

Elektrokemiska metoder för hållbar batteriåtervinning

Adam Isaksson

Luleå tekniska universitet

5 augusti 2026



Agenda

- Min bakgrund
- Processmetallurgi vid LTU
- Batteriforskning – **utblick**
- Återvinning av batterier
- Elektrokemisk batteriåtervinning – **inblick i min forskning**
- Tips till laborationer och gymnasiearbeten
- Frågor



Om mig

Doktorand i processmetallurgi

Luleå tekniska universitet (2023-nu)

Utvecklingsingenjör

SSAB Luleå (2021-2023)

Processingenjör

Boliden AB (2018-2021)

Civilingenjör i kemiteknik

Luleå tekniska universitet (2013-2018)

Naturvetenskapsprogrammet

Björknäsgymnasiet, Boden (2010-2013)



Processmetallurgi



Hållbar framställning av metaller ur malmer, skrot och andra råvaror



Pyrometallurgi

Högtemperaturkemi



Hydrometallurgi

Vattenkemi



Exempel på forskningsprojekt

OPTIREEP

Utvinning av fosfor och sällsynta jordartsmetaller ur gruvavfall.



[Länk](#)

ReGraph

Återvinning av grafit från förbrukade litiumjonbatterier.



[Länk](#)

H2NordSteel

Reduktion av järnmalm med fossilfri vätgas istället för fossilt kol.



[Länk](#)

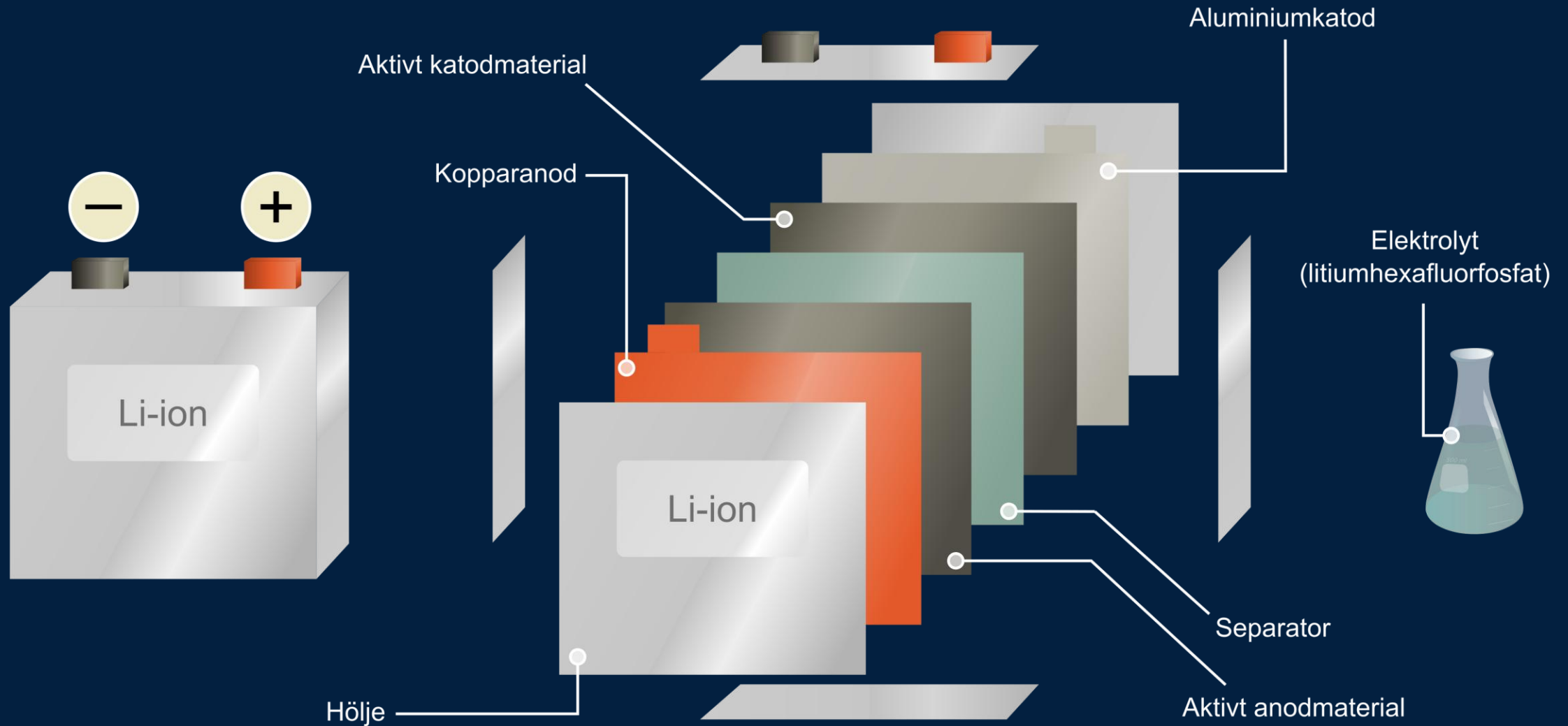
E4C

Slagg som ersättningsmaterial för bränd kalk (klinker) i cement.

