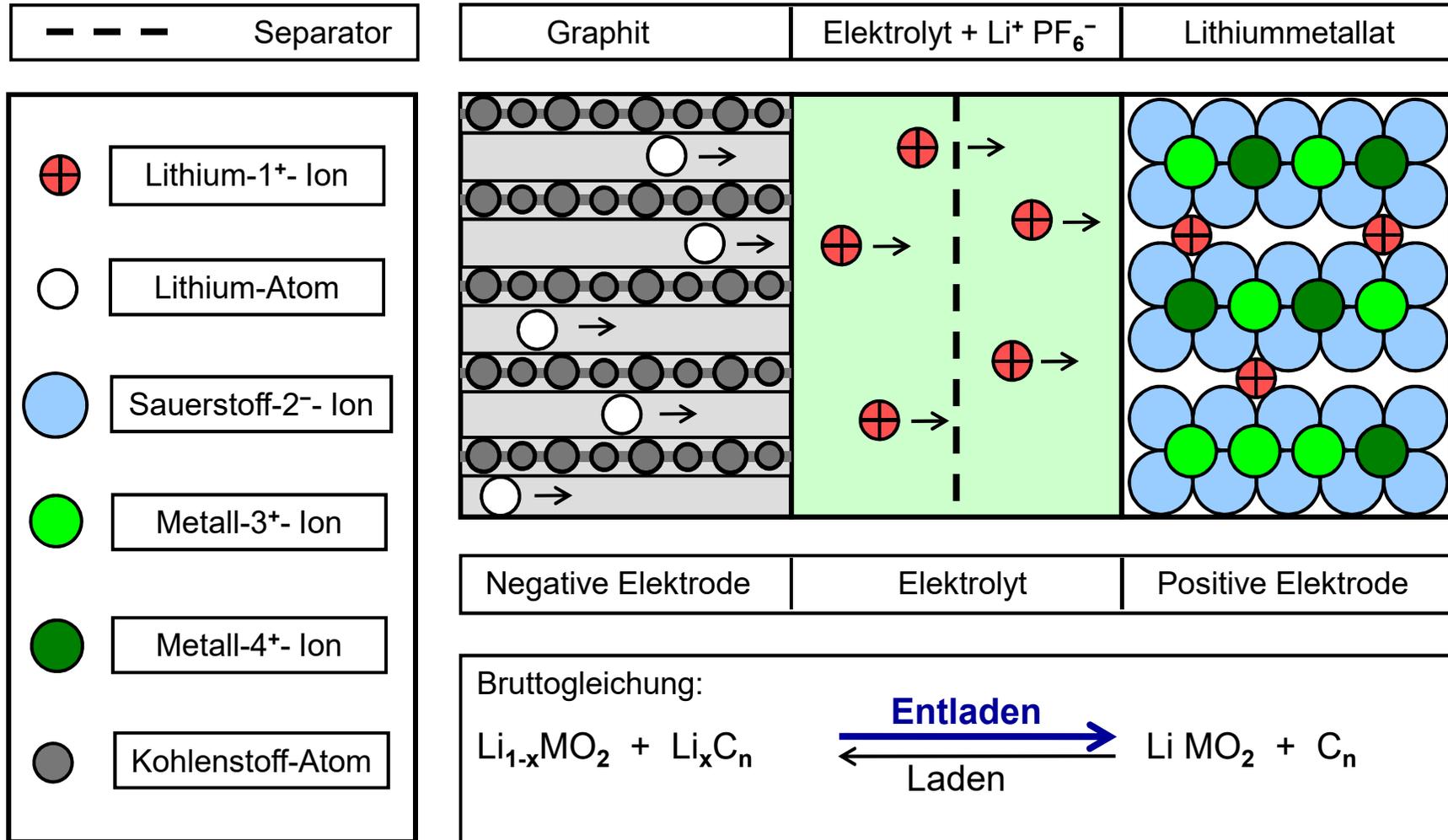
Lithium-Ionen-Zelle, Funktionsprinzip.

Li-Ionen-Zellen ($\text{LiMO}_2 / \text{C}_n$), Start des Aufladungsvorgangs.



Lithium-Ionen-Zelle, Funktionsprinzip.

Li-Ionen-Zellen ($\text{LiMO}_2 / \text{C}_n$), Start des Entladungsvorgangs.



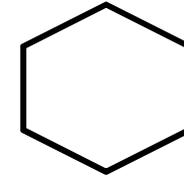
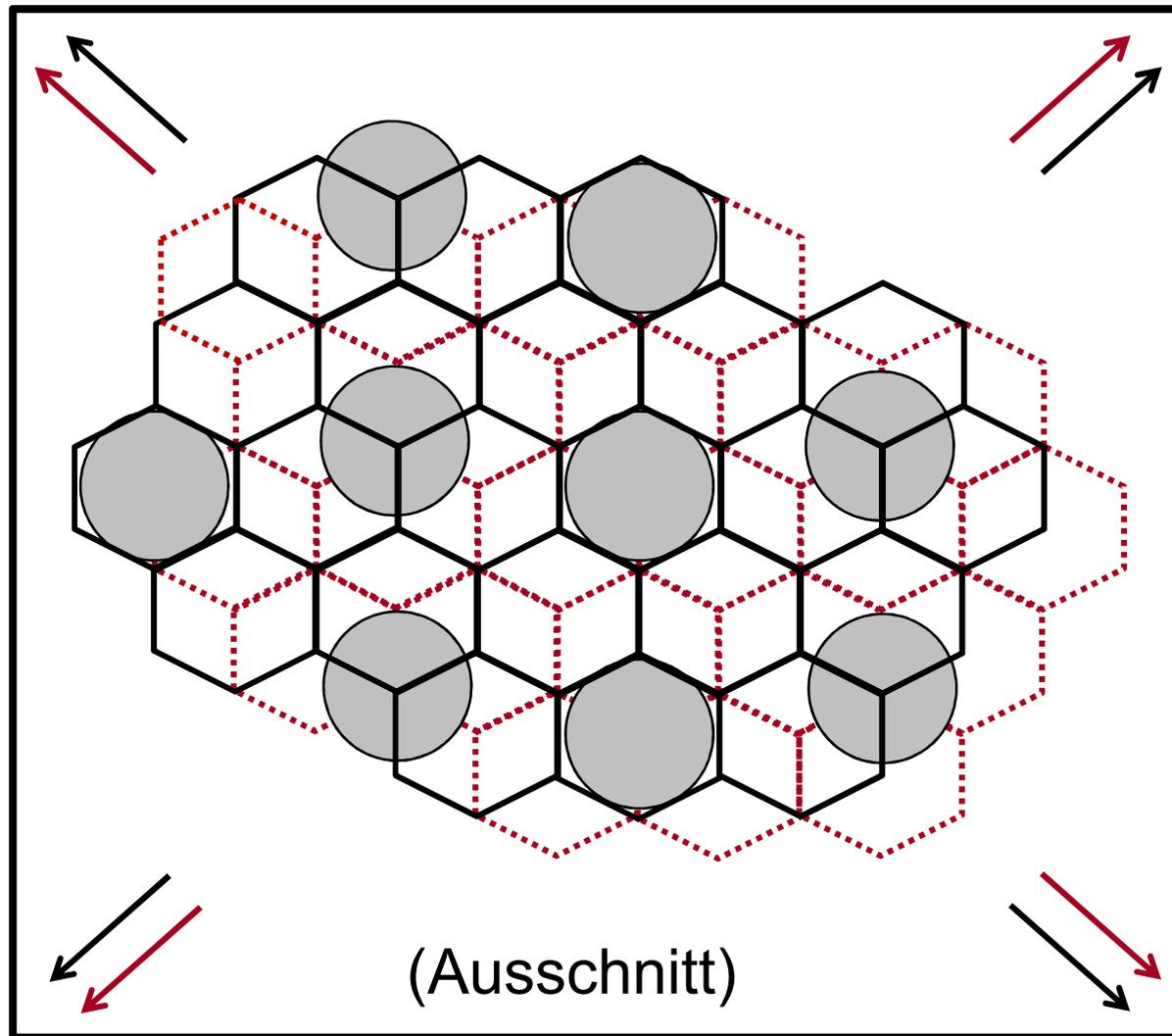
Lithium-Ionen-Zellen, derzeit gängige Materialien.

Substanzen für die Herstellung negativer Elektroden \ominus :

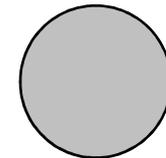
Negativ geladene Aktivmassen	Formeln	Formeln der Li-haltigen Einlagerungsverbindungen
Graphit	C	LiC_6
Aluminium	Al	LiAl
Antimon	Sb	Li_3Sb
Wolframdioxid	WO_2	LiWO_2
Zinn	Sn	$\text{Li}_{22}\text{Sn}_5$
Zinndioxid	SnO_2	Li_xSnO_2
Nanokristallines Silizium	Si	$\text{Li}_{22}\text{Si}_5$
Lithiumtitanat ($2 \text{Li}_2\text{O} \cdot 5 \text{TiO}_2$)	$\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$	$\text{Li}_7\text{Ti}_5\text{O}_{12}$
Magnetit, nanopartikulär in CNT	$\text{Fe}_3\text{O}_4 @ \text{CNT}$	(„ $4\text{Li}_2\text{O}/3\text{Fe} @ \text{CNT}$ “)

Lithium-Ionen-Zellen, Graphit-Schichtstruktur als „Li-Wirt“.

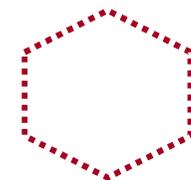
Intercalation von Li in der C-Schichtstruktur als LiC_6 .



Vordere
Graphen-Schicht



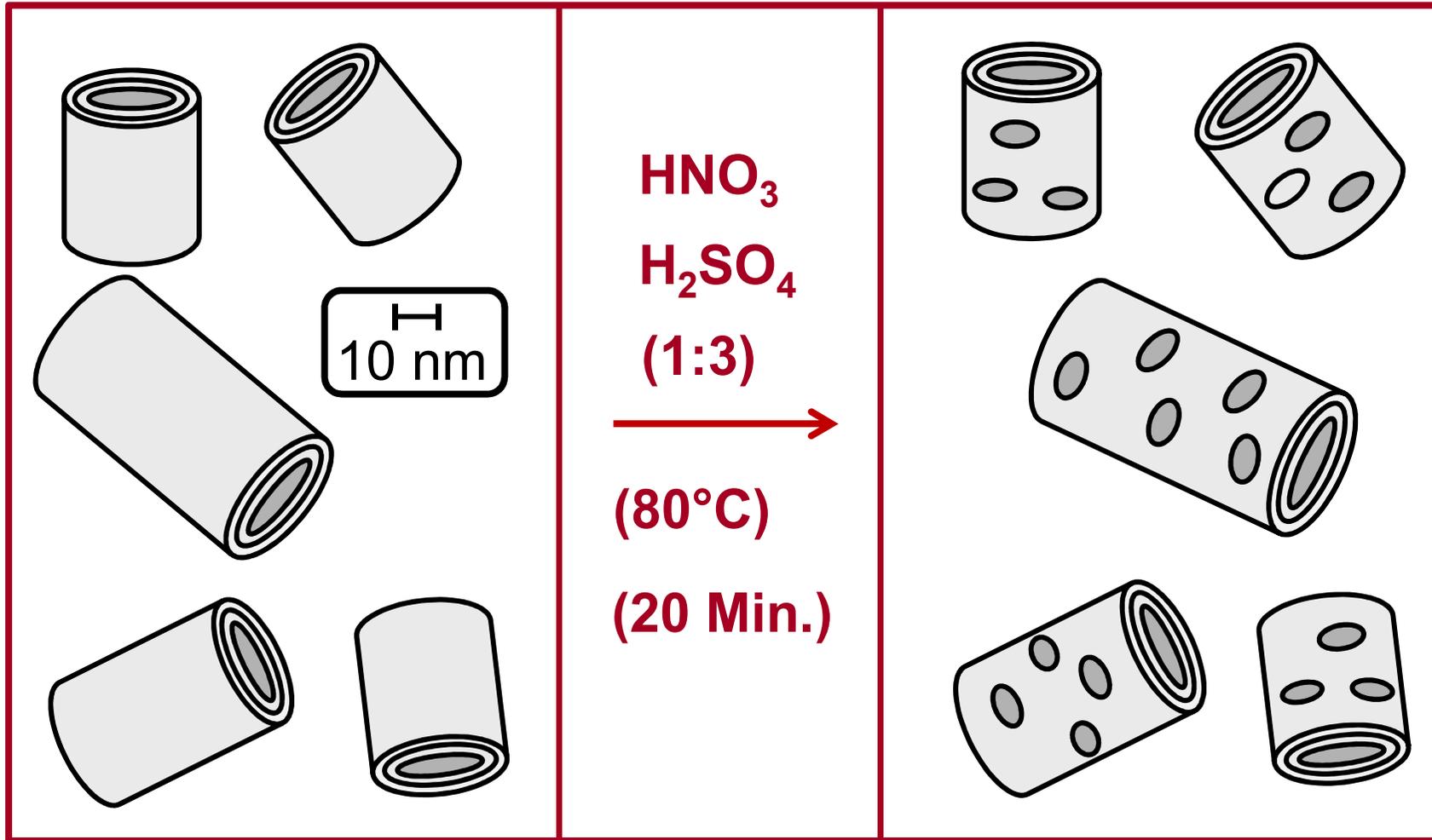
Lithium-Atom



Hintere
Graphen-Schicht

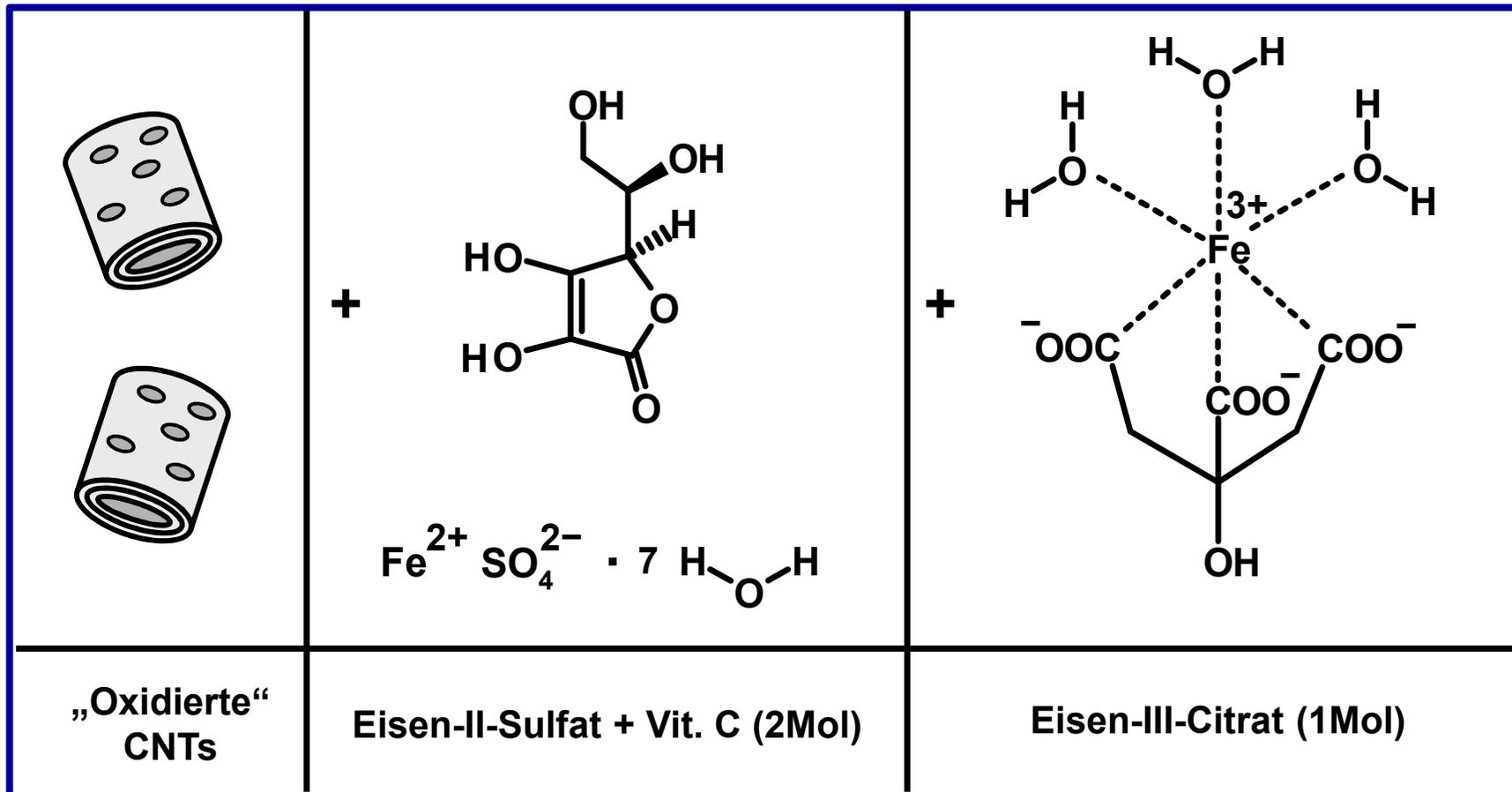
Lithium-Ionen-Zellen, Fe_3O_4 @ CNT als Lithium-Wirt .

Herstellung von meso-porösen multi-wall-CNTs.



Lithium-Ionen-Zellen, $\text{Fe}_3\text{O}_4 @ \text{CNT}$ als Lithium-Wirt .

Meso-poröses $\text{Fe}_3\text{O}_4 @ \text{CNT}$ per Hydrothermalsynthese.



Lithium-Ionen-Zellen, Fe_3O_4 @ CNT als Lithium-Wirt .

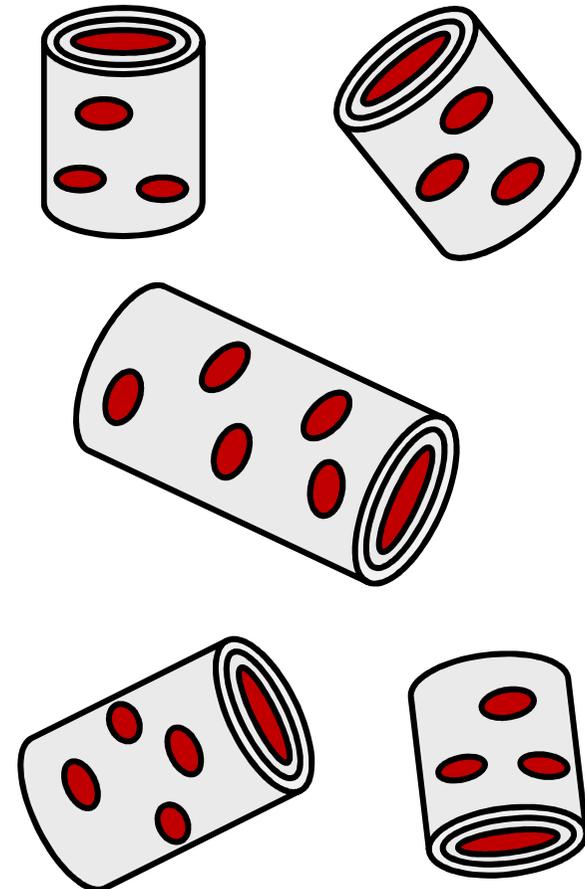
Meso-poröses Fe_3O_4 @ CNT per Hydrothermalsynthese.

