



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

it's all about innovation





TEKNOLOGISK  
INSTITUT

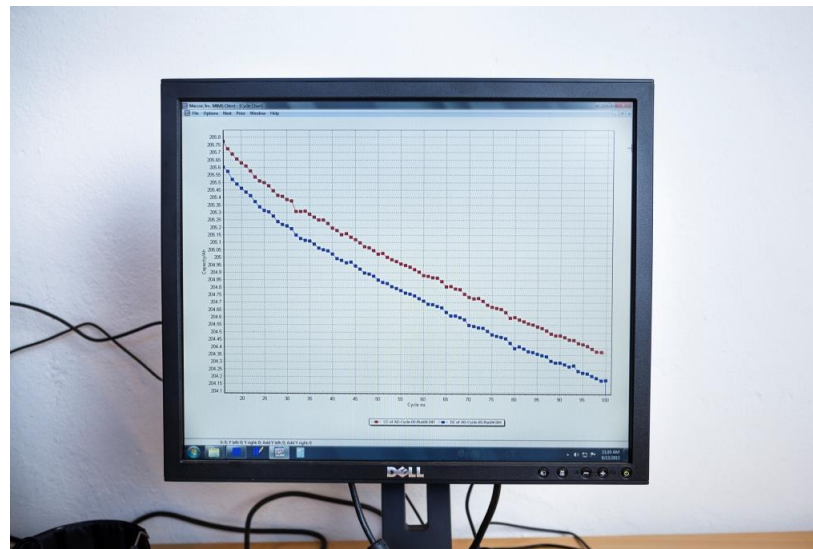
# Avanceret energilagring 2015

Trisdag 1. december 2015

# Hvorfor teste batterier?

For at skaffe oplysninger om batteriet, der ikke er tilgængelige på anden måde. F.eks.

- Overholder batteriet leverandørens specifikation ved alle driftsforhold?
- Hvilke driftsforhold er optimale for batteriet?
- Hvor længe holder et batteri, hvis det bruges på en given måde?
- Hvordan er batteriets aktuelle sundhedstilstand (SoH)?



# Eks. Batteri backup til privat solcelleanlæg.

Krav til batteripakken:

- Skal kunne levere 12kWh over et døgn.
- 12V & 1000Ah
- Placeres i frostfri garage



# Forslag 1: Blybatterier

- 12V 100 Ah Bly til 1999 kr.
- 10 stk. til 19.990 kr.
- Holder til over 1200 dybdeafloadninger



# Forslag 2: Litium-ion batterier

- 12V 100 Ah Li-ion (LFP) til 7999 kr.
- 10 stk. til 79.990 kr.
- Holder til 2000 dybdeafloadninger