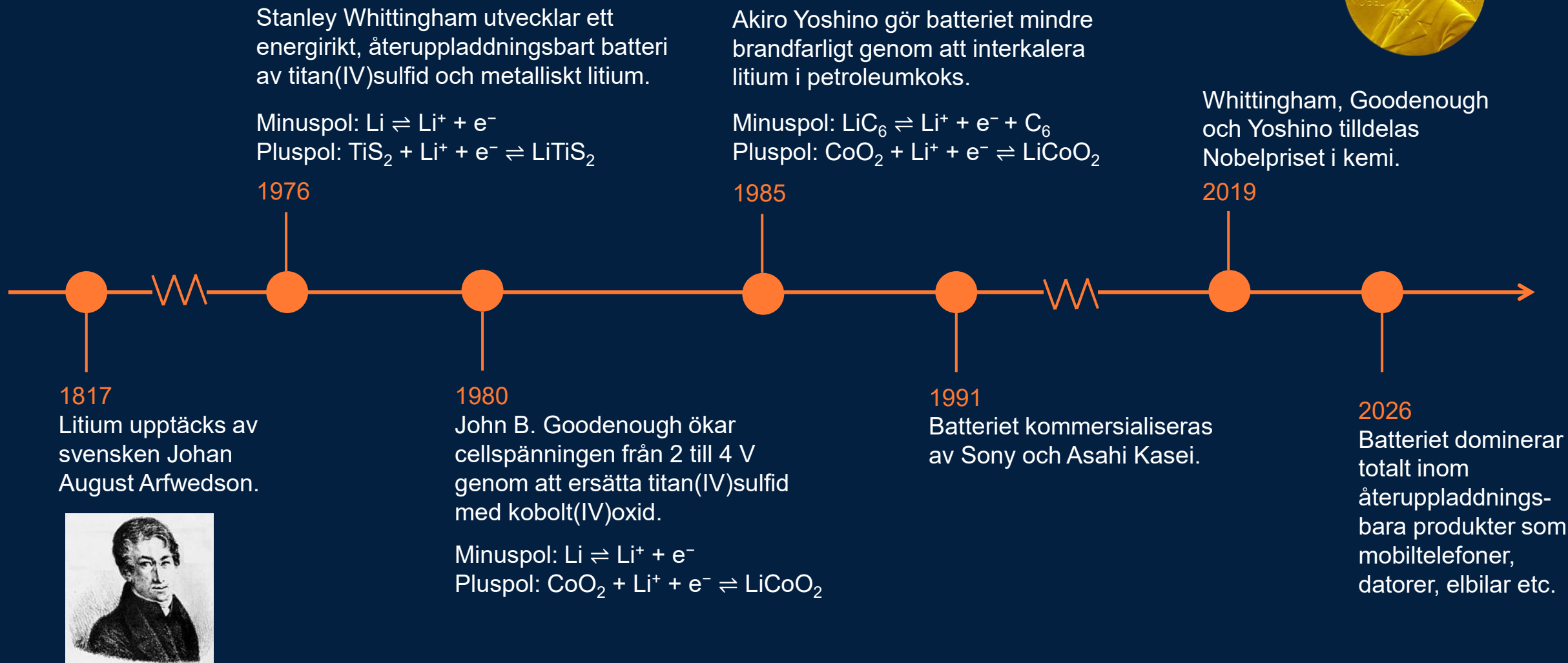


[Länk](#)

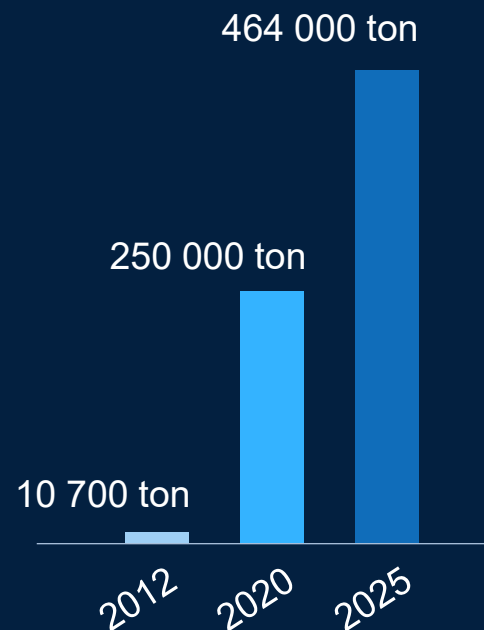
Litiumjonbatteriet



Litiumjonbatteriets historia



Vad hände mellan 1991 och 2026?