1. Mit wässriger NaOH: \rightarrow pH 10

2. Edelstahl-Autoklav mit
Teflon-Beschichtung:
20 Stunden bei 180°C

3. Abtrennung von Fe_3O_4 @ CNT
mittels Magnet, 5x Waschen mit
deionisiertem Wasser

4. Gefriertrocknung: 24 Stunden



Lithium-Ionen-Zellen, derzeit gängige Materialien.

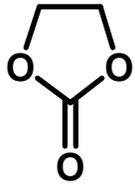
Substanzen für die positiven Elektroden ⊕ : Li-Metallate.

Positiv geladene Aktivmassen	Formeln	Redoxsystem
Lithiumcobaltat-(III) ($\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Co}_2\text{O}_3$)	LiCoO_2	$\text{Co}^{3+} / \text{Co}^{4+}$
Lithiumnickelat-(III) ($\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Ni}_2\text{O}_3$)	LiNiO_2	$\text{Ni}^{3+} / \text{Ni}^{4+}$
Lithiummanganat-(III) ($\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Mn}_2\text{O}_3$)	LiMnO_2	$\text{Mn}^{3+} / \text{Mn}^{4+}$
Li.-Mangan-Spinell ($\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Mn}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{MnO}_2$)	LiMn_2O_4	$\text{Mn}^{3+} / \text{Mn}^{4+}$
Lithium-Nickel-Mangan-Oxid	$\text{LiNi}_{0,5}\text{Mn}_{1,5}\text{O}_4$	$(\text{Mn},\text{Ni})^{3+}/(\text{Mn},\text{Ni})^{4+}$
Lithium-Eisen-(III)-Phosphat	LiFePO_4	$\text{Fe}^{2+} / \text{Fe}^{3+}$

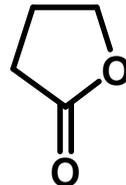
Lithium-Mangan-Nickel-Cobalt-Oxid	$\text{Li} (\text{Li}_{0,20} \text{Mn}_{0,58} \text{Ni}_{0,16} \text{Co}_{0,08}) \text{O}_2$
-----------------------------------	---

Lithium-Ionen-Zellen, derzeit gängige Elektrolyten.

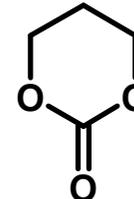
Aprotische, polare, wasserfreie Lösemittel + Li⁺-Leitsalz.



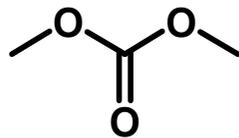
Ethylencarbonat



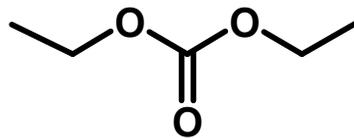
γ -Butyrolacton



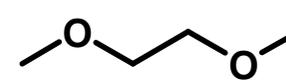
Propylencarbonat



Dimethylcarbonat



Diethylcarbonat



1,2-Dimethoxyethan

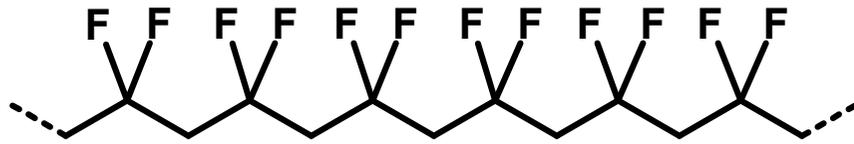
Nachteile



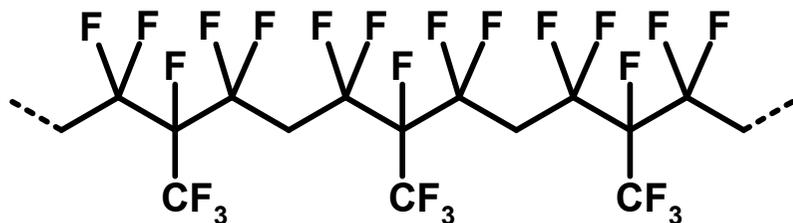
- Niedrige Zersetzungstemperaturen
- Leichte Entflammbarkeiten
- Brandfördernde Eigenschaften

Lithium-Ionen-Zellen, derzeit gängige Elektrolyten.

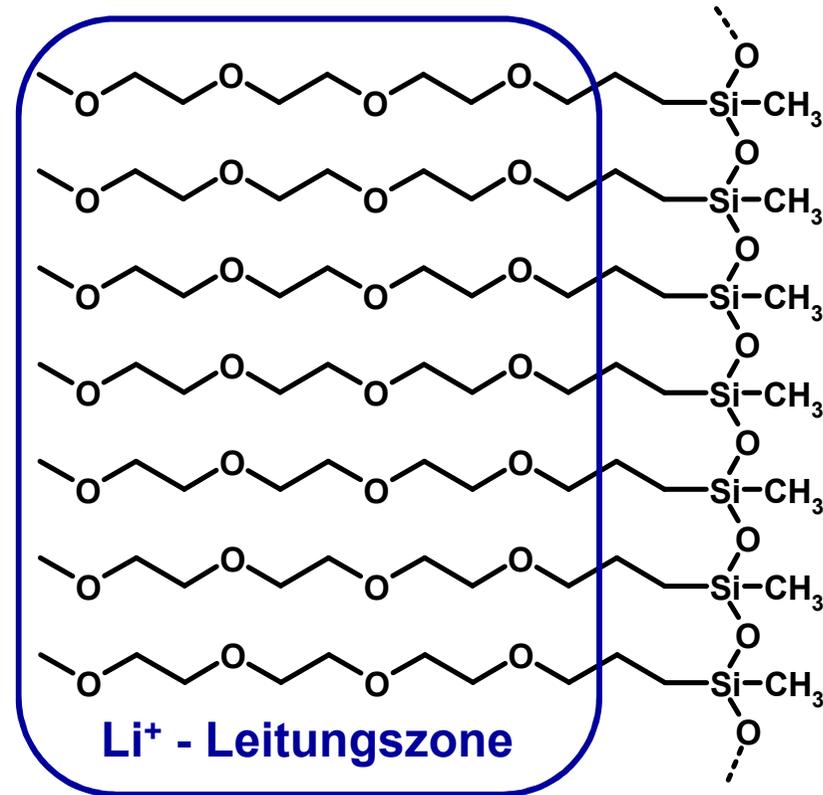
Polymere (+ NMP): Gelartige Leitmaterialien + Li⁺-Salze



Polyvinylidenfluorid (PVDF), wird angequollen bzw. geliert mit NMP (N-Methyl-Pyrrolidon).



Vinylidenfluorid-Hexafluorpropen-Copolymer (PVDF-HFP-Copolymer), angequollen mit NMP.



Ether-modifizierte Polysiloxane als Li⁺-leitende "Blends" für semi-IPN (IPN: Interpenetrating Network).

Neue "Ionic Liquids" als flammfeste Elektrolyte in Li-Zellen

Ionic Liquids: Allgemeine Definition.

**Ionic Liquid: → Organische Salzschnelze
mit einem Schmelzpunkt unterhalb von 100°C**

- Diese besteht ausschließlich aus Ionen
- Diese enthält immer ein organisches Kation
- Diese enthält ein organisches, anorganisches oder metallorganisches Anion

Neue "Ionic Liquids" als flammfeste Elektrolyte in Li-Zellen

I. L.: Chemische und physikalische Eigenschaften.

- Sie haben elektrische Leitfähigkeiten σ von bis zu $2,50 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$.
- Sie zeigen einen sehr weiten Flüssigkeitsbereich von bis zu 400 Einheiten auf der Celsius-Skala.
- Sie sind im Gegensatz zu anorganischen „Salzschmelzen“ niederviskos ($\eta \approx 0,02 \text{ Pa}\cdot\text{s}$, $T = 25^\circ\text{C}$).
- Sie wirken im Gegensatz zu anorganischen „Salzschmelzen“ nicht korrosiv.
- Sie bilden in reinen Schmelzen keine H^+ -Brücken.

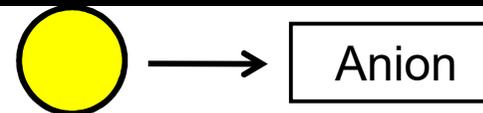
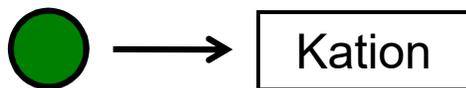
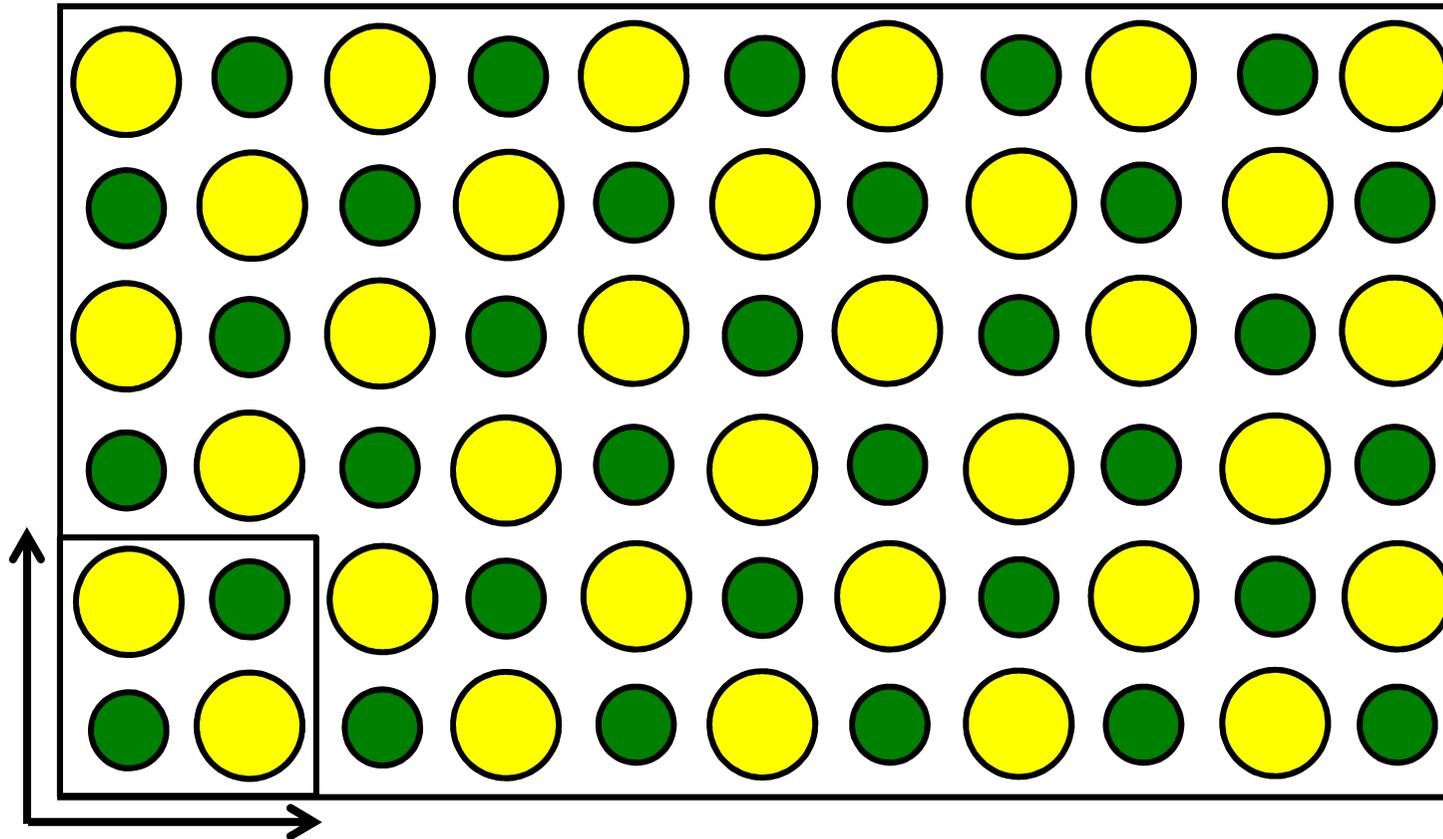
Neue "Ionic Liquids" als flammfeste Elektrolyte in Li-Zellen

I. L.: Chemische und physikalische Eigenschaften.

- Sie weisen einen verschwindend kleinen Dampfdruck unterhalb der Temperatur ihrer Zersetzung auf ($T < 300^{\circ}\text{C}$).
- Sie sind flammfest und kaum brennbar.
- Sie zeigen gute oxidative und elektrochemische Stabilitäten.
- Durch gezielte Wahl einer Kation-Anion-Kombination lassen sie sich mit den gewünschten physikalischen und chemischen Eigenschaften ausstatten ("**Designer Solvents**").

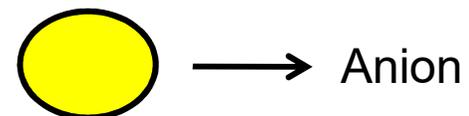
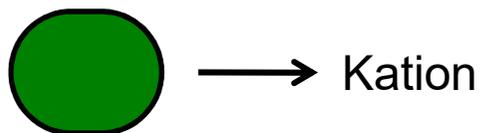
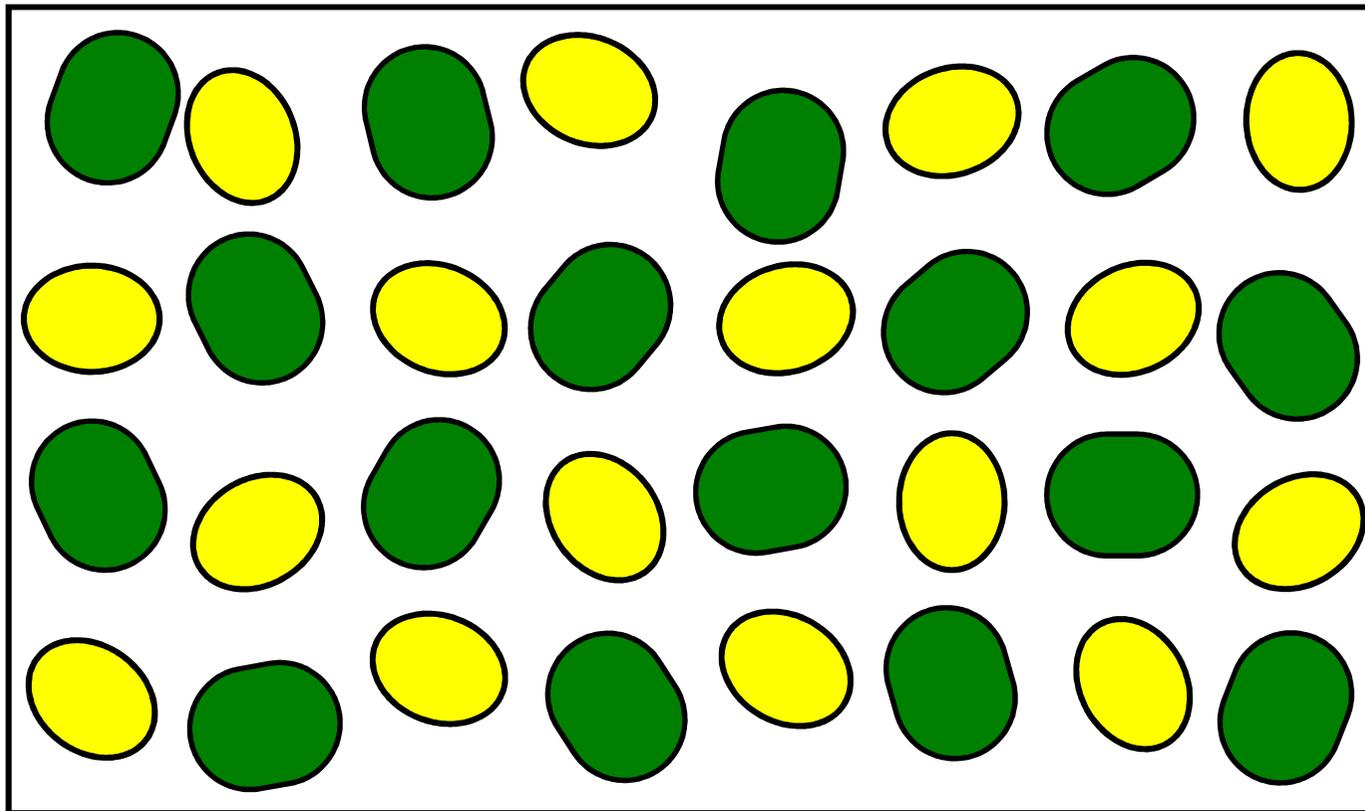
Kristallines Salz, bestehend aus Ionen.

**Fernordnung: Für ein einzelnes Ion gilt \longrightarrow
Potenzielle Energie > Kinetische Energie**



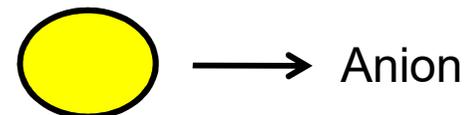
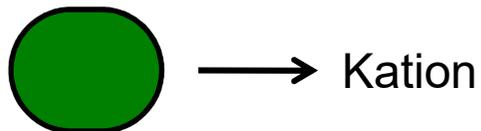
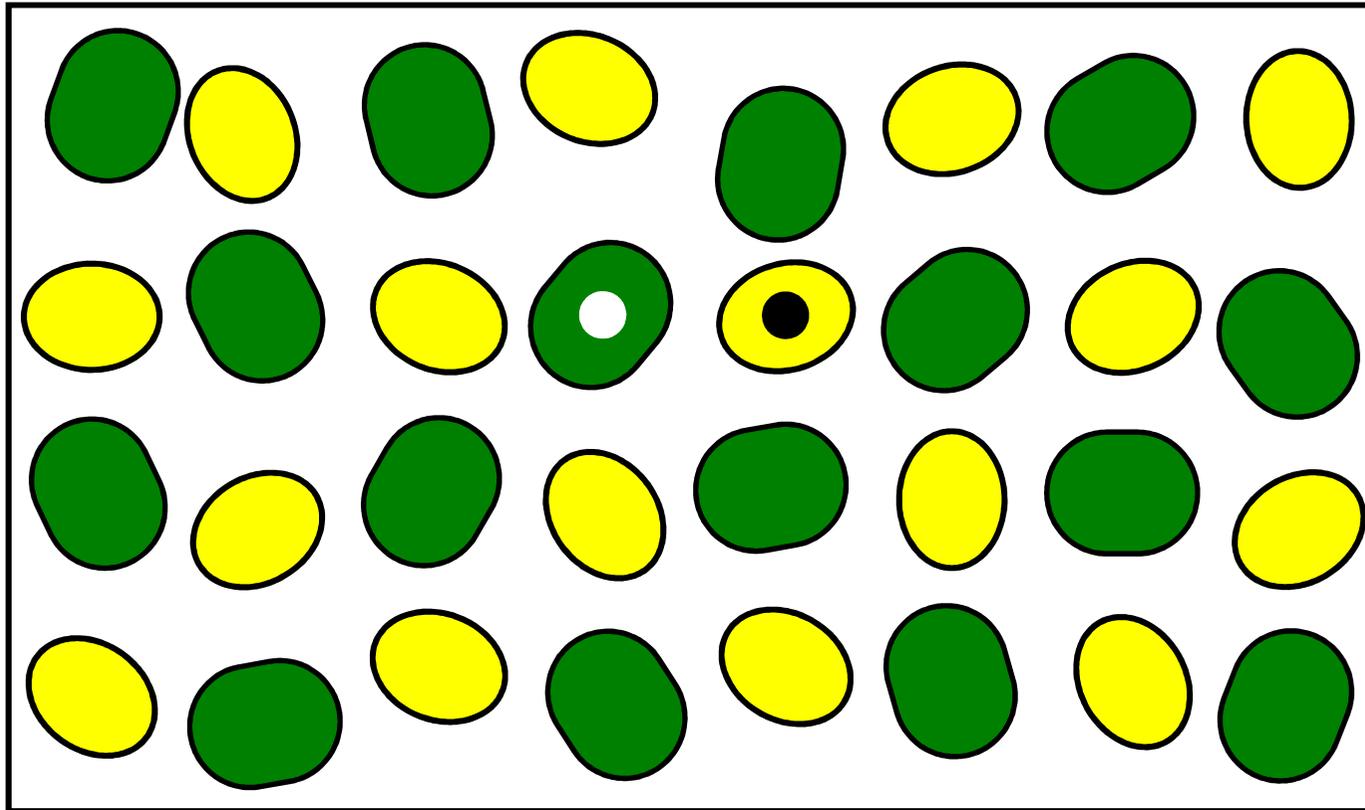
Ionic Liquid: Flüssigkeit, bestehend aus Ionen.