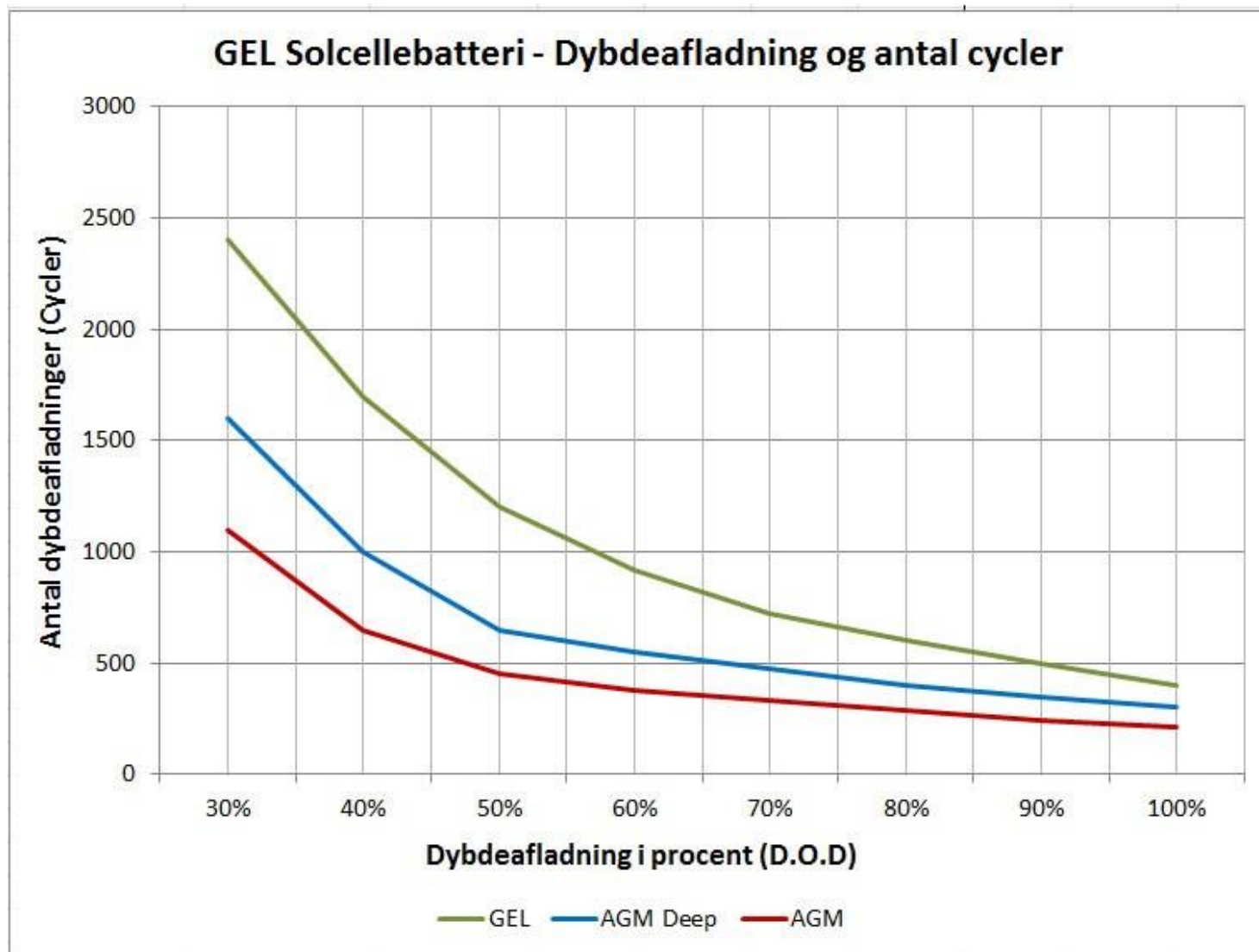
# Sammenligning

Ved 365 cykler pr. år fås:

Batteri	Investering	Cycles	Levetid	Pris pr år.
Bly-syre	19.990 kr.	1200	3,3 år	6.080 kr.
Litium ion	79.990 kr.	2000	5,5 år	15.600 kr.

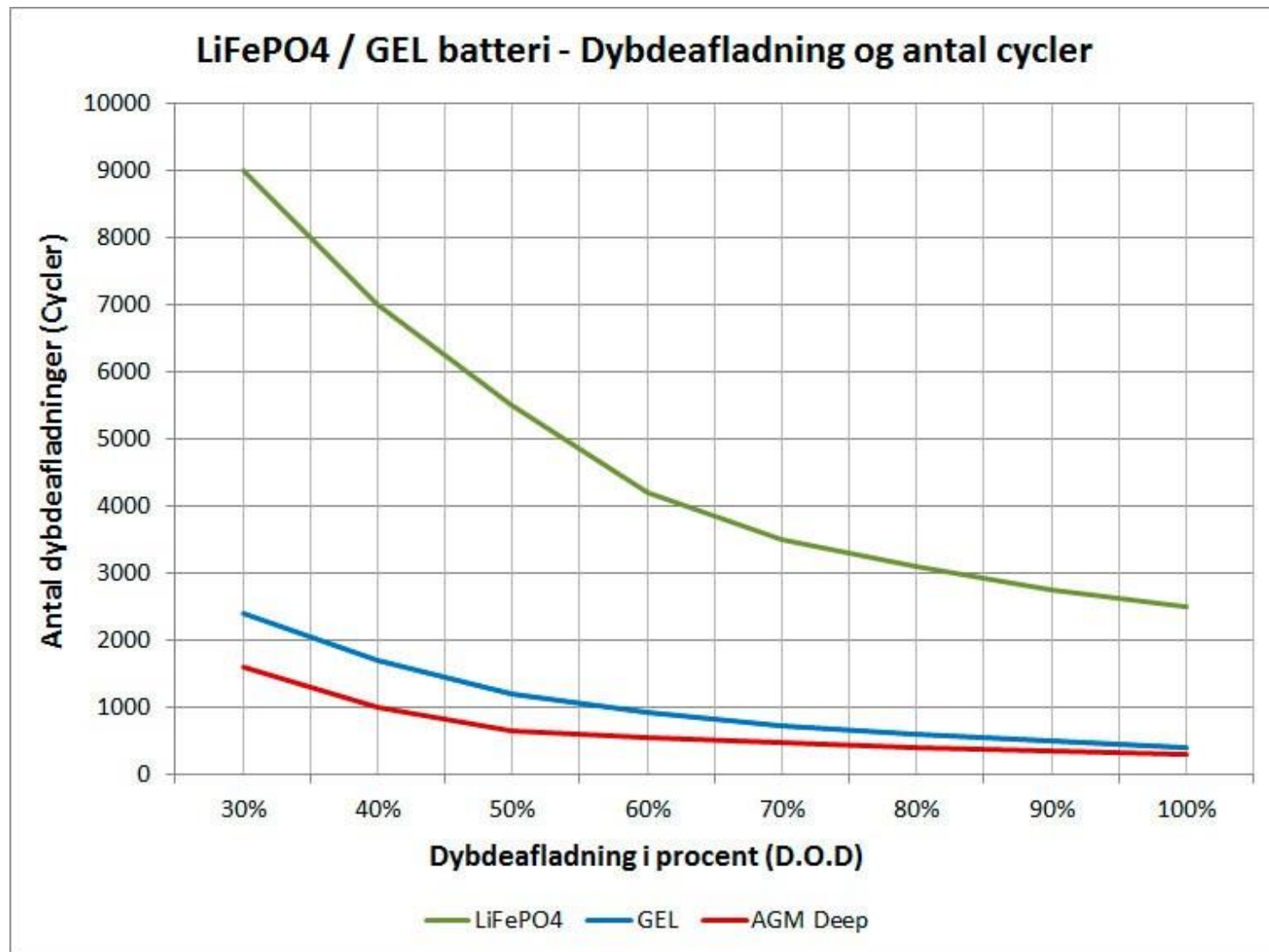
Litium-ion er 140% dyrere end bly-syre på årlig basis