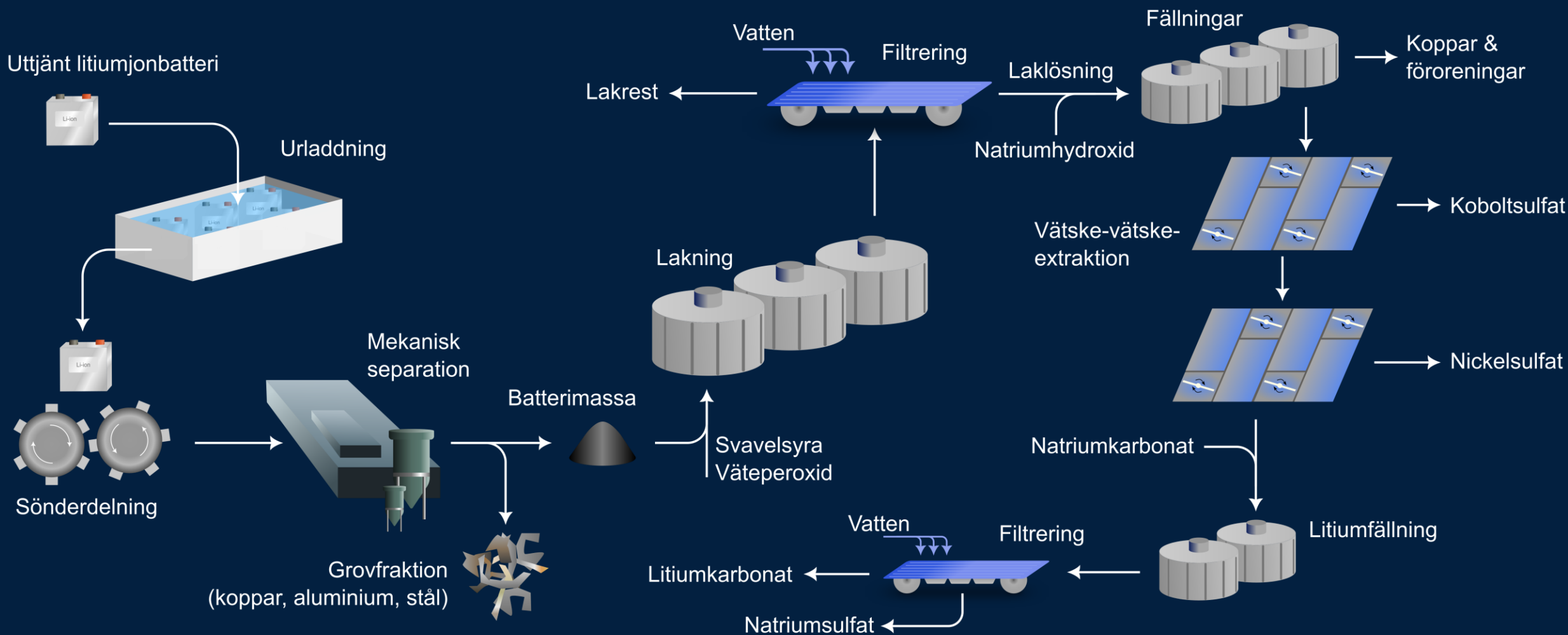
Kobolt ersätts successivt av andra metaller. Batterierna blir billigare, säkrare och får längre livslängd.

Klimatomställningen ökar snabbt behovet av nya metaller.

Kraftig ökning av den globala mängden förbrukade batterier.

Krig och konflikter gör batterimetaller kritiskt och strategiskt viktiga.

Hydrometallurgisk batteriåtervinning



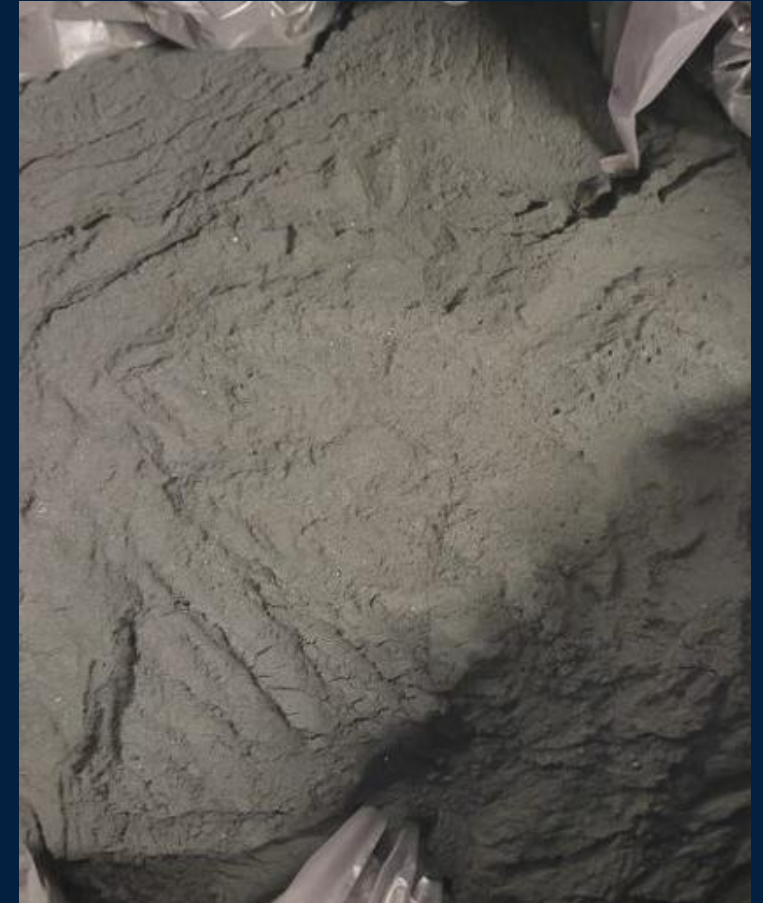
Inuti ett litiumjonbatteri



Sönderklippt battericell



Anoder (t.v.) och katoder (t.h.)