Nahordnung: Für ein einzelnes Ion gilt \longrightarrow
Potenzielle Energie \approx Kinetische Energie.



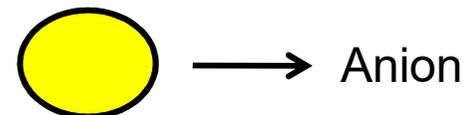
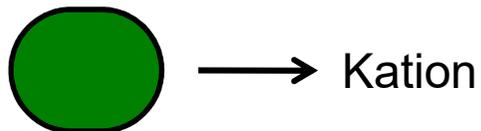
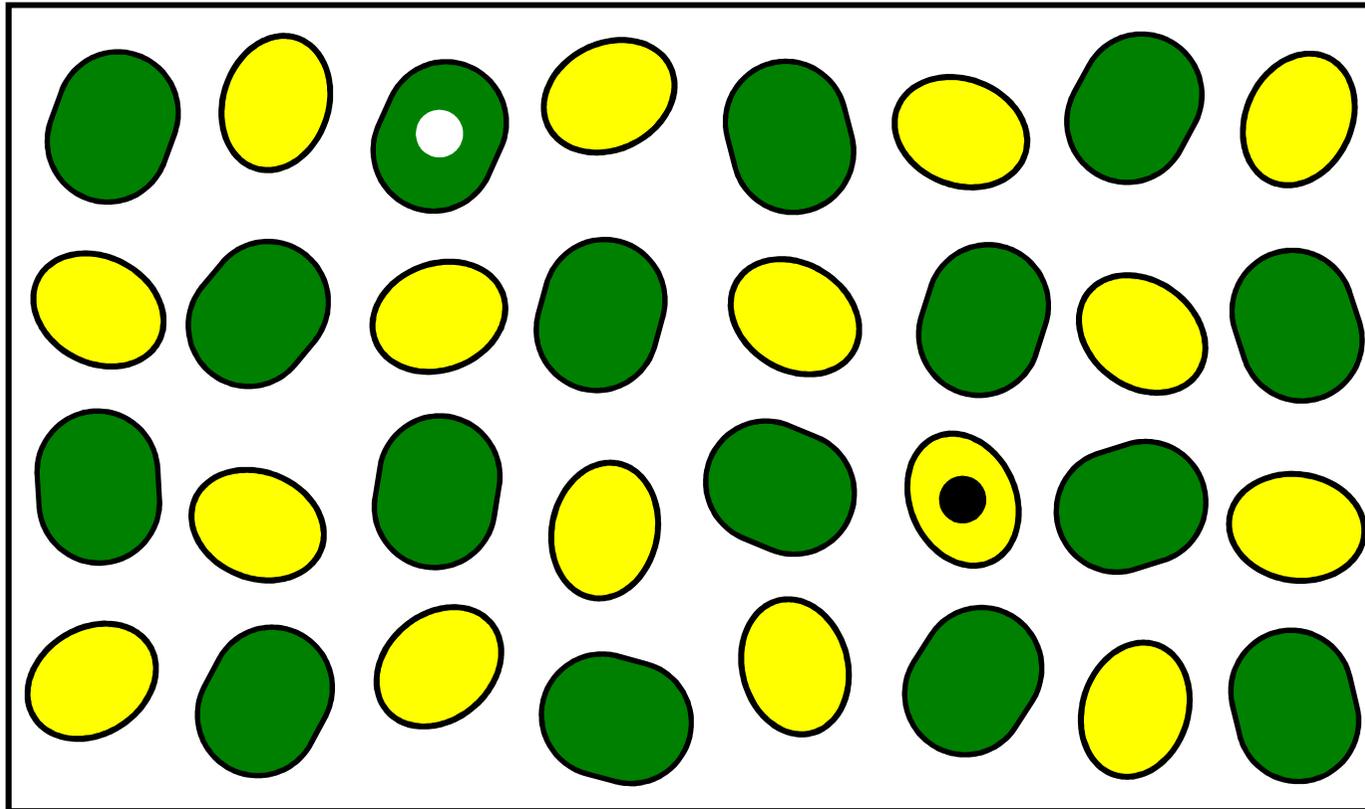
Ionic Liquid: Flüssigkeit, bestehend aus Ionen.

Nahordnung: Für ein einzelnes Ion gilt \longrightarrow
Potenzielle Energie \approx Kinetische Energie.



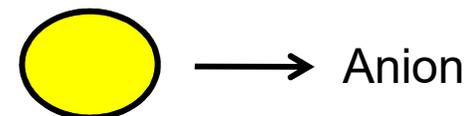
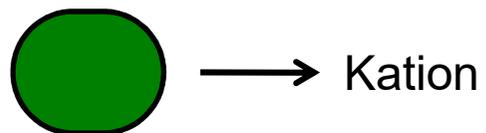
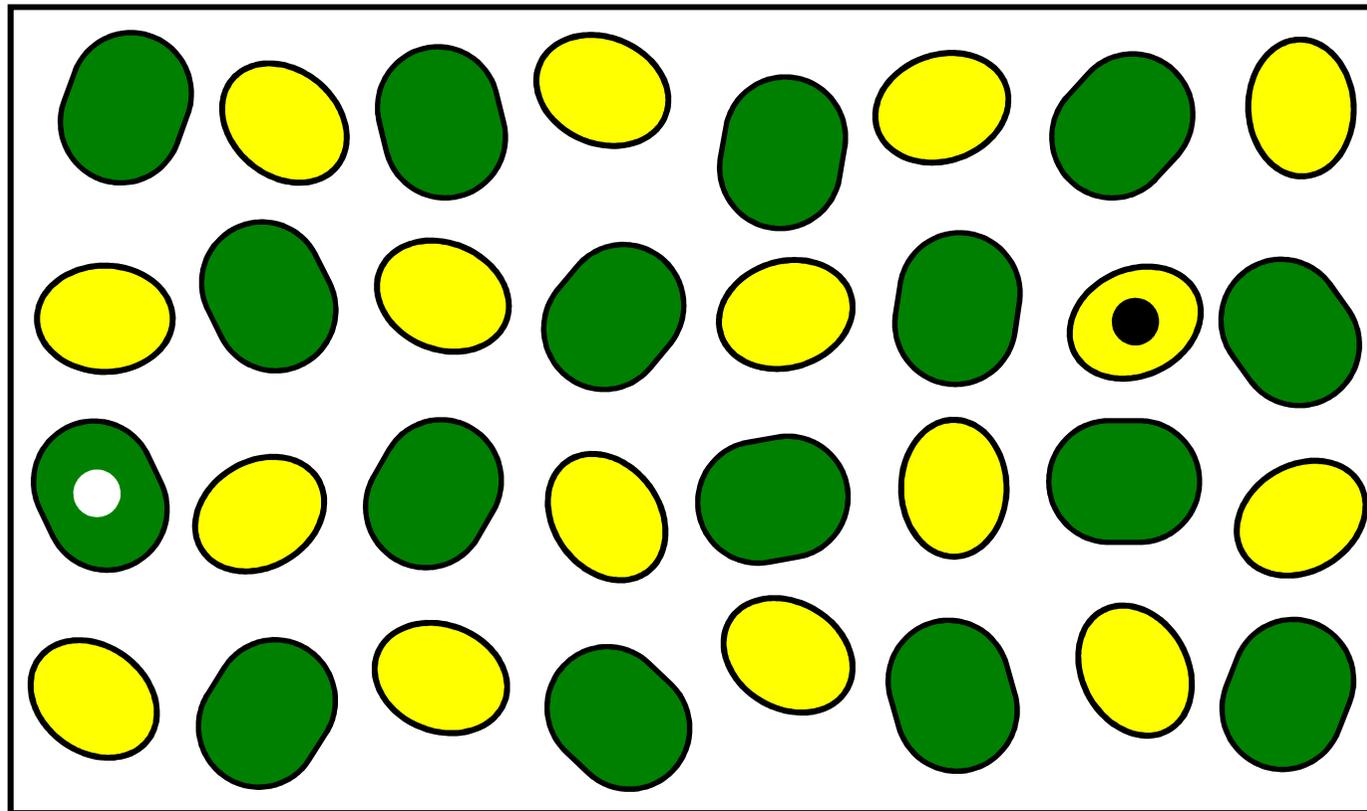
Ionic Liquid: Flüssigkeit, bestehend aus Ionen.

Nahordnung: Für ein einzelnes Ion gilt \longrightarrow
Potenzielle Energie \approx Kinetische Energie.



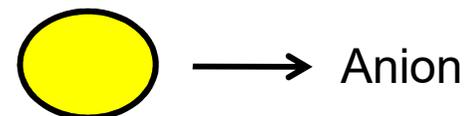
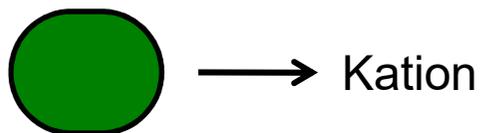
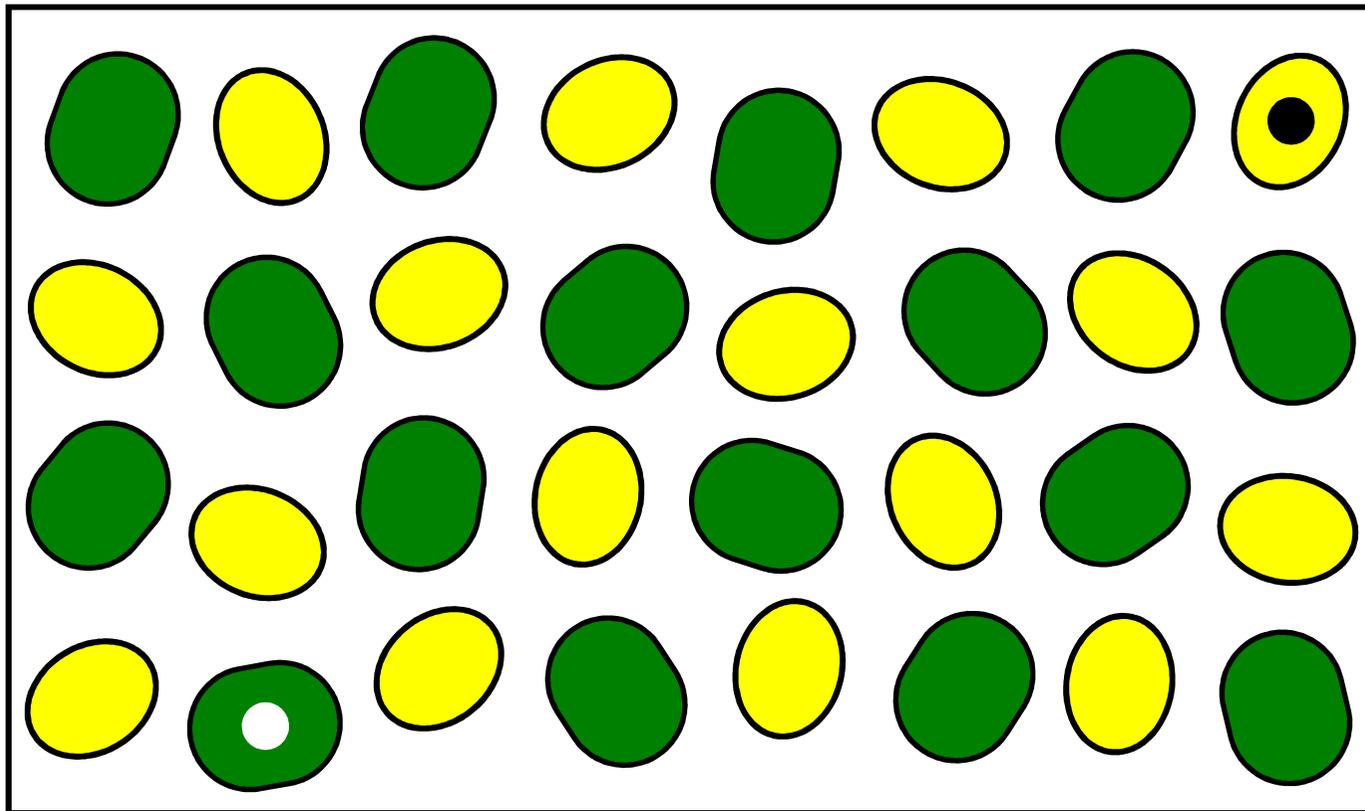
Ionic Liquid: Flüssigkeit, bestehend aus Ionen.

Nahordnung: Für ein einzelnes Ion gilt \longrightarrow
Potenzielle Energie \approx Kinetische Energie.



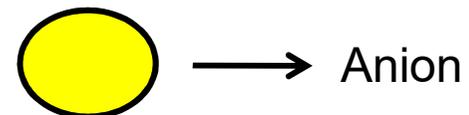
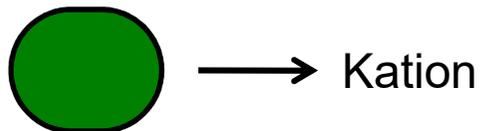
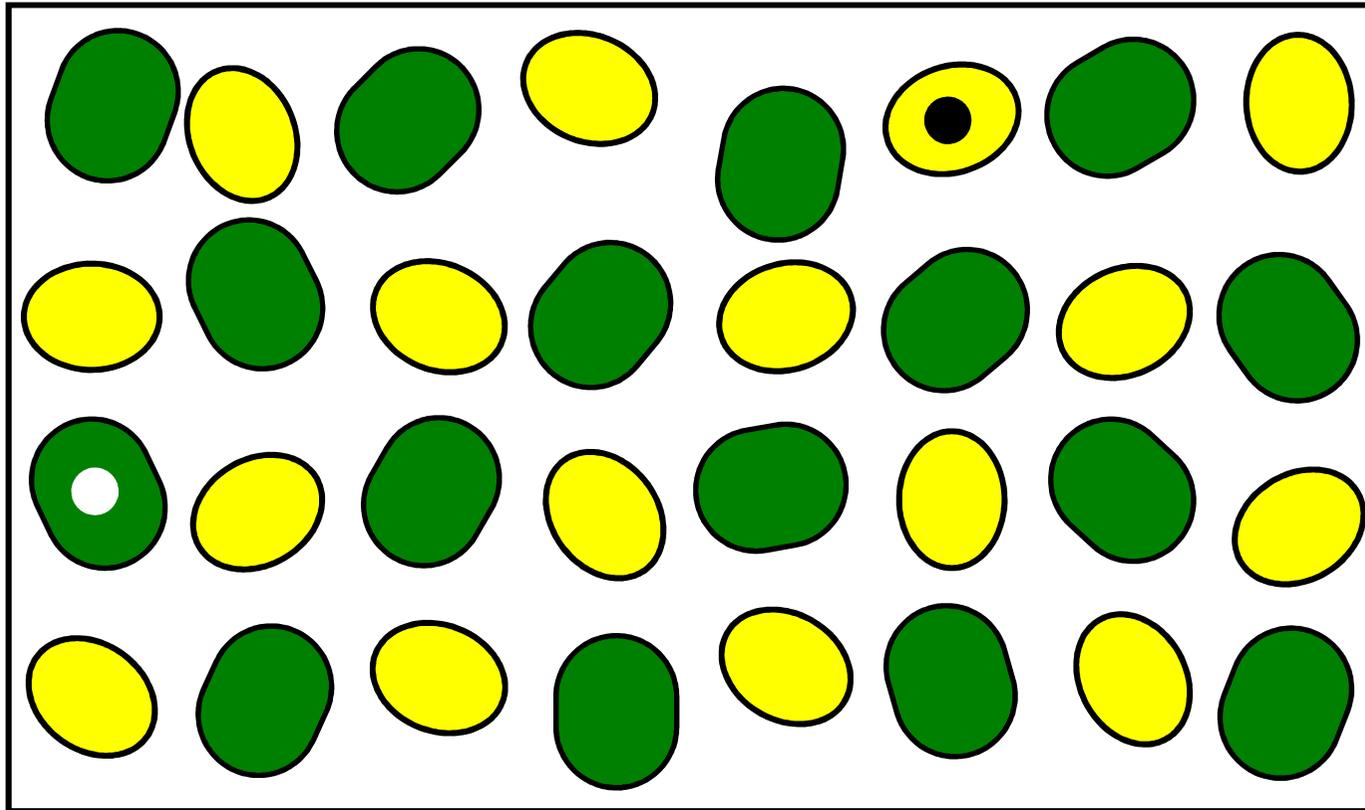
Ionic Liquid: Flüssigkeit, bestehend aus Ionen.

Nahordnung: Für ein einzelnes Ion gilt \longrightarrow
Potenzielle Energie \approx Kinetische Energie.



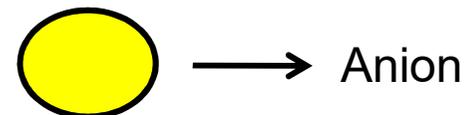
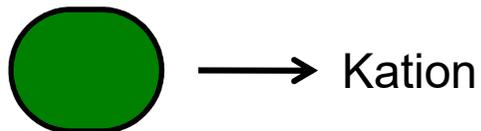
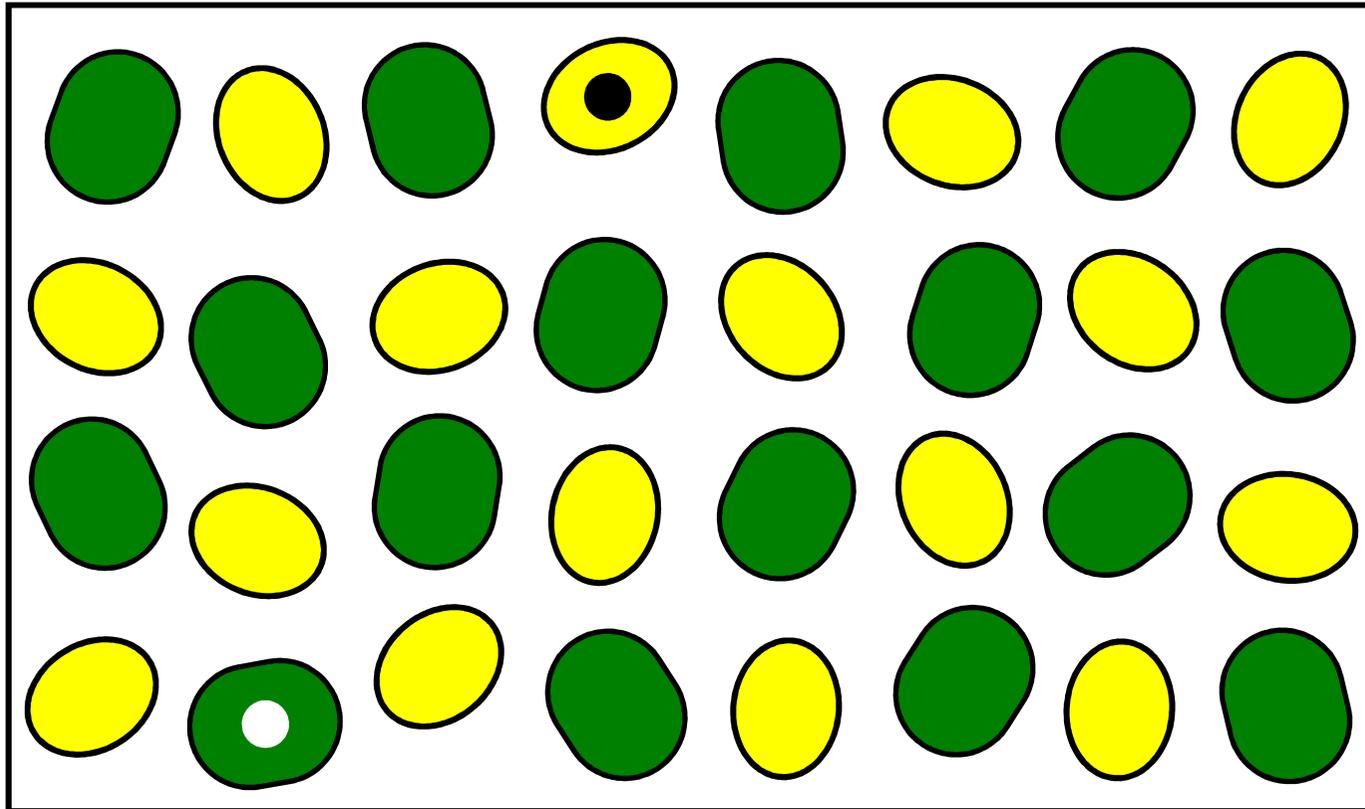
Ionic Liquid: Flüssigkeit, bestehend aus Ionen.

