KLiB Kompetenznetzwerk Lithium-Ionen-Batterien

Schema zur Einordnung von Sekundärbatterie-Typen

(Version 20.04.2023, Dominik Sollmann et al.)

aufladbar?

- nein → **Primärbatterie**
- ja → **Sekundärbatterie**

fester Elektrolyt bzw. so fest, dass er noch als eine mechanische Barriere im Sinne des Separators fungieren kann (mit Pinzette aufnehmbar, darf Flüssigkeit enthalten, die aber nicht eigenständig als Elektrolyt fungiert) **und keine weiteren flüssigen Komponenten bei Betriebstemperatur?**

Anmerkung 1: "Festkörperbatterien", die Flüssigkeiten enthalten, die etwa als Gel gebunden sind, werden nur dann zu den Festkörperbatterien gezählt, wenn die Flüssigkeiten nicht den eigentlichen Elektrolyten darstellen und so eingeschlossen sind, dass sie nicht austreten, wenn die Zelle geöffnet wird (self standing electrolyte, mit der Pinzette aufnehmbar). Damit wird eine Abgrenzung zu marktüblichen Lithium-Ionen-Polymer-Batterien getroffen, denn darin ist der eigentliche flüssige Elektrolyt (!) in eine Polymer-"Trägermatrix" eingebunden.
Anmerkung 2: Der feste Elektrolyt kann insbesondere bei SSB mit Polymer-Elektrolyt und Heizvorrichtung weich werden, wodurch eine klare Abgrenzung als Festkörper nicht mehr klar getroffen werden kann. Wichtig ist es hier, dass auch bei erhöhten Betriebstemperaturen der Elektrolyt noch die Funktion der mechanischen Barriere eines Festkörpers übernehmen kann.

- ja → **Festkörperbatterie (SSB, SB)**

  Englisch: solid (state) battery, SSB (SB)

All-Solid (keine flüssigen Komponenten im Betrieb)?

- Ja → **Vollfestkörperbatterie (ASSB, ASB)**
  auch: All-solid-(state-)Batterie

  Englisch: all solid (state) battery, ASSB (ASB)

Abscheidung von Elektrolyt und weiteren Materialien im Produktionsprozess **aus Gasphase oder Plasma?**

- ja → **Dünnschicht-(Vollfestkörper-)Batterie**

  Englisch: thin-film all solid (state) battery, thin-film ASSB (ASB)

  - Lithium-Dünnschicht-(Vollfestkörper-)Batterie
  - ...

- nein → **Dickschicht-(Vollfestkörper-)Batterie**

  Englisch: thick-film all solid (state) battery, thick-film ASSB (ASB)

  - Lithium-Dickschicht-(Vollfestkörper-)Batterie
  - Natrium-Dickschicht-(Vollfestkörper-)Batterie
  - ...

- nein → **flüssigkeitsgestützte Festkörperbatterie (LSSB, LSB)**

  Englisch: liquid assisted solid (state) battery, LSSB (LSB)

Anolyt und Katholyt (die elektrochemischen Reaktanden) **liegen wenigstens beim Be- oder Entladen als strömende Medien vor** (flüssig, Suspension oder gasförmig) **und das Aktivmaterial wir außerhalb der Zelle zirkuliert und in Tanks gespeichert?**

Anmerkung: Batterietypen, bei denen lediglich der Elektrolyt gepumpt wird (um etwa Dendritenwachstum zu verhindern), bekommen den Zusatz "fließunterstützt" oder "gepumpte" (engl. flow-assisted). Flow-Batterien weisen eine Flow-Architektur auf, ähneln im Aufbau also Redox-Flow-Batterien wie All-Vanadium-RFB (Tanks und Stacks)

- ja → **Flow-Batterien (FB)**
  auch: Durchflussbatterien oder Batterien mit Flow-Architektur

  Englisch: flow batteries, FB

Anolyt und Katholyt liegen beim Be- und Entladen als strömende Medien vor (flüssig, Suspension oder gasförmig)?

Anmerkung: Wichtiges Kriterium ist hier, dass die Leistung durch die Stack-und die Kapazität durch die Tankgröße beeinflusst werden kann.