Batterimassa

Två identiska bilar?

Tesla Model 3



Tesla Model 3

Producerad 2020



Batteri av kobolt, nickel
och litium

Tesla Model 3

Producerad 2021



Batteri av järn, fosfor
och litium

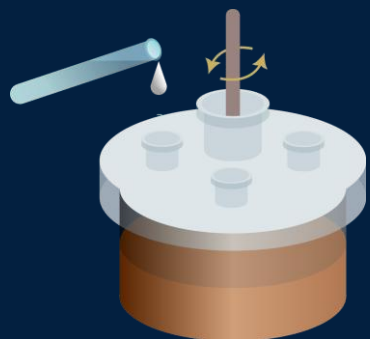
Litiumjonbatteri – inte **ett** batteri

LCO L_NO Li-S
LNMO LFP
NMC811 LMO LTS
LMR-NMC NMC955
NMC111 LMFP
NCA
NMC622 NMC712
NMC532



Hur återvinner
man något
vars framtida
värde ännu
inte är känt?

Hydrometallurgiska processteg



Lakning

Upplösning av en fast råvara i en vätska (oftast vattenlösning)

- Sura lösningar
- Basiska lösningar
- Reducerande lösningar
- Oxiderande lösningar



Lösningsrening

Borttagande av föroreningar från laklösningen (t.ex. järnjoner)

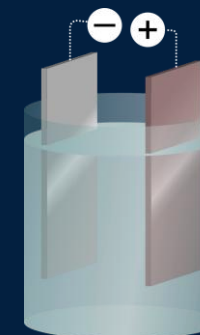
- Fällningsreaktioner
- Vätske-vätske-extraktion
- Cementering



Metallseparation

Separation av metalljoner till åtskilda produkter.

- Fällningsreaktioner
- Vätske-vätske-extraktion
- Jonbyte
- Membranteknik

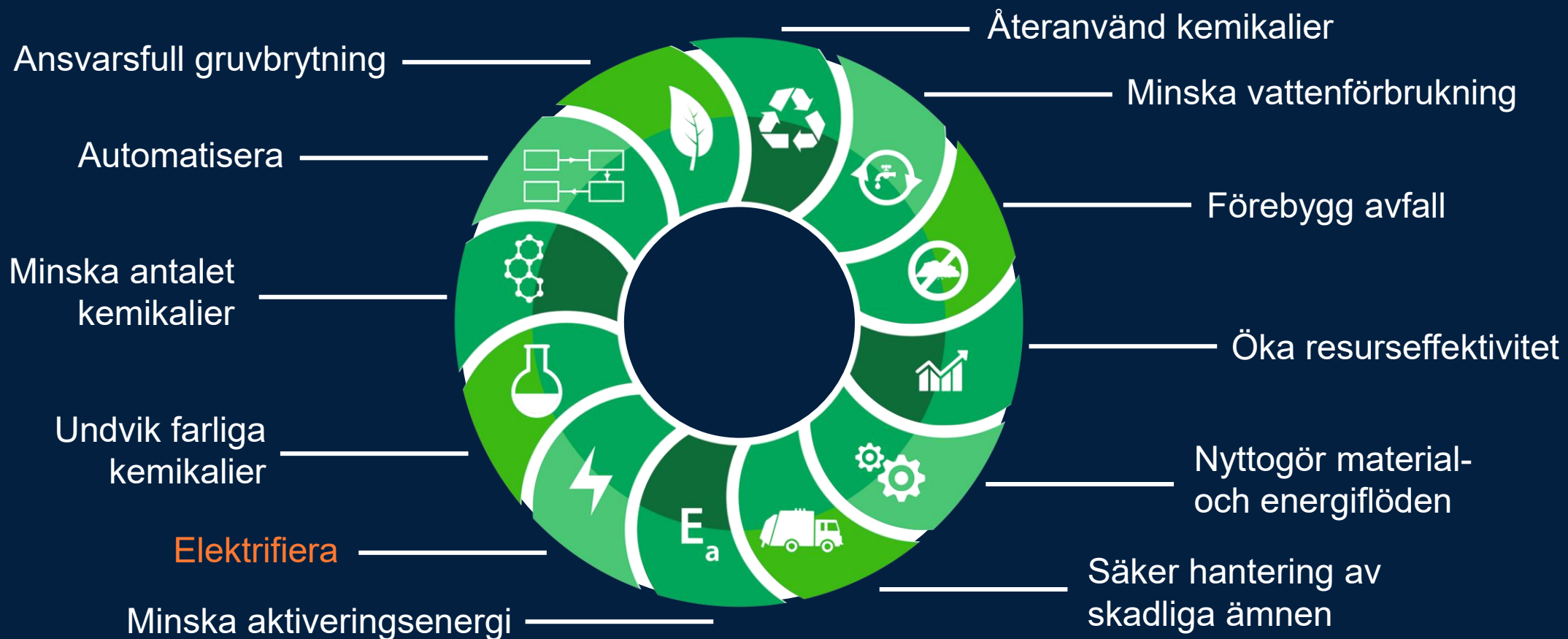


Metallutvinning

Framställning av slutprodukt.