Nahordnung: Für ein einzelnes Ion gilt \longrightarrow
Potenzielle Energie \approx Kinetische Energie.



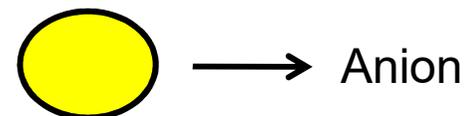
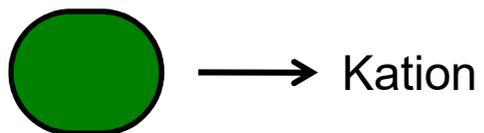
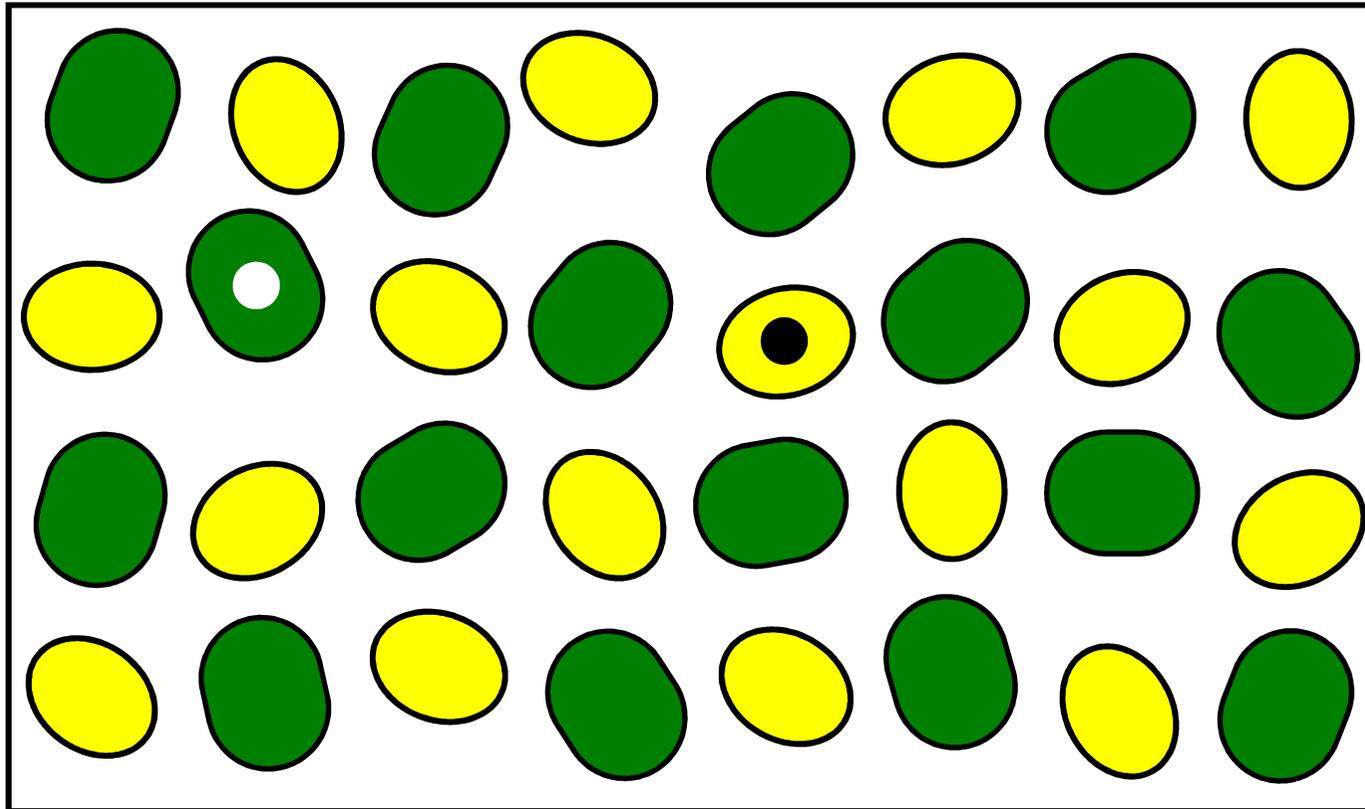
Ionic Liquid: Flüssigkeit, bestehend aus Ionen.

Nahordnung: Für ein einzelnes Ion gilt \longrightarrow
Potenzielle Energie \approx Kinetische Energie.



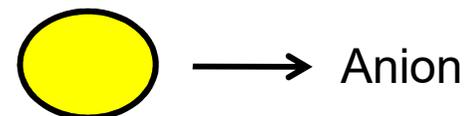
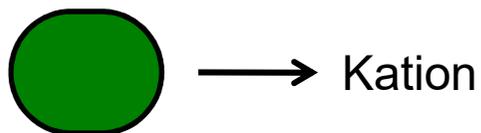
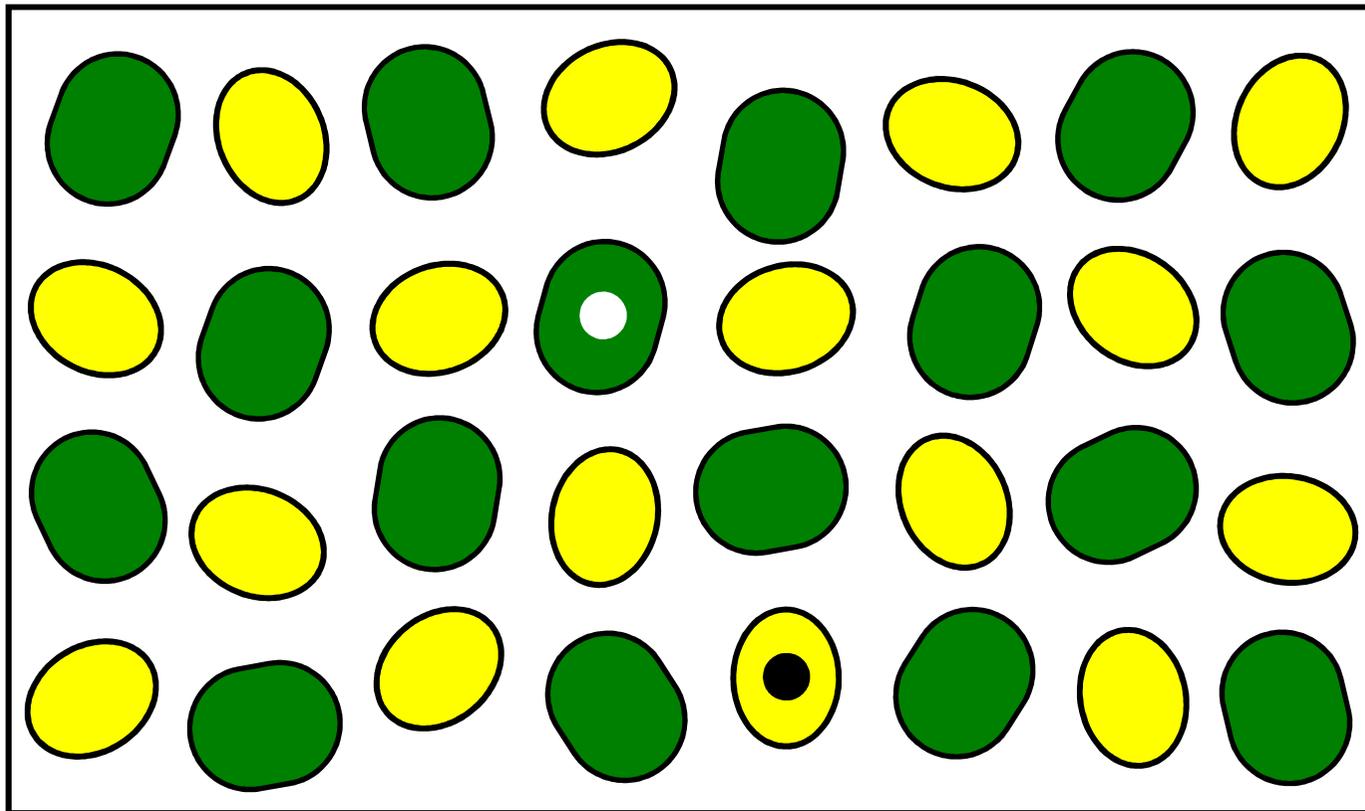
Ionic Liquid: Flüssigkeit, bestehend aus Ionen.

Nahordnung: Für ein einzelnes Ion gilt \longrightarrow
Potenzielle Energie \approx Kinetische Energie.



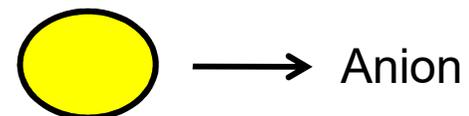
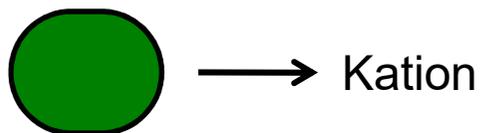
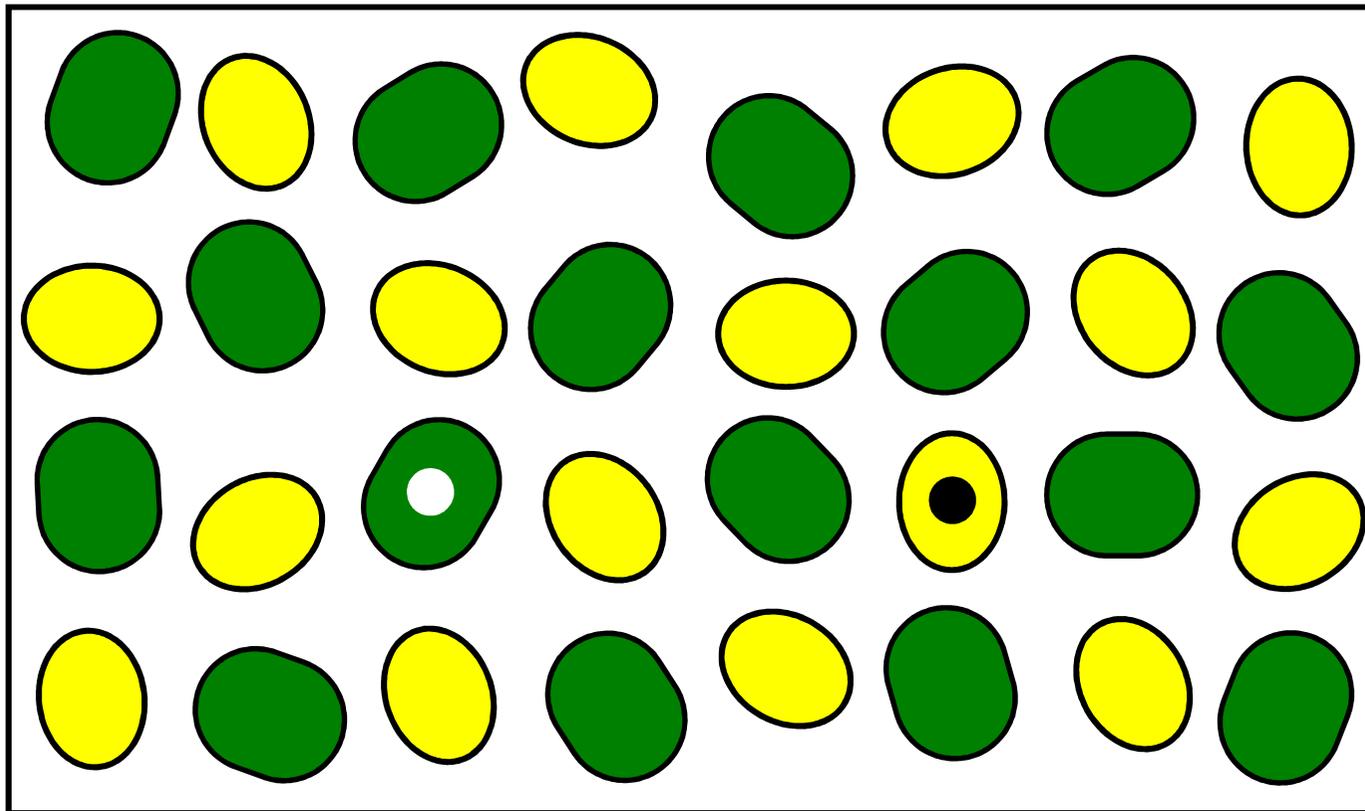
Ionic Liquid: Flüssigkeit, bestehend aus Ionen.

Nahordnung: Für ein einzelnes Ion gilt \longrightarrow
Potenzielle Energie \approx Kinetische Energie.



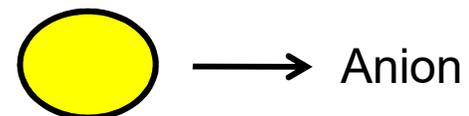
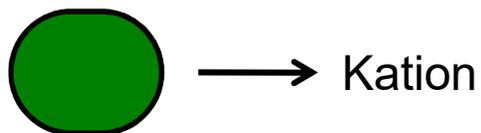
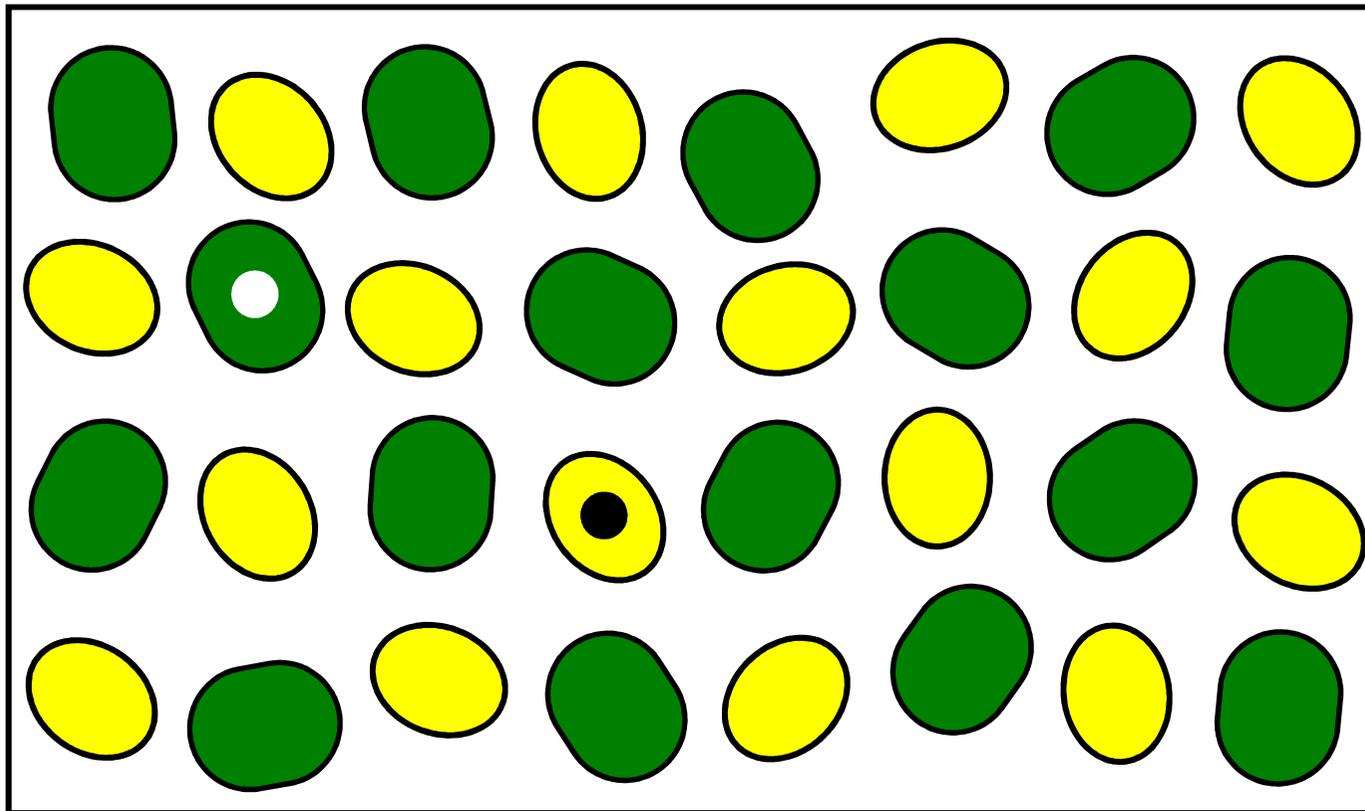
Ionic Liquid: Flüssigkeit, bestehend aus Ionen.

Nahordnung: Für ein einzelnes Ion gilt \longrightarrow
Potenzielle Energie \approx Kinetische Energie.



