KLiB
Kompetenznetzwerk Lithium-Ionen-Batterien

Schema zur Einordnung von Sekundärbatterie-Typen

(Version 17.03.2025, 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 deshalb, 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)
- nein → **All-Solid** (keine flüssigen Komponenten im Betrieb)?
  - Ja → **Vollfestkörperbatterie (ASSB, ASB)** auch: All-solid-(state-)Batterie
    Englisch: all-solid(-state) battery, ASSB (ASB)
    - ja → **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)

- nein → 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-Batterie (FB)** auch: Durchflussbatterie oder Batterie mit Flow-Architektur
  Englisch: flow battery FB
  → **Anolyt und Katholyt liegen beim Be- und Entladen als strömende Medien vor** (flüssig, Suspension oder gasförmig)?
  - ja → **Redox-Flow-Batterie (RFB)** auch Redox-Durchflussbatterie
    Englisch: redox flow battery, RFB
    - ja → **metallfreies, organisches Redoxpaar?**
      - ja → **organische Redox-Flow-Batterie (O-RFB)** auch organische Redox-Durchflussbatterie
        Englisch: organic redox flow battery (O-RFB)
      - nein → **anorganische Redox-Flow-Batterie (I-RFB)** auch anorganische Redox-Durchflussbatterie, A-RFB
        Englisch: inorganic redox flow battery (I-RFB)
        - All-Vanadium-Redox-Flow-Batterie
        - ...

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

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

  - nein → **Hybrid-Flow-Batterie (HFB)**
    Englisch: hybrid flow battery, HFB
    - Zink-Brom-Batterie
    - Zink-Cer-Batterie (Zn/Ce_2)
    - ...

- nein → **erhöhte Betriebstemperatur** (aktiv zugeführt, höher als Raumtemperatur (25 °C))**?**
  - ja → **Hoch- und Mitteltemperaturbatterie (HMTB)** auch: TB
    Englisch: high and medium temperature battery, TB, HMTB
    - Natrium-Schwefel-HMT-Batterie
    - Natrium-Nickelchlorid-HMT-Batterie
    - Lithium-"Blei-Antimon"-HMT-Batterie
    - ...

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.

  - nein → **Betriebstemperatur höher als (190 bis) 200 °C** (kann nach Batterietyp variieren)**?**
    - ja → **Hochtemperaturbatterie (HTB)**
      Englisch: high temperature battery, HTB
      - Natrium-Schwefel-Hochtemperaturbatterie oder Hochtemperatur-Natrium-Schwefel-Batterie
      - Natrium-Nickelchlorid-Hochtemperaturbatterie oder Hochtemperatur-Natrium-Nickelchlorid-Batterie
      - ...
    - nein → **Mitteltemperaturbatterie (MTB)**
      Englisch: medium temperature battery, 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.

- nein → **mind. 1 redoxaktive Komponente ist gasförmig?**
  - ja → **Metall-Gas-Batterie (MGB)**
    Englisch: metal-gas battery, MGB
    → **1 redoxaktive Komponente ist Sauerstoff/Luft, die andere ein Metall?**
    - ja → **Metall-Luft-(bzw. Sauerstoff-)Batterie (MLB, MAB (bzw. MOB)**
      Englisch: metal-air battery, MAB, metal-oxygen battery, MOB
      - Lithium-Luft-Batterie
      - Zink-Luft-Batterie
      - ...
    - nein → - Nickel-Wasserstoff-Batterie
      - ...

Anmerkung: Die einzelnen Batterietypen werden nach dem entsprechenden Gas benannt

- nein → **2 Insertions-, Konversions- oder Legierungselektroden?**
  - ja → **Ionen-Batterie (IB)** auch Rocking-Chair-Batterie
    Englisch: ion battery, IB
    → **Werden Anionen und Kationen eingelagert?**
    - ja → **Dual-Ionen-Batterie (D-IB)** auch: DIB, Rocking-Chair-Dual-Ionen-Batterie
      Englisch: dual-ion battery, D-IB, DIB

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

    - nein → Übernehmen **ausschließlich Kationen** den ionischen Ladungstransfer?
      - ja → **Kationen-Batterie (C-IB)** auch: CIB, K-IB, KIB, Rocking-Chair-Kationen-Batterie
        Englisch: cation battery, C-IB, CIB rocking-chair cation battery
        - Lithium-Ionen-Batterie
        - Natrium-Ionen-Batterie
        - ...
      - nein → **Anionen-Batterie (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)
        - ...

- nein → **AE-Batterie (AEB)** Amorphe-Elektroden-Batterie, Beanbag-Batterie (als Pendant zu Rocking-Chair-Batterie)
  Englisch: AE battery, amorphous electrode battery, AEB, beanbag battery
  → **1 redoxaktive Komponente ist (elementarer) Schwefel?**
  - ja → **Metall-Schwefel-(AE-)Batterie (MSB)** auch: RT-Metall-Schwefel-Batterie, RT-MSB, S-AEB, SAEB
    Englisch: metal-sulfur (AE-)battery, MSB, RT-MSB, S-AEB
    - Lithium-Schwefel-Batterie
    - Natrium-Schwefel-Batterie
    - Magnesium-Schwefel-Batterie
    - ...

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.

  - nein → **Übernehmen Kationen den ionischen Ladungstransfer?**
    - ja → **Kationen-AE-Batterie (C-AEB)** auch: CAEB, K-AEB, KAEB, Beanbag-Kationen-Batterie
      Englisch: cation AE-battery, C-AEB, CAEB, beanbag cation battery
      - Lithium-Metall(anoden)-AE-Batterie
      - Natrium-Metall(anoden)-AE-Batterie
      - ...
    - nein → **Anionen-AE-Batterie (A-AEB)** auch: AAEB, Beanbag-Anionen-Batterie
      Englisch: anion AE-battery, A-AEB, AAEB, beanbag anion battery
      - 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)
      - ...