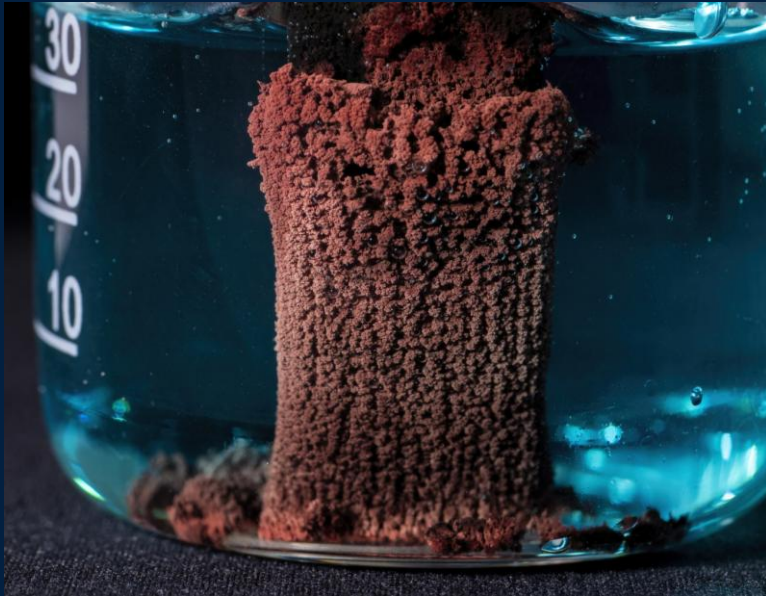
- Elektrolys
- Fällningsreaktioner
- Kristallisation
- Vätgasreduktion

Cirkulär hydrometallurgi – de 12 principerna



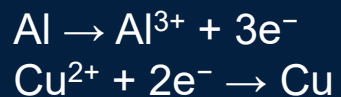
Binnemans, K., Jones, P.T. *The Twelve Principles of Circular Hydrometallurgy*. J. Sustain. Metall. 9, 1–25 (2023). <https://doi.org/10.1007/s40831-022-00636-3>

Elektrokemi inom batteriåtervinning



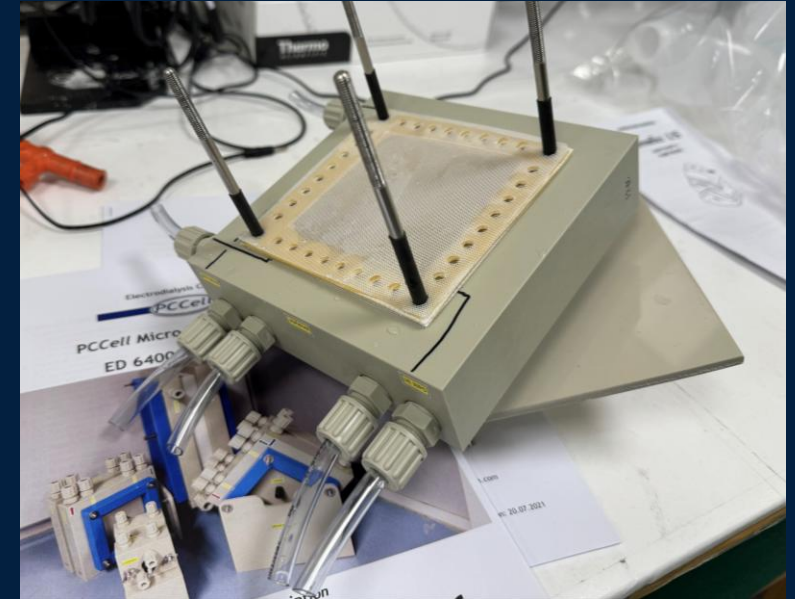
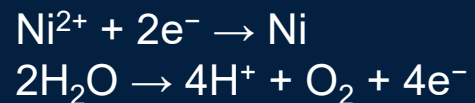
Cementering

Oftast lösningsrening, t.ex. utfällning av kopparjoner från laktlösningar.



Elektrolys

Utvinning av nickel eller kobolt efter lösningsrening och metallseparation.