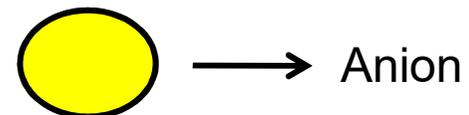
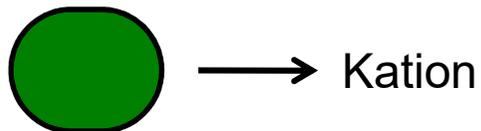
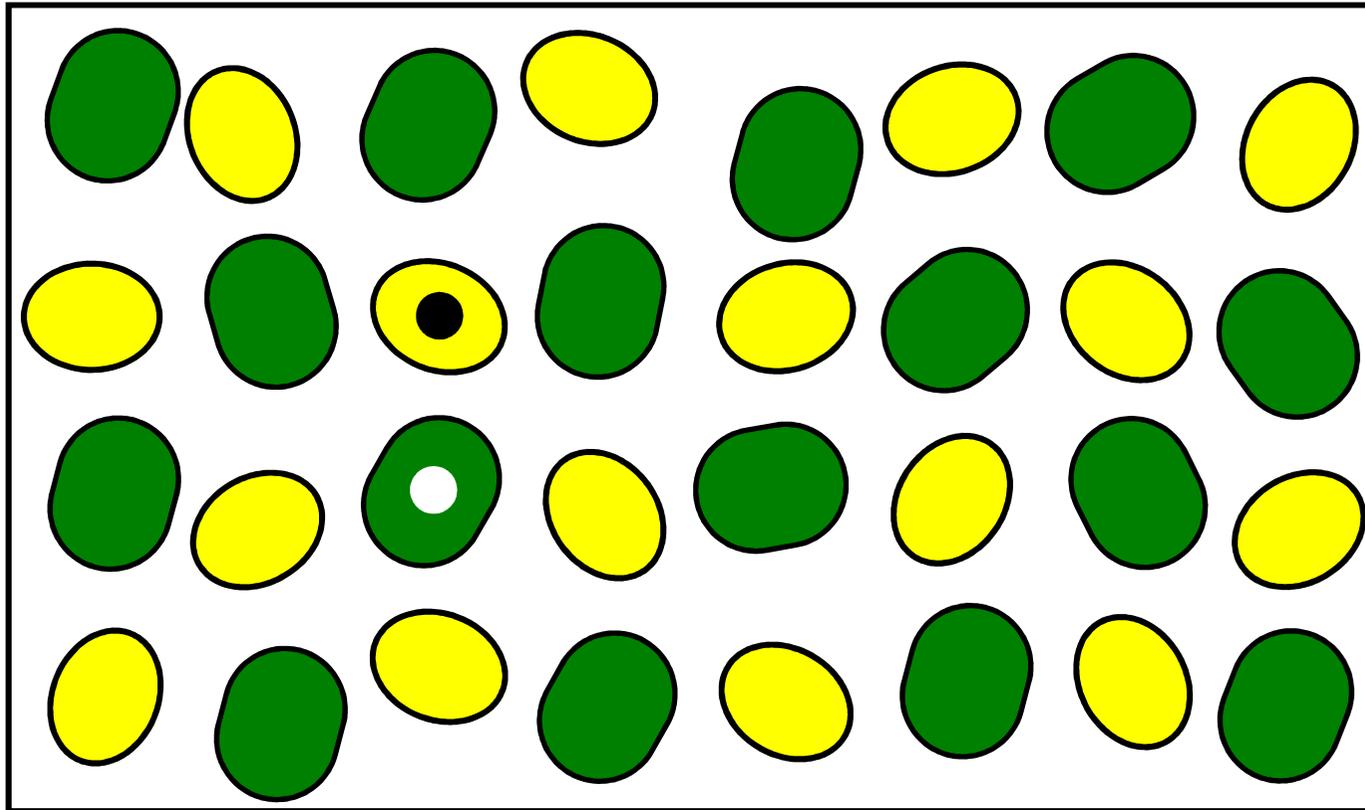
Ionic Liquid: Flüssigkeit, bestehend aus Ionen.

Nahordnung: Für ein einzelnes Ion gilt \longrightarrow
Potenzielle Energie \approx Kinetische Energie.



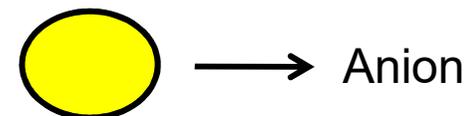
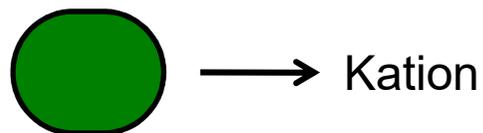
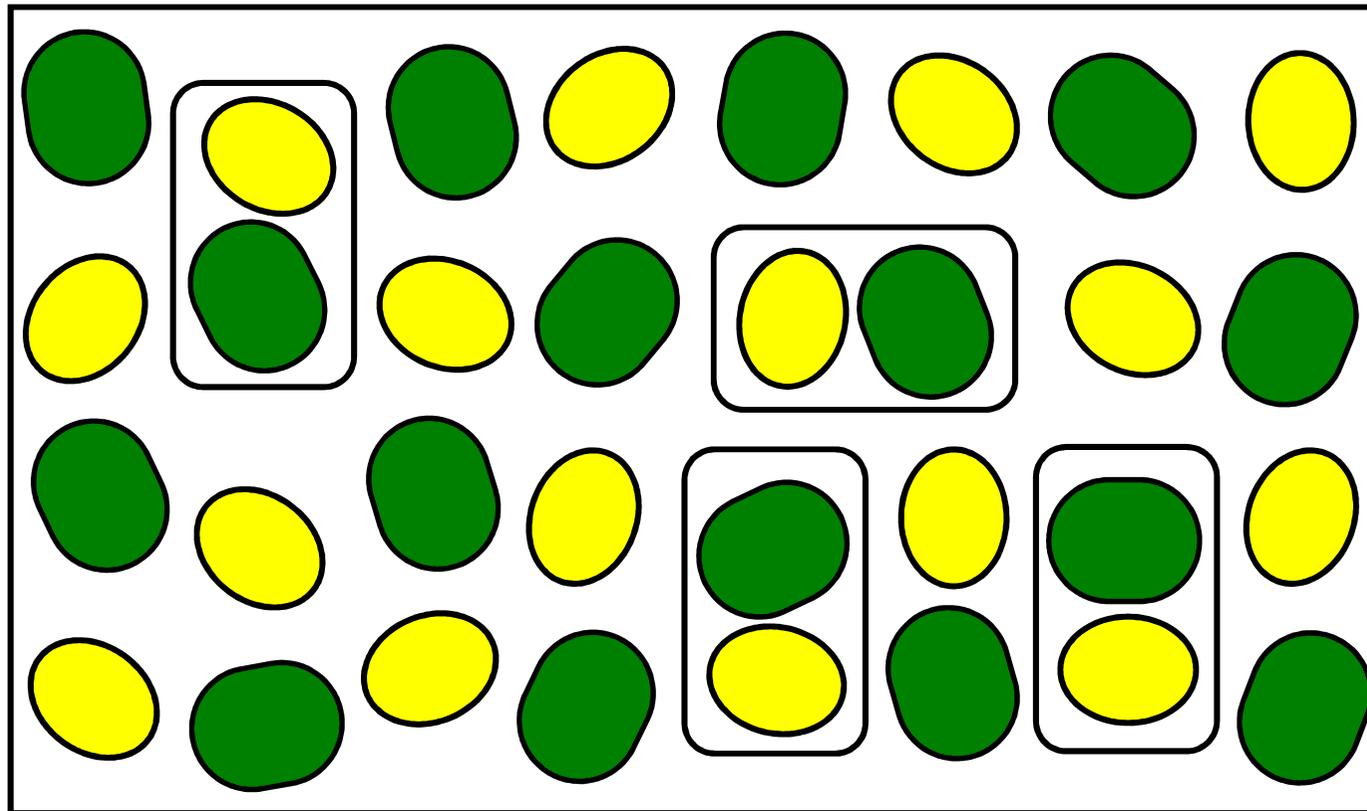
Ionic Liquid: Flüssigkeit, bestehend aus Ionen.

Nahordnung: Für ein einzelnes Ion gilt \longrightarrow
Potenzielle Energie \approx Kinetische Energie.



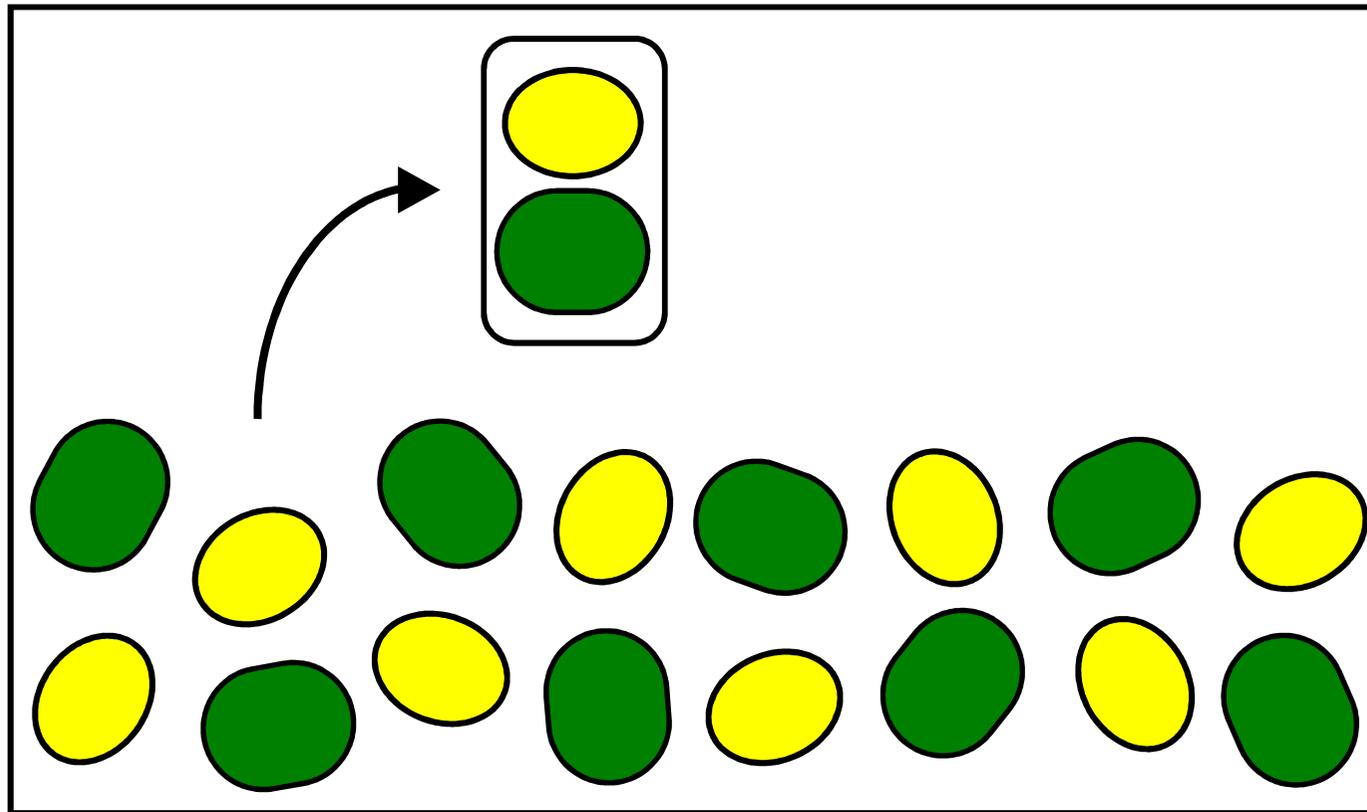
Ionic Liquid: Flüssigkeit, bestehend aus Ionen.

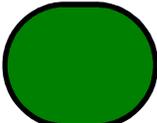
Nahordnung: Fluktuierende Bildung von Ionenpaaren
Nachweis durch H-NMR- und FT-IR-Spektroskopie.

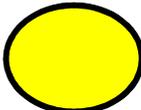


Ionic Liquid: Flüssigkeit, bestehend aus Ionen.

**Bildung eines „Ionenpaar-Gases“ im Ultra-Hochvakuum;
Nachweis per Elektrospray-MS (Armstrong 2007).**



 → Kation

 → Anion

Neue "Ionic Liquids" als flammfeste Elektrolyte in Li-Zellen

Ionic Liquids: Die Geschichte ihrer Entdeckung.

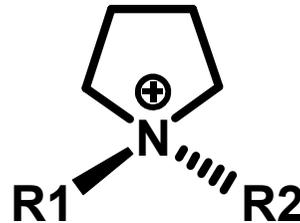
<p>CH₃CH₂-N⁺(H)₃ NO₃⁻</p>	<p>Paul Walden 1914 Fp.: 13-14°C</p>
<p>AlCl_4^-</p>	<p>Robert A. Osteryoung 1978 Elektrolyt für Metallabscheidungen („Plattierungen“).</p>
<p>AlCl_4^-</p>	<p>Kenneth R. Seddon 1983 Lösemittel für chemische Reaktionen.</p>
<p>BF_4^-</p>	<p>John.S. Wilkes, Michael J. Zaworotko 1992 Hydrolysestabile Ionic Liquids.</p>

Neue "Ionic Liquids" als flammfeste Elektrolyte in Li-Zellen

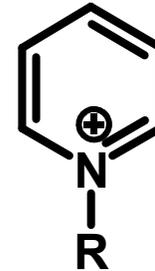
Ionic Liquids: Typische organische Kationen.



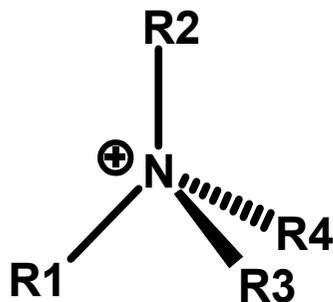
1-Alkyl-3-methyl-imidazolium



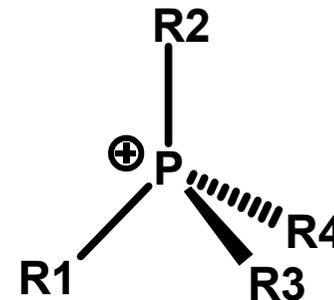
N,N-Dialkylpyrrolidinium



Alkylpyridinium



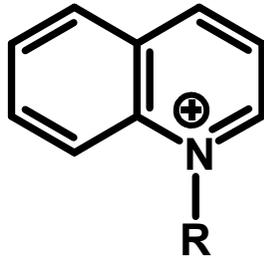
Tetraalkylammonium



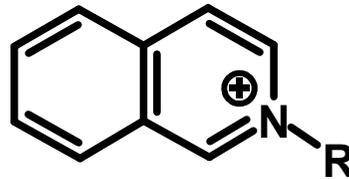
Tetraalkylphosphonium

Neue "Ionic Liquids" als flammfeste Elektrolyte in Li-Zellen

Ionic Liquids: Typische organische Kationen.



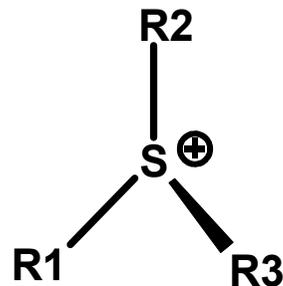
1-Alkyl-chinolinium



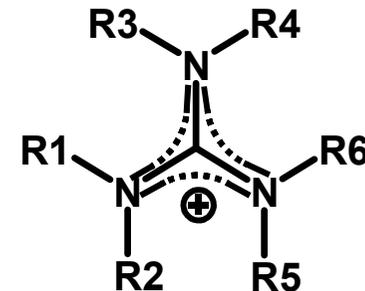
1-Alkyl-isochinolinium



1-Alkyl-thiazolium



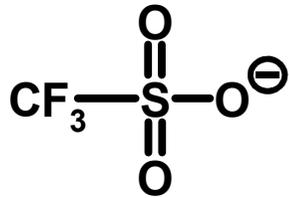
Trialkylsulfonium



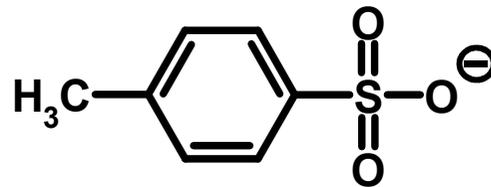
Hexaalkylguanidinium

Neue "Ionic Liquids" als flammfeste Elektrolyte in Li-Zellen

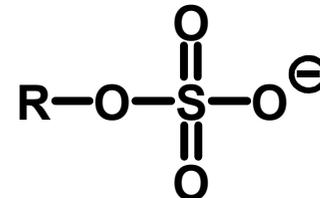
Ionic Liquids: Typische organische Anionen.



Trifluormethylsulfonat



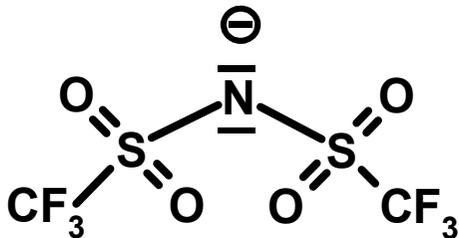
Tosylat



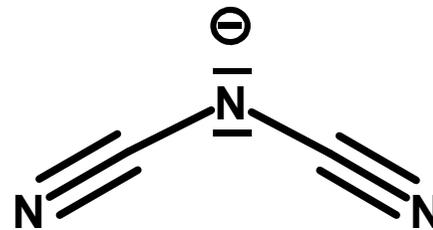
Alkylsulfat



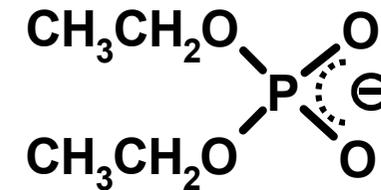
Acetat



Bis(Trifluormethylsulfonyl)amid



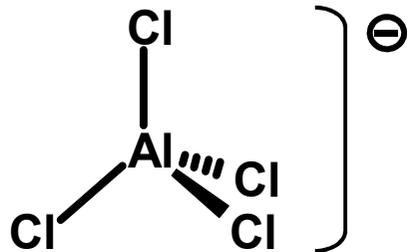
Dicyanamid



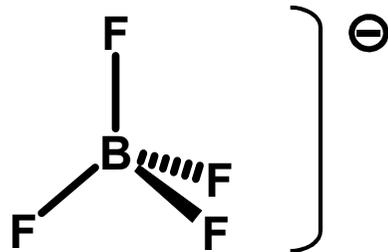
Dialkylphosphat

Neue "Ionic Liquids" als flammfeste Elektrolyte in Li-Zellen

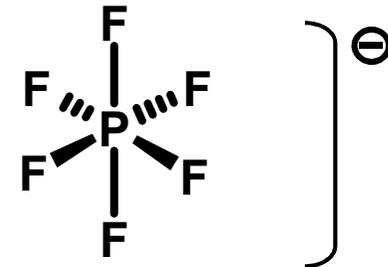
Ionic Liquids: Typische anorganische Anionen.