- ja → **Redox-Flow-Batterien (RFB)**
  auch Redox-Durchflussbatterie

  Englisch: redox flow batteries, RFB

  metallfreies, organisches Redoxpaar?

  - ja → **organische Redox-Flow-Batterien (O-RFB)**
    auch organische Redox-Durchflussbatterie

    Englisch: organic redox flow battery (O-RFB)

  - nein → **anorganische Redox-Flow-Batterien (I-RFB)**
    auch anorganische Redox-Durchflussbatterie, A-RFB

    Englisch: inorganic redox flow battery (I-RFB)

    - All-Vanadium-Redox-Flow-Batterie
    - ...

- nein → **Hybrid-Flow-Batterien (HFB)**

  Englisch: hybrid flow batteries, HFB

  - Zink-Brom-Batterie
  - Zink-Cer-Batterie (Zn/Ce_2)
  - ...

Anmerkung: Wichtiges Kriterium ist hier, dass Leistung und Kapazität nicht durch die Stack- und Tankgröße beeinflusst werden können wie bei RFB.

- nein →

erhöhte Betriebstemperatur (aktiv zugeführt, höher als Raumtemperatur (25 °C))?

Anmerkung: Es gibt Festkörperbatterien, die bei 60 bis 80 Grad Celsius (aktiv zugeführt) arbeiten (polymerbasiert BlueSolutions von Bolloré). Es gibt ferner Flow-Batterien, die bei erhöhten Temperaturen betrieben werden (Zink-Cer bei 20 bis 50 Grad Celsius). Diese wurden hier abgegrenzt, indem Festkörperbatterien und Flow-Batterien zuvor "abgezweigt" wurden.

- ja → **Hoch- und Mitteltemperaturbatterien (HMTB)**
  auch: TB
  Oder besser Thermobatterien? (TB)

  Englisch: high and medium temperature batteries, thermal batteries, TB, HMTB

  - Natrium-Schwefel-HMT-Batterie
  - Natrium-Nickelchlorid-HMT-Batterie
  - Lithium-"Blei-Antimon"-HMT-Batterie
  - ...

Betriebstemperatur höher als (190 bis) 200 °C (kann nach Batterietyp variieren)?

- nein → **Mitteltemperaturbatterien (MTB)**

  Englisch: medium temperature (thermal) batteries, MTB

  - Natrium-Schwefel-Mitteltemperaturbatterie oder Mitteltemperatur-Natrium-Schwefel-Batterie
  - Natrium-Nickelchlorid-Mitteltemperaturbatterie oder Mitteltemperatur-Natrium-Nickelchlorid-Batterie
  - ...

Anmerkung: Mitteltemperaturbatterien sind (oft) als die nächste Generation der jeweils ersten Generation(en) HMTB zu verstehen, die mit einer deutlichen Verringerung der Betriebstemperatur und der thermischen Verluste einhergehen. Diese Entwicklung ist bei der Einordnung dieser Batterien wichtiger als starre Temperaturgrenzen. Als untere Betriebstemperaturgrenze von MTB wird 60 Grad Celsius vorgeschlagen.

- ja → **Hochtemperaturbatterien (HTB)**

  Englisch: high temperature (thermal) batteries, HTB

  - Natrium-Schwefel-Hochtemperaturbatterie oder Hochtemperatur-Natrium-Schwefel-Batterie
  - Natrium-Nickelchlorid-Hochtemperaturbatterie oder Hochtemperatur-Natrium-Nickelchlorid-Batterie
  - ...

- nein →

mind. 1 redoxaktive Komponente ist gasförmig?

- ja → **Metall-Gas-Batterien (MGB)**

  Englisch: metal-gas batteries, MGB

  1 redoxaktive Komponente ist Sauerstoff/Luft, die andere ein Metall?

  - nein →
    - Nickel-Wasserstoff-Batterie
    - ...

  - ja → **Metall-Luft-(bzw. Sauerstoff-)Batterien (MLB, MAB (bzw. MOB)**
    Welche gängigen Abkürzungen gibt es hier bereits?