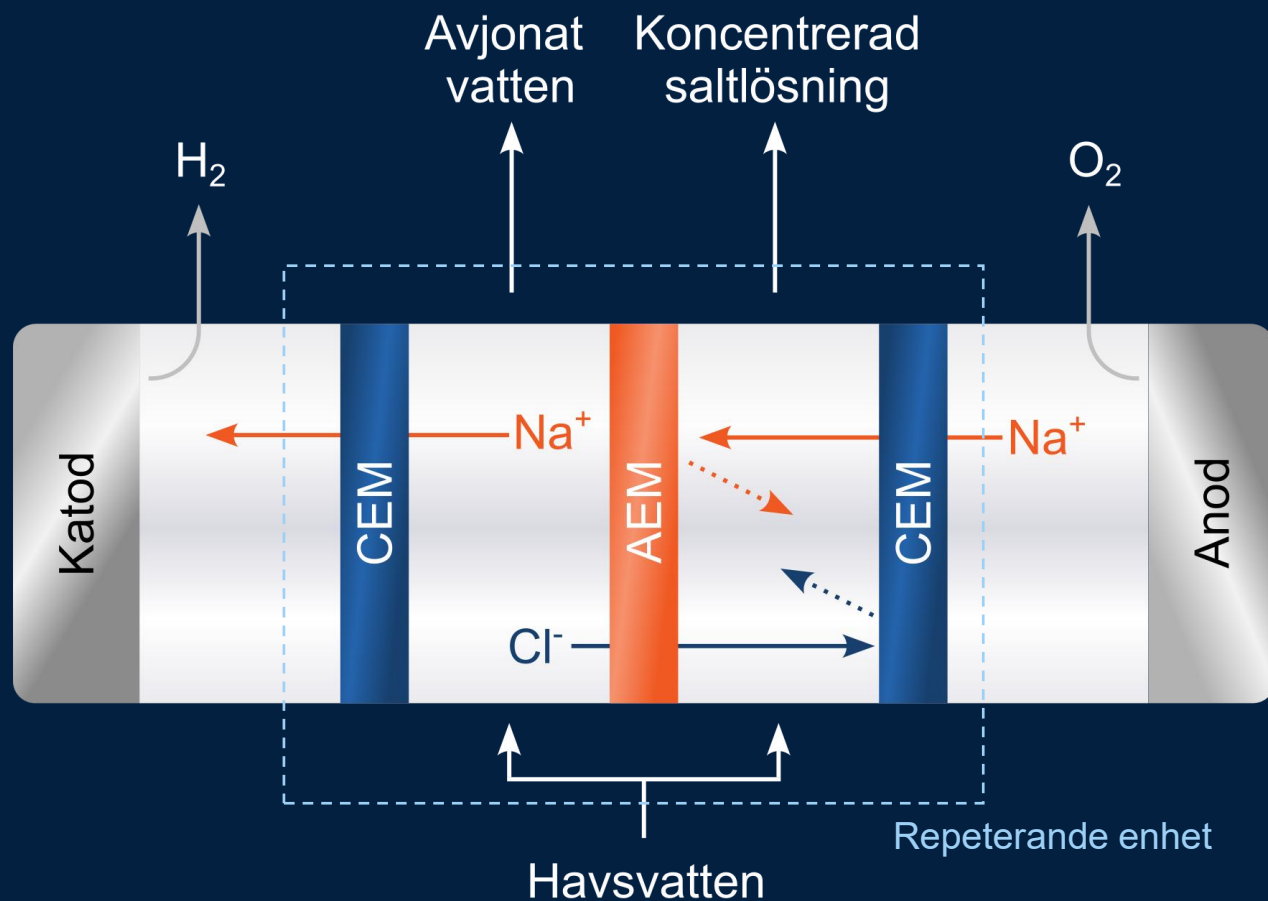
Elektrodialys

Separation av joner med semipermeabla membran i ett elektriskt fält.

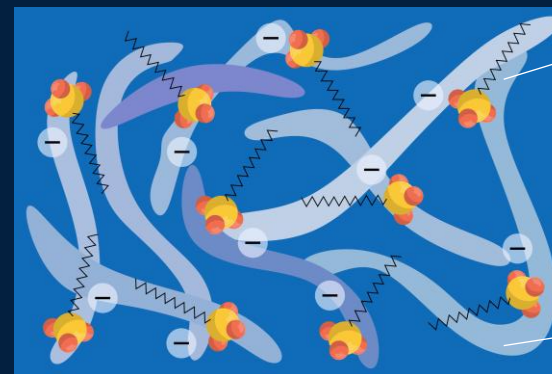
Hur fungerar elektrodialys?

CEM Negativt laddat membran, blockerar anjoner

AEM Positivt laddat membran, blockerar katjoner



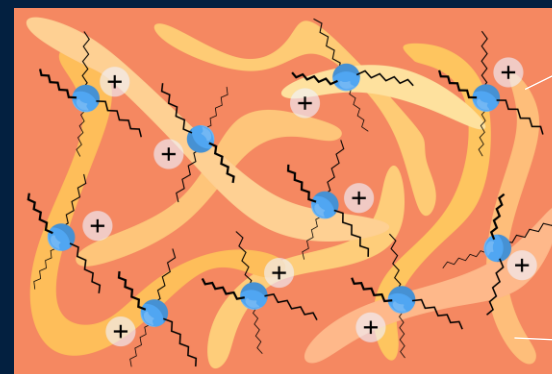
CEM struktur



Sulfonsyra
(R-SO_3^-)