Tetrachloraluminat



Tetrafluorborat



Hexafluorophosphat



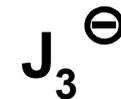
Chlorid



Bromid



Jodid



Trijodid



Nitrat



Nitrit



Thiocyanat



Hydrogen-
sulfat



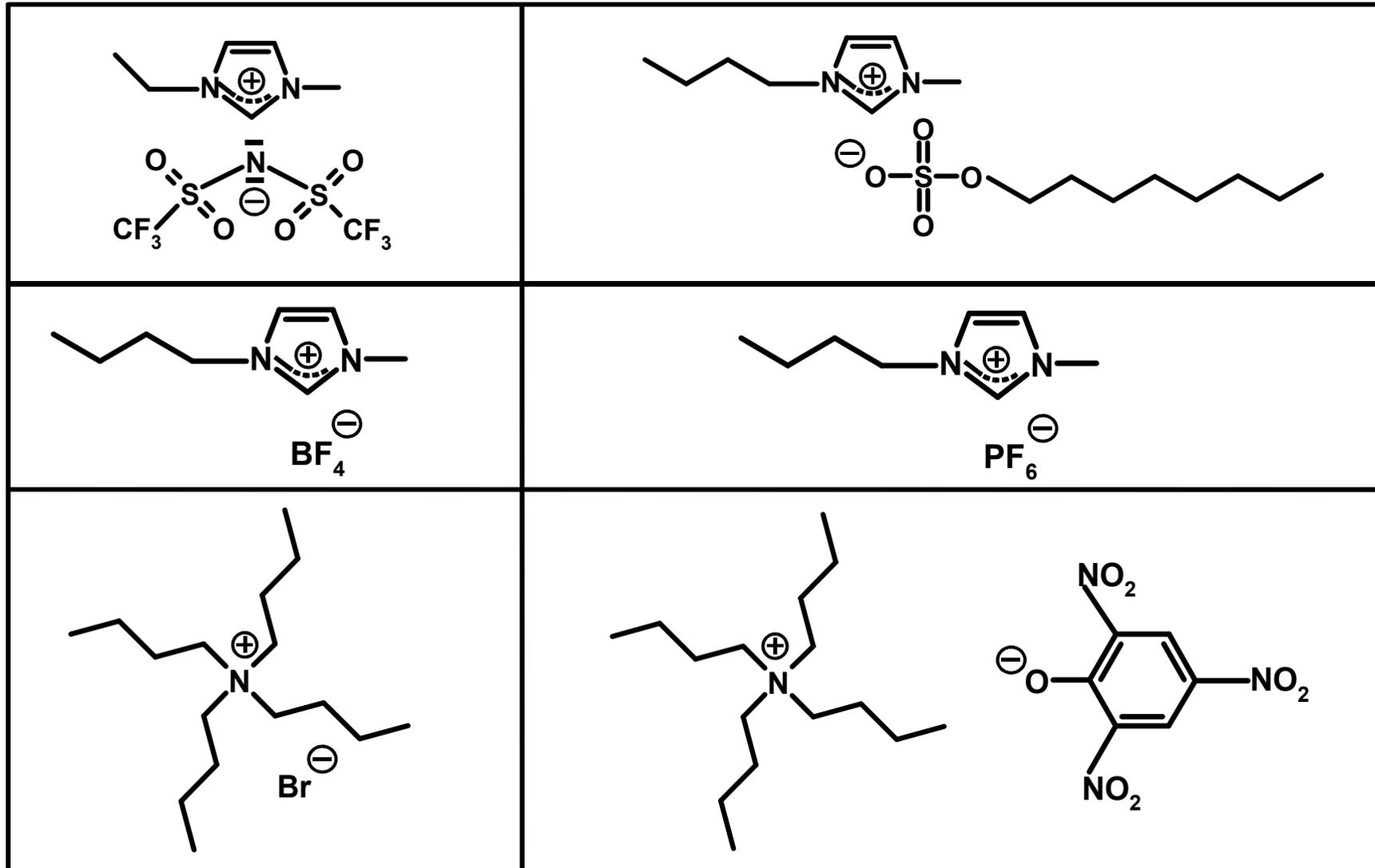
Hexafluor-
antimonat



Hexafluor-
tantalat

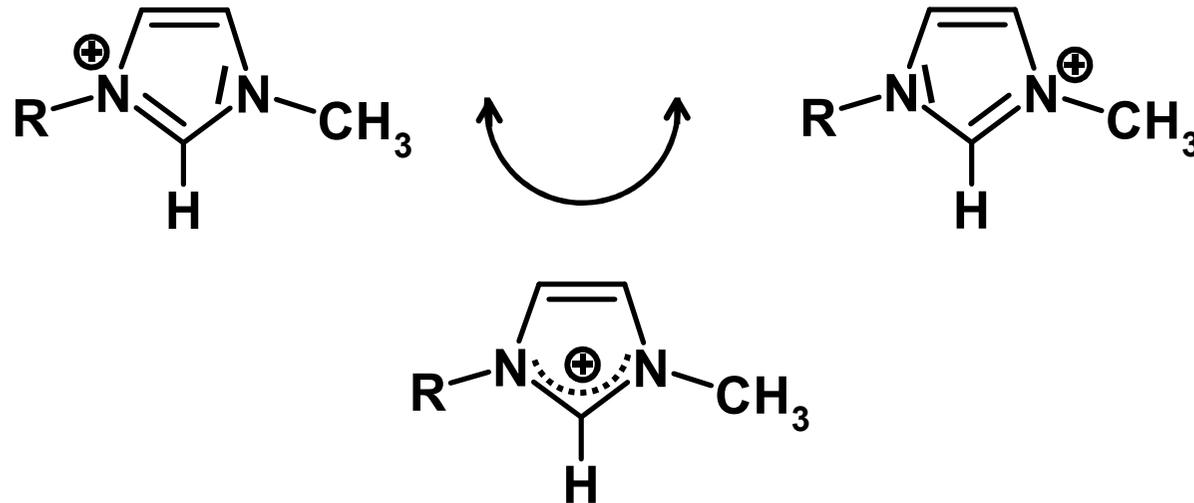
Neue "Ionic Liquids" als flammfeste Elektrolyte in Li-Zellen

Einige Strukturbeispiele mit unterschiedlicher Lipophilie.



Neue "Ionic Liquids" als flammfeste Elektrolyte in Li-Zellen

**N-Methyl-N-alkyl-imidazolium-Kation:
Delokalisierte „3-Zentren-4-Elektronen-Konfiguration“.**



Kationisches 3-Zentren-4-Elektronen-System

Neue "Ionic Liquids" als flammfeste Elektrolyte in Li-Zellen

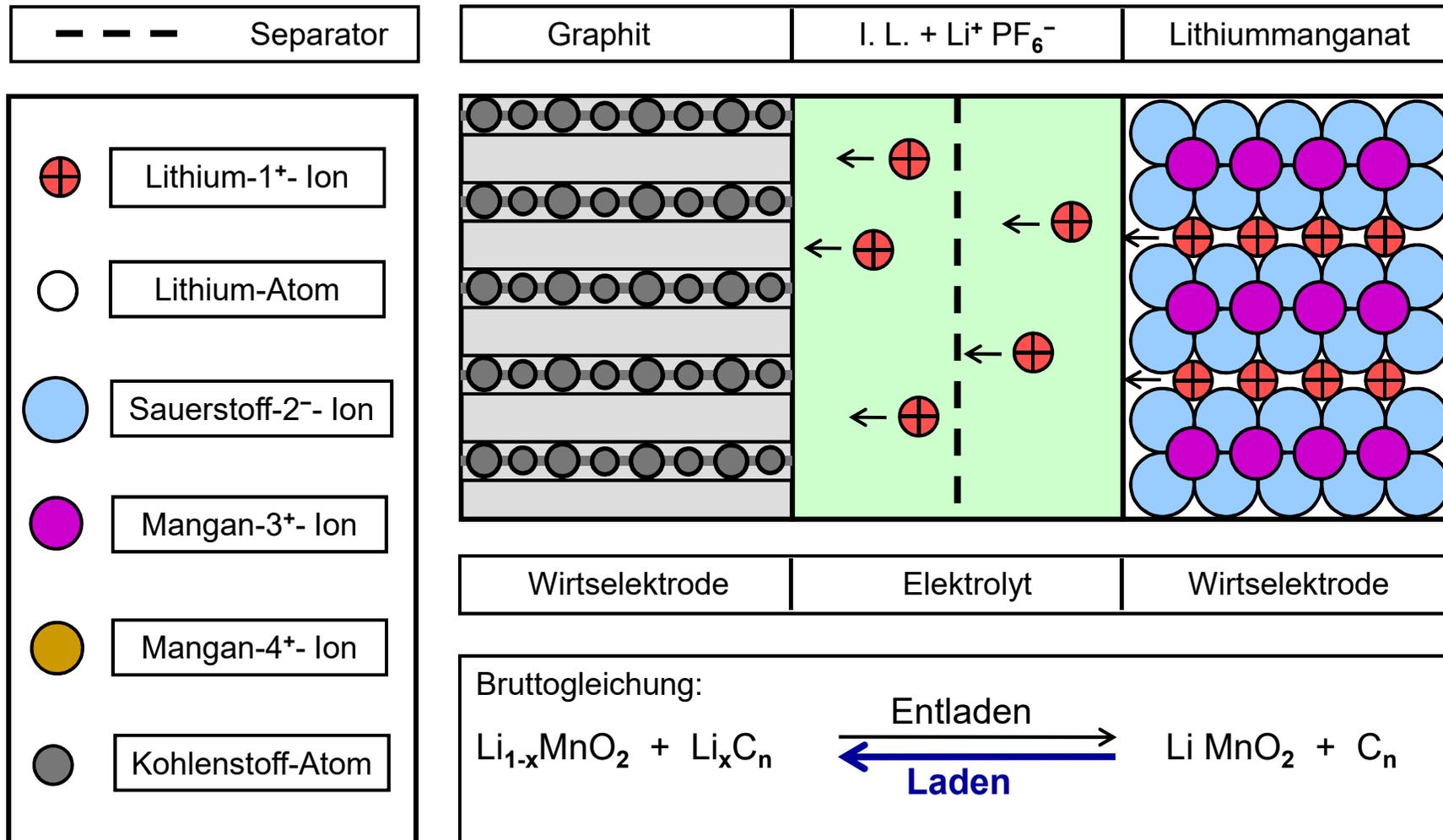
I. L. : Zahlen zur stofflichen Diversität (Schätzungen).

Anzahl theoretisch möglicher I.L.	10^{16}
Anzahl chemisch-synthetisch zugänglicher I.L.	$10^{10} - 10^{11}$
Anzahl technisch potenziell interessanter I.L.	$10^4 - 10^5$
Anzahl der bis 2020 in der Literatur beschriebenen I.L.	>5.000
Anzahl der im Labormaßstab in 2015 verfügbaren I.L.	≈ 800
Anzahl der industriell verfügbaren I.L.	≈ 50
Anzahl der für kommerziellen Gebrauch hinreichend charakterisierten I.L.	≈ 10

Die physikalischen und chemischen Eigenschaften der I.L.s lassen sich über Struktur und Ladung der beiden Ionen gezielt steuern!

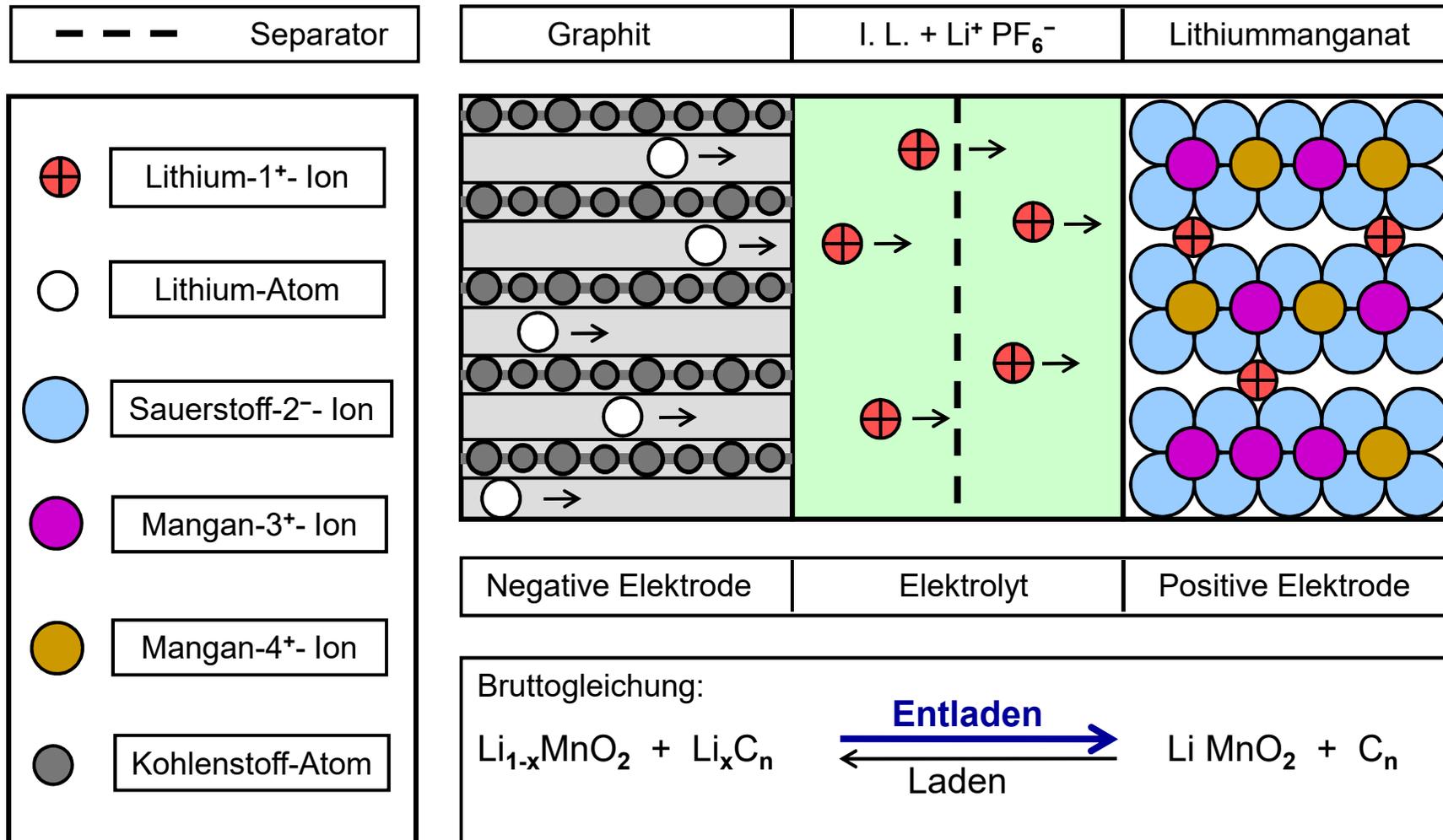
Neue "Ionic Liquids" als flammfeste Elektrolyte in Li-Zellen

Li-Ionen-Zelle (LiMnO₂), Start des Aufladungsvorgangs.



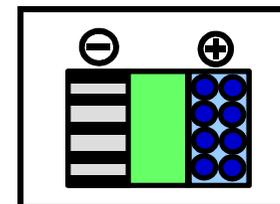
Neue "Ionic Liquids" als flammfeste Elektrolyte in Li-Zellen

Li-Ionen-Zelle (LiMnO₂), Start des Entladungsvorgangs.



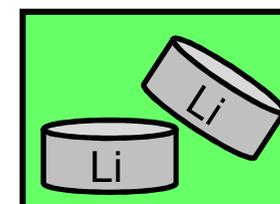
Ihr Innovationsziel:

Neue "Ionic Liquids" (I.L.) als flammbeständige Elektrolyt-Flüssigkeiten in Lithium-Ionen-Zellen.



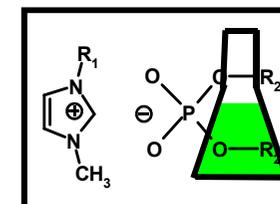
Bedarf/Nachfrage:

Nichtbrennbare und schwer flüchtige Elektrolyt-Flüssigkeiten in Lithium-Hochleistungszellen.



Chemischer Lösungsansatz:

Neue ionische Flüssigkeiten auf Basis von 1-Methyl-3-alkyl-imidazolium-organophosphaten.



Die Akteure: Jungchemiker/Innen in transdisziplinären Projektteams.



Fallstudienaufgabe zum FuE-Projektmanagement

Aufgabenstellung, Teil 1

Planen Sie für Ihr Innovationsvorhaben „Neue Ionic Liquids (I. L.) als flammfeste Elektrolyte in Lithium-Ionen-Zellen“ in gemeinsamer Teamarbeit ein plausibles FuE-Projekt!



- Rahmenbedingung: Das zu planende FuE-Projekt soll für Ihr Unternehmen [„... GmbH 4“] von strategischer Bedeutung sein!
- Definieren sie ein aus Ihrer Sicht plausibles Zielsystem für Ihr FuE-Vorhaben: Chemisch-technische, wirtschaftliche und zeitliche Ziele unter Beachtung der jeweiligen Marktentwicklung → (Benutzen Sie dazu Daten und Fakten aus den Profilboxen, sowie passende Angaben aus den „Umfeld-Informationen“)!
- Annahme: Wenn alle physikalisch-technischen und chemischen Idealwerte für Ihre Zellen-tauglichen Ionic Liquids innerhalb von 5 Jahren erreicht werden sollen, so benötigen Sie in Summe ca. 10,0 FTE an verfügbarem AT-Personal und rund 14,0 FTE an verfügbarem TA-Personal.
- Entscheiden Sie sich für eine zweckdienliche Projektorganisation!

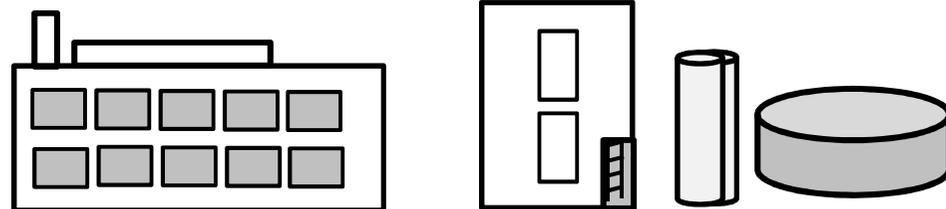
Fallstudienaufgabe zum FuE-Projektmanagement

Aufgabenstellung, Teil 2

Planen Sie für Ihr Innovationsvorhaben „Neue Ionic Liquids (I. L.) als flammfeste Elektrolyte in Lithium-Ionen-Zellen“ in gemeinsamer Teamarbeit ein plausibles FuE-Projekt!



- Bestimmen Sie die zielrelevanten Aufgaben und klassifizieren Sie diese jeweils nach der Anzahl der bei ihrer Lösung beteiligten Fachfunktionen! (Die Darstellung in Form einer Tabelle reicht aus!)
- Führen Sie darauf basierend eine grobe Projektstrukturplanung (Skizze) durch!
- Skizzieren Sie einen einfachen Projektablaufplan nach Henry Gantt (Ein Phasendiagramm soll hier reichen!).
- Erstellen Sie für das Projekt eine aus Ihrer Sicht plausible SWOT Analyse!
- Fertigen Sie zu den Ergebnissen Ihrer Projektplanungen jeweils eine PowerPoint-Präsentation an (Gesamte Vortragszeit: ca. zehn Minuten).
„Ausgewählte“ Teilnehmer der jeweiligen Teams sollen in rund zehn Minuten die Resultate ihrer Gruppenarbeit klar und verständlich erläutern!



Ihr Chemieunternehmen [„...GmbH 4“]

Größe: „KMU“, d.h., relativ kleiner Spezialchemikalien-Betrieb, insgesamt 71 Mitarbeiter, davon 7 Chemiker, 9 Ingenieure (FH), 8 Ingenieure (TU), die aktuell mit diversen Linienaufgaben und Projektstätigkeiten betraut sind.

Aktivitäten: Eigene Forschung und Entwicklung, eigene Produktion. Seit 6 Jahren mit der Forschung und Entwicklung, dem Up-Scaling und in der Lohnfertigung aktiv auf dem Gebiet neuer "Ionic Liquids". Weltweite Vertriebstätigkeiten für diese Produkte.

Chemische Spezialität: Substituierte Imidazol-Organica.

Marktbedarf/Nachfrage: Nichtbrennbare, schwer flüchtige und analytisch reine Elektrolyt-Flüssigkeiten für Lithium-Hochleistungszellen.