# Bly-syre batteri – levetid vs. DoD



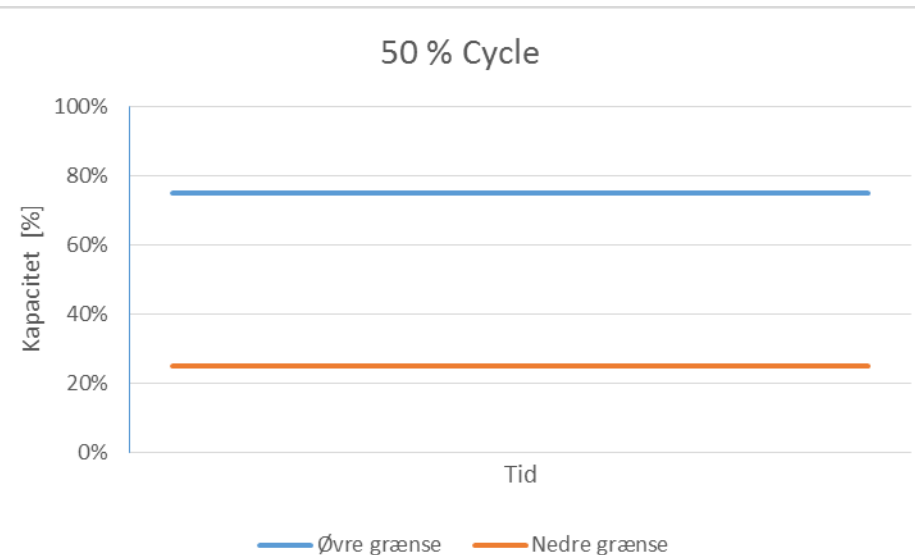
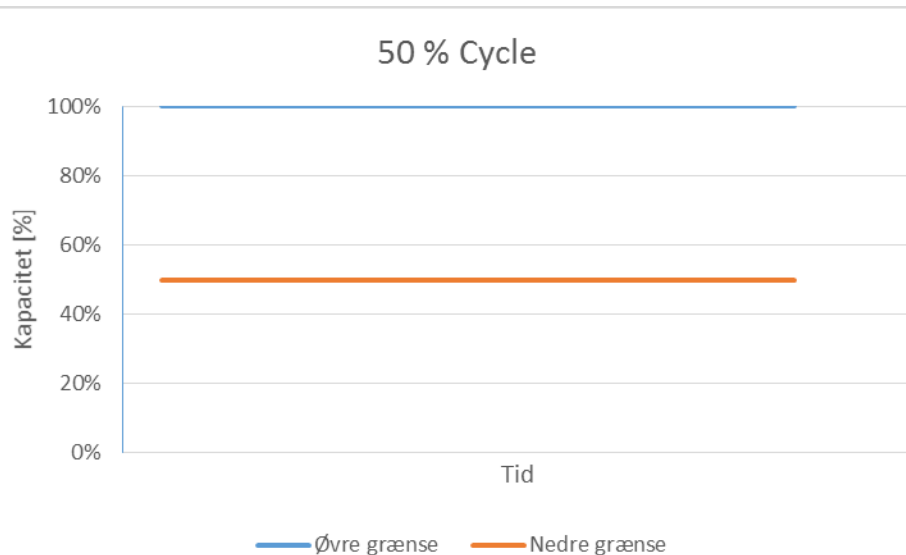