Polyester

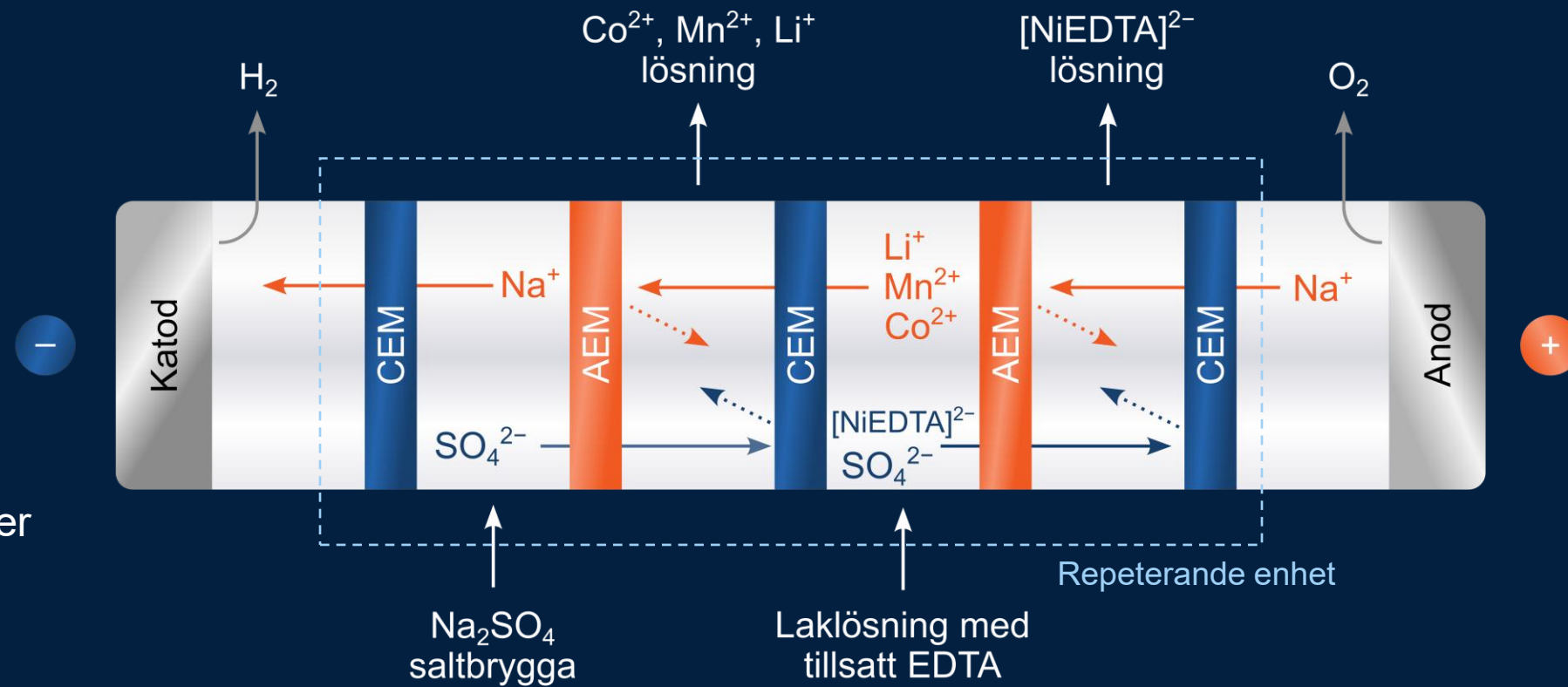
AEM struktur



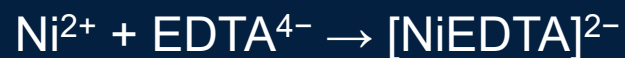
Kvartär amin
($\text{R}_4\text{-N}^+$)

Polyester

Separation av nickel med elektrodialys



Nickeljoner (Ni²⁺) bildar anjoner vid tillsats av EDTA.



[NiEDTA]²⁻ vandrar mot anoden.

Co²⁺, Mn²⁺, Li⁺ vandrar mot katoden.