Neue "Ionic Liquids" als flammfeste Elektrolyte in Li-Zellen

Profil-Box zur Auswahl Ihrer Zieldefinitionen:

→ **Physikalisch-Technische Daten**

Physikalisch-technische Anforderungen für Lithium-Ionen-Zellen	Mindestforderung Idealwerte (Referenz)
Nennspannung	3,3 V 4,0 V
Zahl der Ladezyklen binnen 5 Jahren bei gleichzeitigem Erhalt der Speicherkapazität von 80%	5.000 12.000
Temperaturbereich für eine zweckmäßige Lagerung und den funktionierenden Gebrauch	-35°C bis +60°C -45°C bis +80°C
Gravimetrische Energiedichte	150 Wh/kg 380 Wh/kg
Leistungsdichte	1.000 W/kg 1.600 W/kg
Energieeffizienz	90% 98%

Neue "Ionic Liquids" als flammfeste Elektrolyte in Li-Zellen

Profil-Box zur Auswahl Ihrer Zieldefinitionen:

→ **Physikalisch-Chemische Daten**

Chemisch-technische Anforderungen für die „Ionic Liquids“ als Elektrolyt-Flüssigkeiten in Lithium-Ionen-Zellen	Mindestforderung Idealwerte (Referenz)
Wassergehalt	< 100 ppm < 015 ppm
Chlorid-Gehalt	< 110 ppm < 050 ppm
Elektrische Leitfähigkeit	05 x 10 ⁻³ S/cm 15 x 10 ⁻³ S/cm
Viskosität bei 25°C	100 m Pa s 025 m Pa s

Neue "Ionic Liquids" als flammfeste Elektrolyte in Li-Zellen

Profil-Box zur Auswahl Ihrer Zieldefinitionen:

→ **Physikalisch-Chemische Daten**

Chemisch-technische Anforderungen für die „Ionic Liquids“ als Elektrolyt-Flüssigkeiten in Lithium-Ionen-Zellen	Mindestforderung Idealwerte (Referenz)
Schmelzpunkte/Schmelzbereiche	- 05 °C - 50 °C
Flammpunkte bzw. thermische Zersetzungstemperaturen	> 250°C > 430°C
Mögliche Leitsalzkonzentrationen	0,6 mol/l 2,0 mol/l
Mischbarkeit mit den üblichen, aprotischen, organischen Lösemitteln bei guter Benetzung beider Elektroden, sowie dem Separator	8:2-Mischung 1:1-Mischung

Neue "Ionic Liquids" als flammfeste Elektrolyte in Li-Zellen

Profil-Box zur Auswahl Ihrer Zieldefinitionen:

→ **Kostensätze für das Personal im Projekt („PEKO“).**

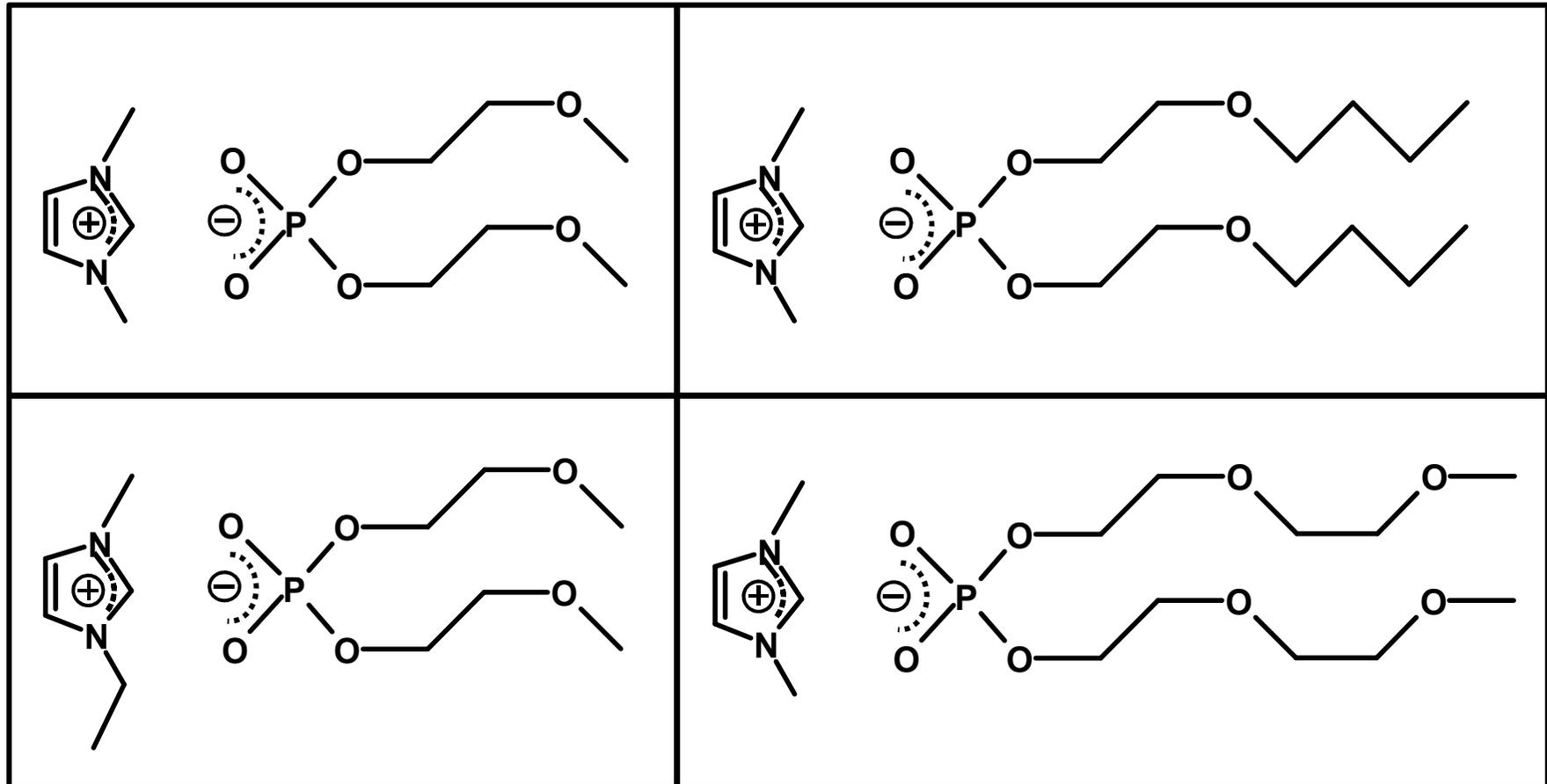
1 FTE	Ein Full Time Equivalent („Ein/e Mitarbeiter/in, ein Jahr“)
Kosten	AT: ca. 240.000€ pro Jahr
Kosten	TA: ca. 160.000€ pro Jahr

AT	Außertarifliche Angestellte, Führungskräfte
	Chemiker, Ingenieure, Physiker, akademisch ausgebildete Betriebswirte, Kaufleute, etc., sowie hochqualifizierte und langjährig erfahrene Mitarbeiter (m/w/d) in der eigenen Firma
TA	Tarifangestellte
	Laboranten, Laborangestellte, Büroangestellte, Facharbeiter und Techniker mit jeweils ca. 40 Wochenstunden Arbeitszeit

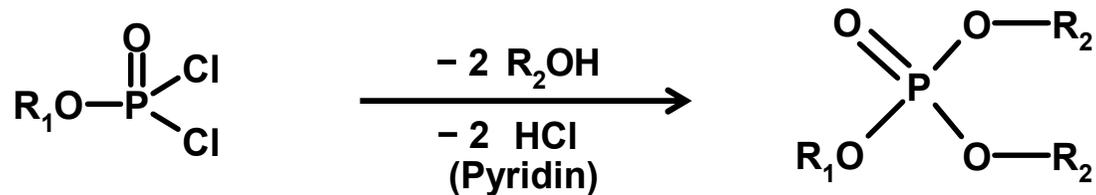
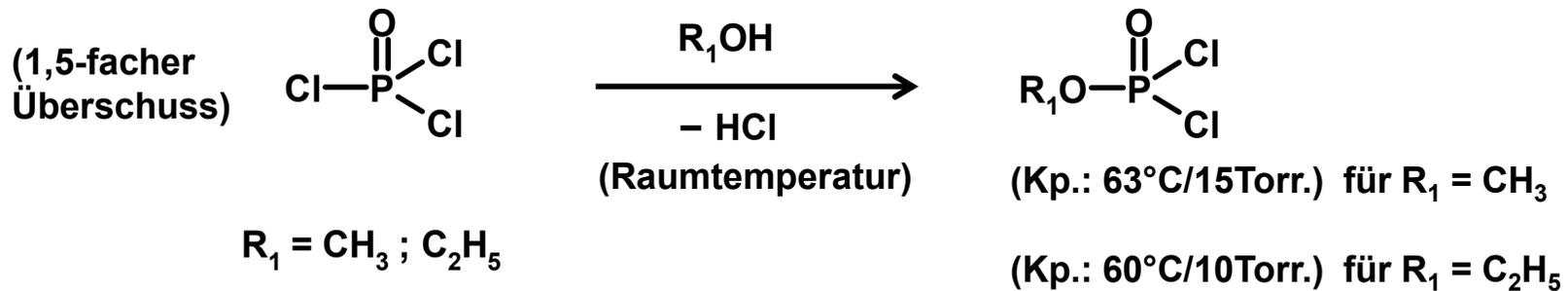
Neue "Ionic Liquids" als flammfeste Elektrolyte in Li-Zellen

Profil-Box für typische chemische Zielstrukturen.

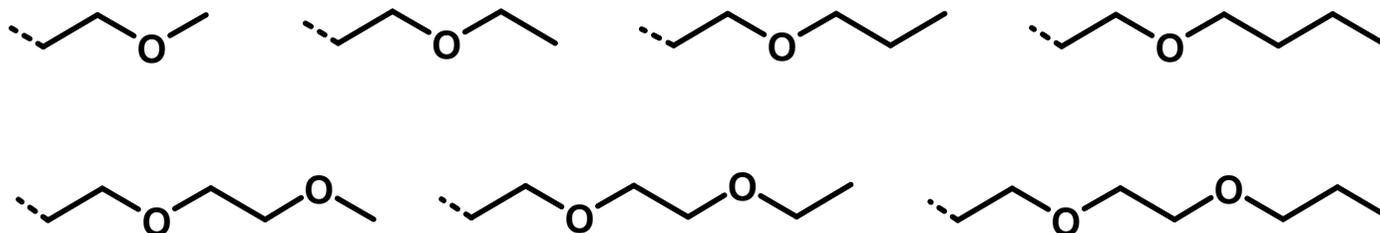
Beispiele für I.L.s, die mit den üblichen Elektrolytflüssigkeiten für Li-Ionenzellen mischbar sein dürften.



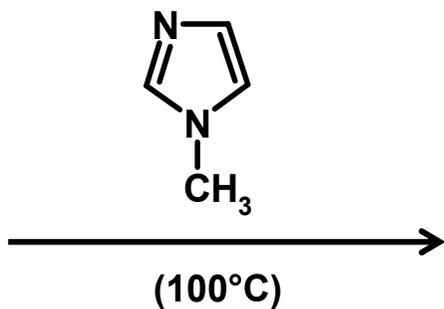
Synthese von 1-Methyl-3-alkyl-imidazolium-O,O-dialkylenoxy-phosphaten ausgehend von POCl₃ (1).



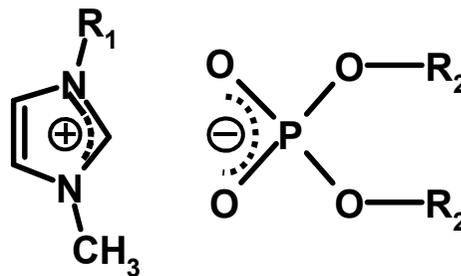
R₂ =



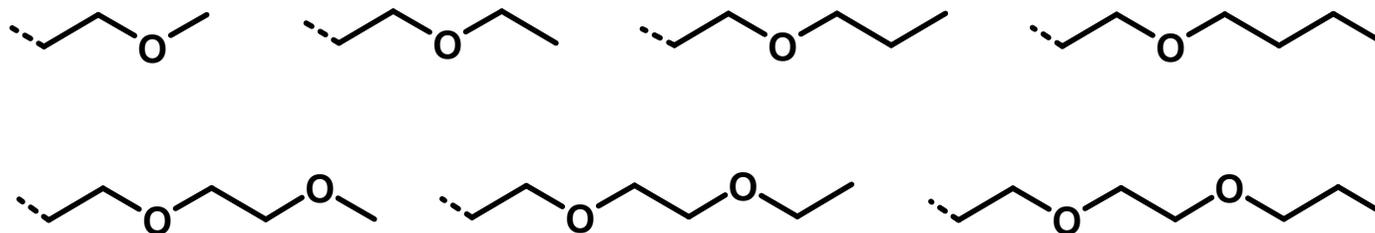
Synthese von 1-Methyl-3-alkyl-imidazolium-O,O-dialkylenoxy-phosphaten ausgehend von POCl_3 (2).



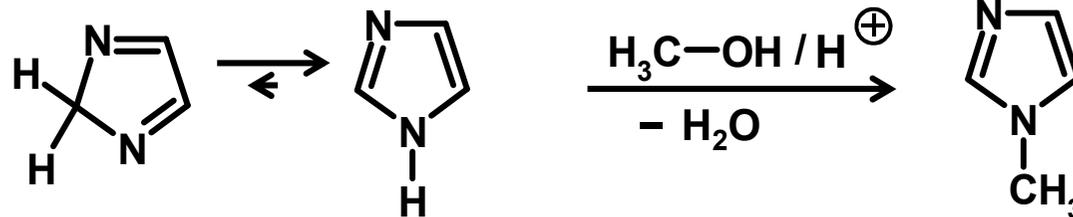
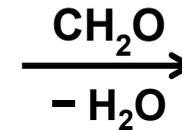
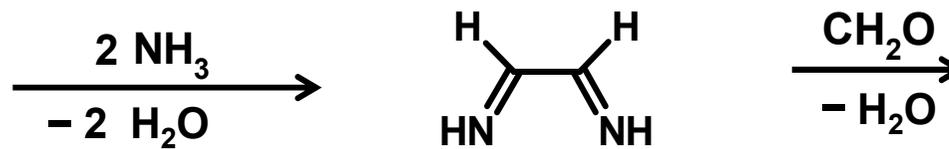
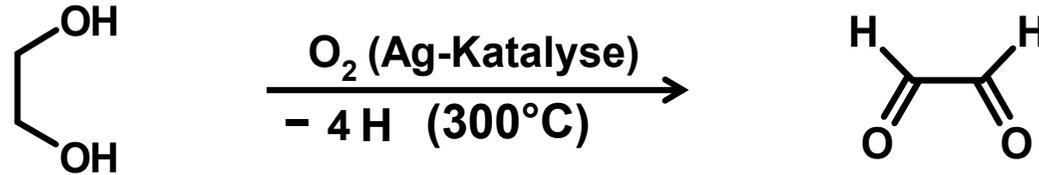
Zielstrukturen



$\text{R}_2 =$



Info-Box: Technische Synthese von N-Methyl-Imidazol.



Neue "Ionic Liquids" als flammfeste Elektrolyte in Li-Zellen

Herstellkosten, „HEKO“, sowie Entwicklungsaufwand (P;Z) anderer Ionic Liquids, grobe Orientierungswerte.

Ionic Liquid (I. L.)	Menge	Herstellkosten (= „HEKO“)	≈ Σ an Personal- und Zeitaufwand
Triethyl-ammonium- hydrogensulfat	1 kg	1 \$	-- --
1-Ethyl-3-methylimidazolium- methylcarbonat	1 kg	45 €	3 AT, 7 TA, 1,5 Jahre
1-Ethyl-3-methylimidazolium- methanesulfonat	1 kg	135 €	4 AT, 8 TA, 1,5 Jahre
1-Ethyl-3-methylimidazolium- acetat	1 kg	170 €	5 AT, 9 TA, 2,5 Jahre
1-Ethyl-3-methylimidazolium- trifluoromethanesulfonat	1kg	215 € (Electronic Grd.)	8 AT, 14 TA, 3,5 Jahre
1-Ethyl-3-methylimidazolium- bis(trifluoromethylsulfonyl)imid	1 kg	500 € (Electronic Grd.)	12 AT, 18 TA, 5 Jahre

Neue "Ionic Liquids" als flammfeste Elektrolyte in Li-Zellen

Angestrebte Absatzmenge der neuen, für Elektro(nik)-Anwendungen tauglichen Ionischen Flüssigkeit in der Zeit unmittelbar nach deren Markteinführung: —→

Geplanter Absatz: —→ **Zirka 16 t (= 16.000 kg) pro Jahr**

Folgende Absatz-Aufteilungen im Markt sind wahrscheinlich:

Absatz-Gebiet	Absatzmenge/Bedarf an Elektrolyt pro „Stück“
STATIONÄRE BATTERIESPEICHER	5,0 kg
ELEKTROAUTOS	1,0 kg
E-BIKES, PEDELECS	0,005 kg

Neue "Ionic Liquids" als flammfeste Elektrolyte in Li-Zellen

Weitere Umfeld-Informationen für Ihre Projektplanung.

Märkte für Lithium-Ionen-Zellen (2010/2020)	Umsatz in Mrd. EURO
Mobile Anwendung: ELEKTROAUTOS inklusive Plug-in-Hybride (Traktion)	1,2 (2010) 4,0 (2020)
Mobile Anwendung, Zweiräder: PEDELECS, E-BIKES, E-Roller , etc. (Freizeit)	1,1 (2010) 3,4 (2020)
Mobile Anwendung: Kehr- und Reinigungsmaschinen, Gabelstapler, etc.	1,4 (2010) 2,8 (2020)
Portable Anwendungen („3C-Markt): Communication, Computer, Consumer Electronics	3,2 (2010) 8,5 (2020)
STATIONÄRE BATTERIESPEICHER: Speicherkraftwerke für erneuerbare Energien	0,5 (2010) 1,5 (2020)
Gesamt, weltweiter Umsatz. (Wachstumsrate: 5% /J) Summe, Σ (Prognose 2020)	7,4 (2010) 20,2 (2020)

Neue "Ionic Liquids" als flammfeste Elektrolyte in Li-Zellen

Weitere Umfeld-Informationen für Ihre Projektplanung.

Weltweiter Bestand an zugelassenen ELEKTROAUTOS inklusive sämtlicher Hybridvarianten, Szenario bis 2030.

Jahr	Zahl der weltweit zugelassenen Elektroautos
2016	1,20 Millionen
2017	1,95 Millionen
2018	3,29 Millionen
2019	≈ 7,9 Millionen *
2020	≈ 10 Millionen
2025	≈ 52 Millionen
2030	≈ 145 Millionen

*

Davon in China ≈ 3.8 Mio.

Neue "Ionic Liquids" als flammfeste Elektrolyte in Li-Zellen

Weitere Umfeld-Informationen für Ihre Projektplanung.

Absatz- und Umsatzprognose (weltweit) für E-BIKES:

Jahr	Weltweiter Absatz von E-BIKES
2014	31.700.000
2025	40.300.000
2035	≈ 84 Mio. (≈ 11 Mio. E-Scooter)

Jahr	Weltweiter Umsatz mit E-BIKES
2016	15.700.000.000 \$
2025	24.300.000.000 \$

Neue "Ionic Liquids" als flammfeste Elektrolyte in Li-Zellen

Weitere Umfeld-Informationen für Ihre Projektplanung.

STATIONÄRE BATTERIESPEICHER.

Weltmarkt für stationäre Batteriespeicher 2017	> 04.000.000.000 \$
Weltmarkt für stationäre Batteriespeicher 2020	> 13.000.000.000 \$
Weltmarkt für stationäre Batteriespeicher 2030	> 35.000.000.000 \$

→ Verkaufspreis eines typischen, stationär aufstellbaren Batteriespeichers (2020): 12.000\$

Neue "Ionic Liquids" als flammfeste Elektrolyte in Li-Zellen

Weitere Umfeld-Informationen für Ihre Projektplanung.

- Bis 2025 soll die Energiedichte der Batterien um 40-50% steigen.