    Englisch: metal-air batteries, MAB, metal-oxygen, MOB

    - Lithium-Luft-Batterie
    - Zink-Luft-Batterie
    - ...

Anmerkung: Die einzelnen Batterietypen werden nach dem entsprechenden Gas benannt

- nein →

2 Insertions-, Konversions- oder Legierungselektroden?

- ja → **Ionen-Batterien (IB)**
  auch Rocking-Chair-Batterien

  Englisch: ion batteries, IB

  Werden Anionen und Kationen eingelagert?

  - ja → **Dual-Ionen-Batterien (D-IB)**
    auch: DIB, Rocking-Chair-Dual-Ionen-Batterien

    Englisch: dual-ion batteries, D-IB, DIB

  - nein → Übernehmen **ausschließlich Kationen** den ionischen Ladungstransfer?

    - ja → **Kationen-Batterien (C-IB)**
      auch: CIB, K-IB, KIB, Rocking-Chair-Kationen-Batterien

      Englisch: cation batteries, C-IB, CIB rocking-chair cation batteries

      - Lithium-Ionen-Batterie
      - Natrium-Ionen-Batterie
      - ...

    - nein → **Anionen-Batterien (A-IB)**
      auch: AIB, Rocking-Chair-Anionen-Batterien

      Englisch: anion battery, A-IB, AIB

      - Fluorid-Ionen-Batterie (Anion: Fluorid)
      - Chlorid-Ionen-Batterie (Anion: Chlorid)
      - Magnesium-Sulfid-Batterie (Anion: Sulfid)
      - ...

Anmerkung: Einlagerung = Insertion bzw. Interkalation, Konversion oder Legierungsbildung

- nein → **AE-Batterien (AEB)**
  auch: Amorphe-Elektroden-Batterien, Beanbag-Batterien (als Pendant zu Rocking-Chair-Batterien)

  weitere Vorschläge:
  Golem-Batterien, Schwamm-Batterie, Sponge-Batterie

  Englisch: AE batteries, amorphous electrode batteries, AEB, beanbag batteries

  1 redoxaktive Komponente ist (elementarer) Schwefel?

  - ja → **Metall-Schwefel-(AE-)Batterien (MSB)**
    auch: RT-Metall-Schwefel-Batterien, RT-MSB, S-AEB, SAEB

    Englisch: metal-sulfur (AE-)batteries, MSB, RT-MSB, S-AEB

    - Lithium-Schwefel-Batterie
    - Natrium-Schwefel-Batterie
    - Magnesium-Schwefel-Batterie
    - ...

  - nein → Übernehmen Kationen den ionischen Ladungstransfer?

    - ja → **Kationen-AE-Batterien (C-AEB)**
      auch: CAEB, K-AEB, KAEB, Beanbag-Kationen-Batterien

      Englisch: cation AE-batteries, C-AEB, CAEB, beanbag cation batteries

      - Lithium-Metall(anoden)-AE-Batterie
      - Natrium-Metall(anoden)-AE-Batterie
      - ...

    - nein → **Anionen-AE-Batterien (A-AEB)**
      auch: AAEB, Beanbag-Anionen-Batterien

      Englisch: anion AE-batteries, A-AEB, AAEB, beanbag anion batteries

      - Blei-Säure-Batterien (Anion: Sulfat)
      - Zink-Silber-Batterie (Anion: Hydroxid)
      - RAM-Batterie, Zink-Alkali-Mangan-Dioxid (Anion: Hydroxid)
      - Nickel-Cadmium-Batterie (Anion: Hydroxid)
      - Nickel-Metallhydrid-Batterie (Anion: Hydroxid)
      - Nickel-Eisen-Batterie (Anion: Hydroxid)
      - Nickel-Zink-Batterie (Anion: Hydroxid)
      - ...

Anmerkung: Um MSB klarer von den HMTB abzugrenzen, kann es sinnvoll sein, dem Batterietyp "RT" vorgesetzt werden (für Raumtemperatur), also RT-Metall-Schwefel-Batterien oder RT-MSB.