Elektrodialys – fördelar och utmaningar



Få restprodukter



Förbättrad arbetsmiljö



Avlägsnande av EDTA



Utfällningar på membran



Minskat kemikaliebehov



Kontinuerlig drift



Energiförbrukning



Investeringskostnad

Försöksuppställning

Membranpaket

Pumpar

Flödesmätare

pH & konduktivitets-
mätare

Laklösning

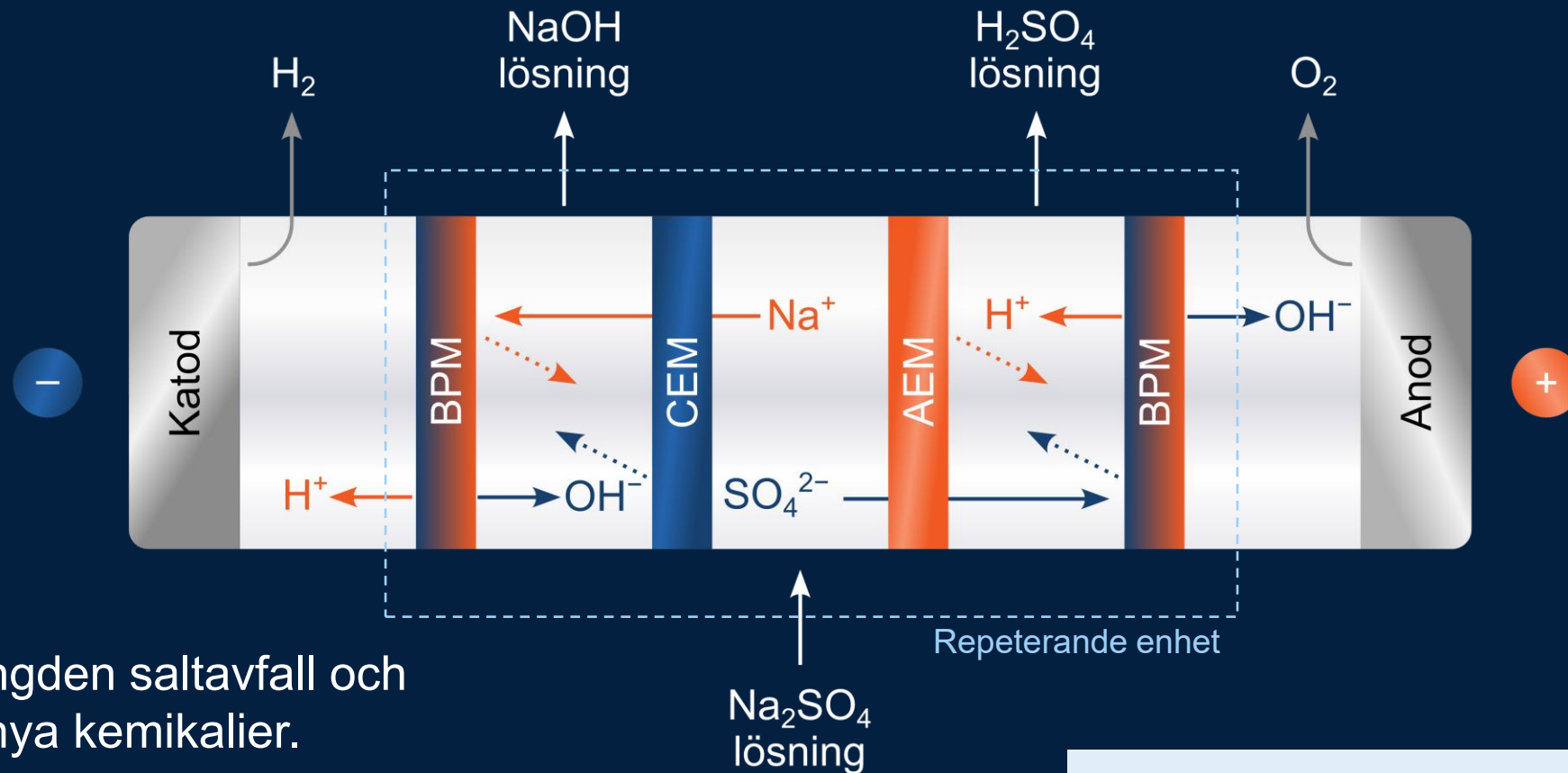
Saltbrygga

Co/Mn/Li prod.

Ni prod.

Saltbrygga

Saltspjälkning med bipolära membran



Minskar mängden saltavfall och behovet av nya kemikalier.

Mer skalbart än spjälkning med elektrolys (mindre elektrodyta).

- CEM Negativt laddat membran, blockerar anjoner
- AEM Positivt laddat membran, blockerar katjoner
- BPM Bipolärt membran, spjälkar H₂O i H⁺ och OH⁻

Natriumsulfat – ett (o)känt problem

- Upp till 1,5 ton natriumsulfat per ton producerade batterikatoder
- Sex miljoner ton natriumsulfat fram till 2030 från batteriåtervinning globalt
- Lokal miljöpåverkan, t.ex.
 - Minskad vattenkvalitet
 - Markförsämring genom saltanrikning

Kim, CH., et al. *Advancing sustainable treatment of sodium sulfate (Na_2SO_4)-containing wastewater: Recent advances in electrochemical technologies*. Chem. Eng. J. **524**, 169100 (2025). <https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.169100>



Laborationer inom batteriåtervinning



Återvinning av batterimassa

Stegvis separation av kol, metalliskt järn, koppar- och litiumjoner.

Begrepp: magnetism, löslighet, pH.



Fällningsreaktioner med litium

Fällning av litiumjoner som karbonat, hydroxid och fosfat.

Begrepp: löslighet, utbyte, halt, kinetik.



Lakning av litium och fosfor

Selektiv upplösning av litium och fosfor från litiumjärnfosfat (LFP, batterityp i elbilar).

Begrepp: redoxreaktioner, löslighet, lågfärg, spektrofotometri.

Tips på gymnasiearbeten



Litium ur havet

Undersök hur litium kan utvinnas ur saltvatten via elektrodialys och fällningsreaktioner.

Upplägg:

- Litteraturstudie.
- Separation av litium ur olika sorters saltvatten (membran kan skänkas av LTU).
- Beräkning av litiumhalt (massbalans efter fällning av kloridjoner med silvernitrat).



Från rest till resurs

Omvandling av natriumsulfat till natriumhydroxid och svavelsyra med elektrolys eller elektrodialys.

Upplägg:

- Litteraturstudie.
- Elektrolys eller elektrodialys av saltlösningar (membran kan skänkas av LTU).
- Titring av produkter.
- Energibehov vid olika strömstyrkor.



Vattenrening

Avlägsna järn och koppar från en vattenlösning (simulerat avloppsvatten) genom jonbyte.

Upplägg:

- Litteraturstudie.
- Jonbyte vid olika pH (jonbytarharts kan skänkas av LTU).
- Analys av koppar och järn genom spektrofotometri.

Kontakt

Adam Isaksson
Doktorand

✉ adam.isaksson@ltu.se

📞 076 140 99 58



Följ mig på