- **Verbesserte Elektrolyte** und Separatoren mit keramischen Bestandteilen **werden die Sicherheit** der Stromspeicher deutlich **erhöhen**.

- Bis 2025 werden 7-10 große Zellhersteller vorausgesagt, darunter 4-6 globale Unternehmen und 2-3 chinesische Kostenführer.

Neue "Ionic Liquids" als flammfeste Elektrolyte in Li-Zellen

Weitere Umfeld-Informationen für Ihre Projektplanung.

Weltweiter Bedarf an Lithium-Zellen-Speicherkapazität.

Jahr	Bedarf in GWh Speicherkapazität
2020	≈ 0250
2022	≈ 0450
2024	≈ 0650
2026	≈ 0900
2028	≈ 1150
2030	≈ 1400

Neue "Ionic Liquids" als flammfeste Elektrolyte in Li-Zellen

Weitere Umfeld-Informationen für Ihre Projektplanung.

Weltweite Lithium-Zellen-Produktion 2018-2028, Σ GWh

Jahr	"Gigafactories"	Gesamtkapazität GWh
2018	36	= 0226
2023	64	\approx 0980
2028	66	\approx 2020

Die größten Lithium-Zellen-Hersteller (Land)

LG Chem (Südkorea)	CATL (China)
BYD (China)	Panasonic (Japan)
Tesla (U. S. A.)	Samsung (Südkorea)

Neue "Ionic Liquids" als flammfeste Elektrolyte in Li-Zellen

Weitere Umfeld-Informationen für Ihre Projektplanung.

Globale Preisbewegungen beim Lithiumcarbonat Li_2CO_3

Jahr	Preis pro Tonne Li_2CO_3 / Techn. Grade: 99,5%
2015	06.400 \$
2016	08.800 \$
2017	09.100 \$
2018	15.900 \$
2019	14.100 \$
2020	07.300 \$
2025	(Prognose) \approx 21.000 \$
2030	(Prognose) \approx 36.000 \$

Neue "Ionic Liquids" als flammfeste Elektrolyte in Li-Zellen

Weitere Umfeld-Informationen für Ihre Projektplanung.

Hauptlieferanten an Lithium-Mineralien 2020:

Land	Umgerechnet auf reines Lithium (t)
Australien	≈ 42.000 t
Chile	≈ 19.000 t
China	≈ 14.000 t
Argentinien	≈ 06.400 t
Brasilien	≈ 01.900 t
Zimbabwe	≈ 01.400 t
Portugal	≈ 00.900 t
Welt (insgesamt)	≈ 86.000 t

Neue "Ionic Liquids" als flammfeste Elektrolyte in Li-Zellen

Weitere Umfeld-Informationen für Ihre Projektplanung.

Erschließbare Reserven an Lithium-Mineralien 2020:

Land	Umgerechnet auf reines Lithium (t)
Bolivien	≈ 09.800.000 t
Chile	≈ 09.400.000 t
Australien	≈ 04.800.000 t
Argentinien	≈ 01.900.000 t
China	≈ 01.600.000 t
U.S.A.	≈ 00.750.000 t
Kanada	≈ 00.520.000 t
Zimbabwe	≈ 00.230.000 t
Welt (insgesamt)	≈ 32.000.000 t

Neue "Ionic Liquids" als flammfeste Elektrolyte in Li-Zellen

Weitere Umfeld-Informationen für Ihre Projektplanung.

**Preisentwicklung (EURO pro geleistete Kilowattstunde)
bei den weltweit produzierten Lithium-Ionen-Zellen.**

Jahr	Preis pro kWh
2015	≈ 275 €
2020	≈ 150 €
2025	≈ 075 €
2030	≈ 050 €

Neue "Ionic Liquids" als flammfeste Elektrolyte in Lithium-Ionen-Zellen.
Forschende Arbeitskreise und Zahlen der jährlich erschienenen
Patentanmeldungen.

I. L.-Forschende	Patent Applications for Li Ion Cells, Worldwide		Li-Zellen-Forschende
	Year	Number	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wasserscheid (D) ▪ Kantlehner (D) ▪ Endres (D) ▪ Leitner (D) ▪ Seddon (GB) ▪ Welton (GB) ▪ Rogers (U.S.A.) ▪ Davies (U.S.A.) ▪ Maginn (U.S.A) ▪ Mc Farlane (AUS) ▪ Watanabe (J) ▪ Ohno (J) ▪ Dong (TJ), u. a. 	2010	143	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Besenhard (†) (A) ▪ Goodenough (U.S.A.) ▪ Wittingham (U.S.A.) ▪ Winter (D) ▪ Wang (U.S.A.) ▪ Cheng (U.S.A.) ▪ Ellis (CDN) ▪ Dahn (CDN) ▪ Yoshino (J) ▪ Mizuno (J) ▪ Kobayashi (J) ▪ Kazunori (J) ▪ Jeon (ROK), u. a.
	2011	224	
	2012	316	
	2013	404	
	2014	481	
	2015	487	
	2016	482	
	2017	476	
	2018	540	
	2019	616	
2020	768		

Weiterführende Literatur (Fachbücher, Fachartikel) zu der Fallstudie:

Neue "Ionic Liquids" (1) als flammfeste Elektrolyte in Lithium-Ionen-Zellen.

- P. Walden, Bull. Acad. Sci, **1914**, 405.
- T. Welton, „Room-Temperature Ionic Liquids“ Chem. Rev. 99, **1999**, 2071-2084.
- P. Wasserscheid, „Ionische Flüssigkeiten: Innovative Lösungsmittel für die Zweiphasenkatalyse“, Chemie in unserer Zeit, **2003**, 1, 52-63.
- S. Feil, Ionische Flüssigkeiten: Treffpunkt Forschung, Chemie in unserer Zeit, **2006**, 5, 292-293.
- F. Endres, S. Zein El Abedin, „Air and water stable ionic liquids in physical chemistry“, Phys. Chem., 8, **2006**, 2101-2116.
- P. Wasserscheid, „Volatile times for ionic liquids“, Nature, 439, **2006**, (7078), 797.
- D. Zhao, Y. Liao, Z. Zhang, „Toxicity of Ionic Liquids“, Clean Soil, Air, Water, 35, **2007**, 42- 48.
- S. Zhang, X. Lu, Q. Zhou, X. Li, X. Zhang; S. Li, „Ionic Liquids, Physicochemical Properties, Elsevier Science, Amsterdam, **2009**.
- J. Ranke, S. Stolte, R. Störmann, J. Arning, B. Jastorff, „Design of sustainable chemical products – the example of ionic liquids“, Chem.Rev. 107, **2007**, 2183-2206,
- G. W. Meindersma, M. Maase, A. Haan „Ionic Liquids“, Ullmann`s Encyclopedia of Industrial Chemistry, **2007**, Wiley-VCH, Weinheim.
- K.J. Fraser, D.R. MacFarlane, „Phosphonium-Based Ionic Liquids: An Overview“ Aus. J. Chem. 62, **2009**, 309-321.
- M. Armand, F. Endres, D.R. MacFarlane, H. Ohno, B. Scrosati, „Ionic liquid materials for the electrochemical challenges of the future“, Nature Materials, 8, **2009**, 621-629.
- J. Luo, O. Conrad, I.F.J. Vancelecom, „Physicochemical properties of phosphonium-based and ammonium-based protic ionic liquids“, Journal of Materials Chemistry, **2012**,22, 20574-20579.
- Paul J. Dyson, Tillmann Geldbach, „Metal Catalysed Reactions in Ionic Liquids“, Springer, **2005**, Heidelberg, Berlin.
- P. Wasserscheid, Thomas Welton, „Ionic Liquids in Sythesis“, Second Edition, **2008**, Wiley-VCH, Weinheim
- M. Freemantlo, „An Introduction to Ionic Liquids, RSC Publishing, Cambridge, U.K., **2009**.

Weiterführende Literatur (Fachbücher, Fachartikel) zu der Fallstudie:

Neue "Ionic Liquids" (2) als flammfeste Elektrolyte in Lithium-Ionen-Zellen.

- U. Vagt, „Ionische Flüssigkeiten: Einzigartige Materialien mit vielfältigen Möglichkeiten“ <http://www.chemanager-online.com>, **2008**, 508.
- Suojiang Zhang, Xingmei Lu, Qing Zhou, Xiaohua Li, Xiangping Zhang and Shuca Li, „Ionic Liquids, Physicochemical Properties“, Elsevier Science B.V., **2009**, Amsterdam.
- Barbara Kirchner (Hrsg.), Clare Bronya, Topics in Current Chemistry, „Ionic Liquids“, Springer, **2009**, Heidelberg, Berlin.
- Marcelle Gaune-Escard, Kenneth R. Seddon, „Molten Salts and Ionic Liquids“, John Wiley & Sons, **2010**, Hoboken, New Jersey.
- H. Ohno, Electrochemical Aspects of Ionic Liquids, John Wiley & Sons, **2011**, Hoboken, New Jersey.
- Paul T. Anastas, Peter Wasserscheid, Annegret Stark, Handbook of Green Chemistry, Volume 6, Wiley-VCH, **2013**, Weinheim.
- T. Schubert, „Ionische Flüssigkeiten“, Nachrichten aus der Chemie, 62, **2014**, 318-321
- Rasmus Fehrmann, Anders Riisager, Marco Haumann, „Supported Ionic Liquids, Fundamentals and Applications“, Wiley-VCH, **2014**, Weinheim.
- Angel A. J. Torriero (Editor), „Electrochemistry in Ionic Liquids“, Volume 2, Applications, Springer, **2015**, Heidelberg, Berlin.
- Marian Paluch, „Dielectric Properties of Ionic Liquids“, Springer, **2016**, Heidelberg, Berlin
- [www/ddbst.de](http://www.ddbst.de), „Ionic Liquids in the Dortmund Data Bank“, **2016**, 2.100 Einträge (Der Informationsabruf ist heute gebührenpflichtig!).
- D. R. MacFarlane, M. Kar, J.M. Pringle, „Fundamentals of Ionic Liquids: From Chemistry to Applications, WILEY-VCH, **2017**, Weinheim.
- A. Eftekhari, Y. Liu, P. Chen, Journal of Power Sources, Vol. 334, **2016**, 221-239.
- M.-C. Lin, H. Chen, H. Dai, Ionic Liquids Based Electrolytes for Rechargeable Batteries, Material Matters, **2018**, 13.1.
- R. Fehrmann, C. Santini; „Ionic Liquids, Synthesis, Properties, Technologies, Applications, DE GRUYTER, **2019**, Berlin, Boston.

Weiterführende Literatur (Fachbücher, Fachartikel) zu der Fallstudie:

Neue "Ionic Liquids" als flammfeste Elektrolyte in **Lithium-Ionen-Zellen (1)**.

- K. Mizushima, P. C. Jones, P. J. Wiseman, J. B. Goodenough: Li_xCoO_2 : A new cathode material for batteries of high energy density, *Materials Research Bulletin*, 15. Juni **1980**, 783–789.
- C.H. Hamann, W. Vielstich, *Elektrochemie*, WILEY-VCH, Weinheim **1998**.
- M. Winter, J.O. Besenhard, *Chemie in unserer Zeit*, **1999**, 6, 320-332.
- C. Daniel, J.O. Besenhard, *Handbook of Battery Materials*, WILEY-VCH, Weinheim, **2011**.
- C. Borchard-Tuch, *Chemie in unserer Zeit*, **2003**, 6, 436.
- M.S.Wittingham, *Lithium batteries and cathode materials*, *Chemical Reviews*, Band 104, **2004**, S. 4271–4302.
- W. Dierks, H. Vennemann, *Chemkon* **2005**, Heft 1,7.
- C.E. Housecroft, A.G.Sharpe, *Anorganische Chemie*, Pearson Education, München, **2006**.
- M. Winter, *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, **2009**, 223, 1395.
- Ozawa, Kazunori, *Lithium Ion Rechargeable Batteries, Materials, Technology and New Applications*, WILEY-VCH, Weinheim **2009**.
- H.Huang, T. Faulkner, J. Barker, M.Y. Saidi, *J. Power Source*, **2009**, 189, 748-751.
- M. Winter, M. Kunze, A. Lex-Balducci, *Forschung* **2010**, 35, 14.
- G. Neumann, „Lithium-Akkumulatoren: Stand der Technik und zukünftige Entwicklungen“, *Chemie Ingenieur Technik*, **2011**, 83, 2042.
- T. Schlick, B. Hagemann, M. Kramer, J. Garrelts, A.Rassmann, „Zukunftsfeld Energiespeicher, Marktpotenziale standardisierter Lithium-Ionen-Batterie-Systeme“, Studie von der Roland Berger Strategy Consultants und dem VDMA, **2011**.
- E. Riedel, C. Janiak, *Anorganische Chemie*, DE GRUYTER, 8. Auflage, **2011**, 373, 374.
- J.-S. Lee, S.T. Kim, R. Cuo, N.-S. Choi, K.T. Lee, Cho, *Adv. Energy Mater.*, **2011**, 34-50.
- T. Ichitsubo, T. Adachi, Y. Shumsuke, T. Doi, *J. Mater. Chem.*, **2011**, 21, 11764-11772.
- Claus Daniel, Jürgen O. Besenhard: *Handbook of Battery Materials*. Wiley-VCH, Weinheim **2011**.
- Jeff Dahn, Grant M. Ehrlich: *Lithium-Ion Batteries*. In: Thomas B. Reddy (Hrsg.): *Linden's Handbook of Batteries*. 4. Auflage. McGraw-Hill, Kapitel 26, New York **2011**.

Weiterführende Literatur (Fachbücher, Fachartikel) zu der Fallstudie:

Neue "Ionic Liquids" als flammfeste Elektrolyte in **Lithium-Ionen-Zellen (2)**.

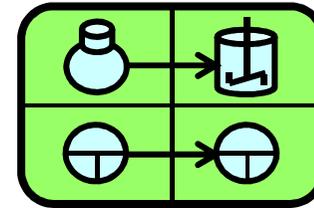
- T. Placke, P. Bieker, S.F. Lux, O. Fromm, H.-W. Meyer, S. Passerini, M. Winter, *Z. Phys. Chem.* **2012**, 226, 391-407.
- T. Placke, O. Fromm, S.F. Lux, P. Bieker, S. Rothermel, H.-W. Meyer, S. Passerini, M. Winter, *J. Electrochem. Soc.* **2012**, 159, A1755-A1765.
- G. Klink, S. Krubasik, T. Rings und M. Schindler, „E-Drive Batteries 2025“, A.T. Kearny Studie, **2012**.
- A. Yoshino, *Angewandte Chemie International Edition*. 51, **2012**, 5798.
- J. Maier, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2013**, 19, 4998.
- RWTH Aachen, Fraunhofer ISI, „Roadmap Batterie-Produktionsmittel 2030“, VDMA Verlag, Frankfurt am Main, **2014**.
- Reiner Korthauer (Hrsg.): *Handbuch Lithium-Ionen-Batterien*. Heidelberg : Springer Verlag, **2013**.
- Peter Kurzweil/Otto K. Dietlmeier: *Elektrochemische Speicher*. Springer Vieweg, Wiesbaden **2015**.
- A. Yoshino: Development of the Lithium-Ion Battery and Recent Technological Trends, in G. Pistoia (Hrsg.): *Lithium-Ion Batteries. Advances and Applications*. Elsevier **2014**, S. 1–20.
- M. Hasselmann, M. Oetken, *Chemie in unserer Zeit*, **2014**, 2, 102.
- Y. Zang, Y. Sun, G. Xu, W. Cai, R. Rohan, A. Lin, H. Cheng, *Energy Technology*, **2014**, 643.
- A. Kampker, *Elektromobilproduktion*, Springer-Vieweg, **2014**.
- G. Pistola, *Lithium-Ion Batteries*, Elsevier, Amsterdam, **2014**.
- T. Brezinski et al., *Nachrichten aus der Chemie*, **2015**, 3, 262-264.
- E. Cznotka, S. Jeschke, H.-D. Wiemhöfer, Characterization of semi-interpenetrating Polymer Electrolytes containing PVDF-HFP and Ether-modified Polysiloxane for LIB Application, Symposium „Forschung der Chemischen Industrie“, WWU Münster, Posterbeitrag, 21. Mai **2015**.
- E. Rahimzei, K. Sann, M. Vogel, *IKT für Elektromobilität, Kompendium Li-Ionen-Batterien, Grundlagen, Bewertungskriterien, Gesetze und Normen*, VDE, Frankfurt/Main **2015**.
- Peter Kurzweil/Otto K. Dietlmeier: *Elektrochemische Speicher*. Springer Vieweg, Wiesbaden **2015**.
- Lu, J. et al. The role of nanotechnology in the development of battery materials for electric vehicles. *Nat. Nanotechnol.* **11**, 1031–1038, **2016**.

Weiterführende Literatur (Fachbücher, Fachartikel) zu der Fallstudie:

Neue "Ionic Liquids" als flammfeste Elektrolyte in **Lithium-Ionen-Zellen (3)**.

- T.Nakajima, H.Groult (Editors), „Advanced Fluoride-Based Materials for Energy Conversion“, Elsevier Inc., **2015**.
- P. Bieker, M. Winter, „Hochenergieakkumulatoren“, Chemie in unserer Zeit, **2016**, 1, 26-33.
- wwwstatista.com; Lithium-Ionen-Batterie-Industrie; statista GmbH, 20355 Hamburg, **2017**.
- P. Bieker, M. Winter, „Lithium-Ionen Technologie und was danach kommt“, Chemie in unserer Zeit, **2016**, 3, 172-186.
- G. E. Blomgren, „The Development and Future of Lithium Ion Batteries“, Journal of The Electrochemical Society, 164, A5019-A5025, **2017**.
- G. Berckmans, M. Messagie, J. Smekens, N. Omar, L. Vanhaverbeke, J. Van Mierlo, „Cost Projection of State of the Art Lithium-Ion Batteries for Electric Vehicles Up to 2030“, Energies **2017**, 10, 1314; doi:10.3390/en10091314.
- M. Bertau, Chemie in unserer Zeit **2018**, 5, 290-296.
- L. Xing et al, „Deciphering the ethylene carbonate – propylene carbonate mystery in Li-ion batteries“, Acc. Chem. Res. 51, 282-289, **2018**.
- J. H. Heo, „A novel approach of improving battery performance“, Advanced Materials, **2018**, DOI:10.1002/adma.201801745.
- L. Lefrançois Perreault et al. „Spray-Dried Mesoporous Mixed Cu-Ni Oxide@Graphene Nanocomposite Microspheres for High Power and Durable Li-Ion Battery Anodes“, Advanced Energy Materials, **2018**. DOI:10.1002/aenm.201802438.
- K. Kubota, M. Dahbi, T. Hosaka, S. Kumakura, S. Komaba, „Towards K-Ion and Na-Ion Batteries as Beyond Li-Ion“, Chem.Rec. 18(4): 459-479, **2018**.
- M. Wilkening, Nobelpreis 2019: Niedermolekulare Materialien für die ersten Li-Ionen-Batterien, Nachrichten aus der Chemie, 67. Jahrgang, November **2019**, 48-51 u. die dort zitierte Literatur.
- IEA Technology Report, Global EV Outlook **2019**.
- Daigle, J.-C. *et al.* A versatile method for grafting polymers onto $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ -particles applicable to lithium-ion batteries. *J. Power Sources* 421, 116–123, **2019**.
- R.Holze, Y. Wu, „Warum altern Lithium-Ionen-Batterien?“, Chemie in unserer Zeit, **2020**, 180-187.

FuE-Projektmanagement
in der Chemieindustrie



Ende Zusatzmodul 01

Rainer Bürstinghaus