# Litium-ion batteri – levetid vs. DoD



# Cycles

- En cyklus består af en opladning og en afladning.
- Cykler karakteriseres ved:
  - Amperetimer (Ah) eller procent af batteriets kapacitet (DoD)
  - Temperatur
  - Opladnings- og afladningsstrøm (C-rate)
  - Hvor i batteriets kapacitetsområde cyklen afvikles



# Ny sammenligning

Ved 365 cykler a' 50% DoD pr. år fås:

Batteri	Investering	Cycles 50%	Levetid	Pris pr år.
Bly-syre	39.980 kr.	1200	3,3 år	12.160 kr.
Litium ion	159.980 kr.	5500	15,1 år	10.620 kr.
Litium ion	159.980 kr.	4800	13,2 år	12.165 kr.

Bly-syre er 15% dyrere end litium-ion på årlig basis.

# Levetid – fra vugge til grav

- Batteripakkens levetid har afgørende indflydelse på økonomien.
- Alle batteriers levetid afhænger i meget høj grad af, hvordan de bruges (driftsmønster), og under hvilke klimatiske forhold de bruges (temperatur).
- Hvad har betydning for batteriets levetid?



# Degraderingsmekanismer - Bly

## Mekanismer:

- Tab af elektrolyt
- Korrosion
- Sulfatdannelse på blyplader
- Stratificering af elektrolyt

## Stressfaktorer:

- Lang tid med lav ladestand
- Ah\_througput
- Opladningsrate
- Temperatur
- Tid mellem fulde opladninger



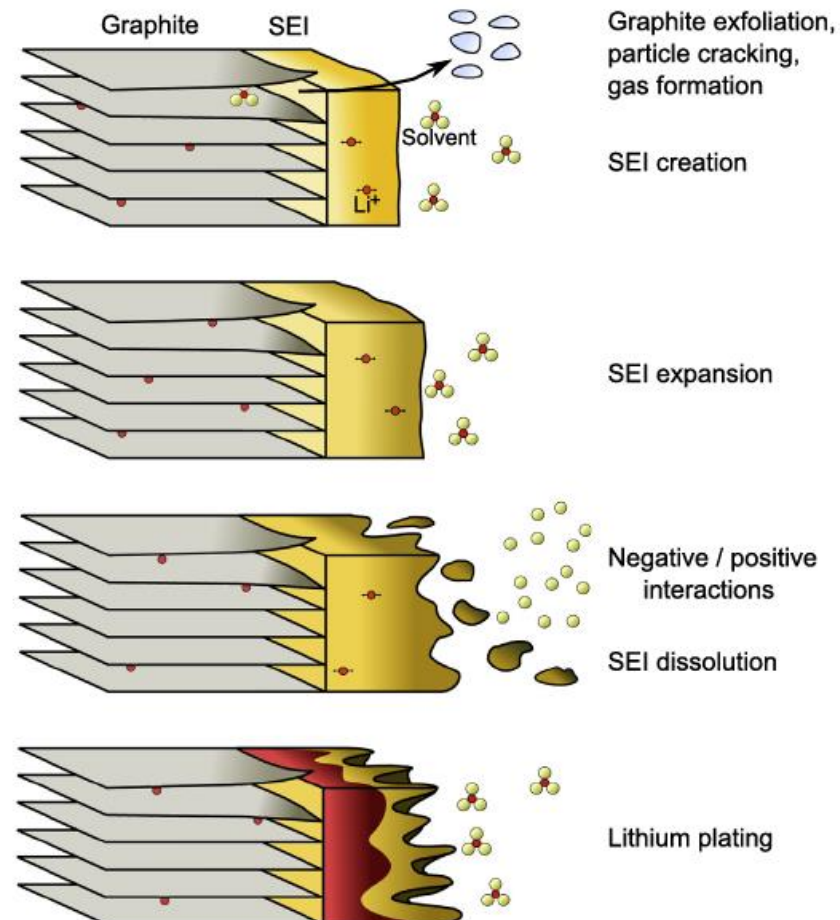
# Degraderingsmekanismer – Litium-ion

## Mekanismer:

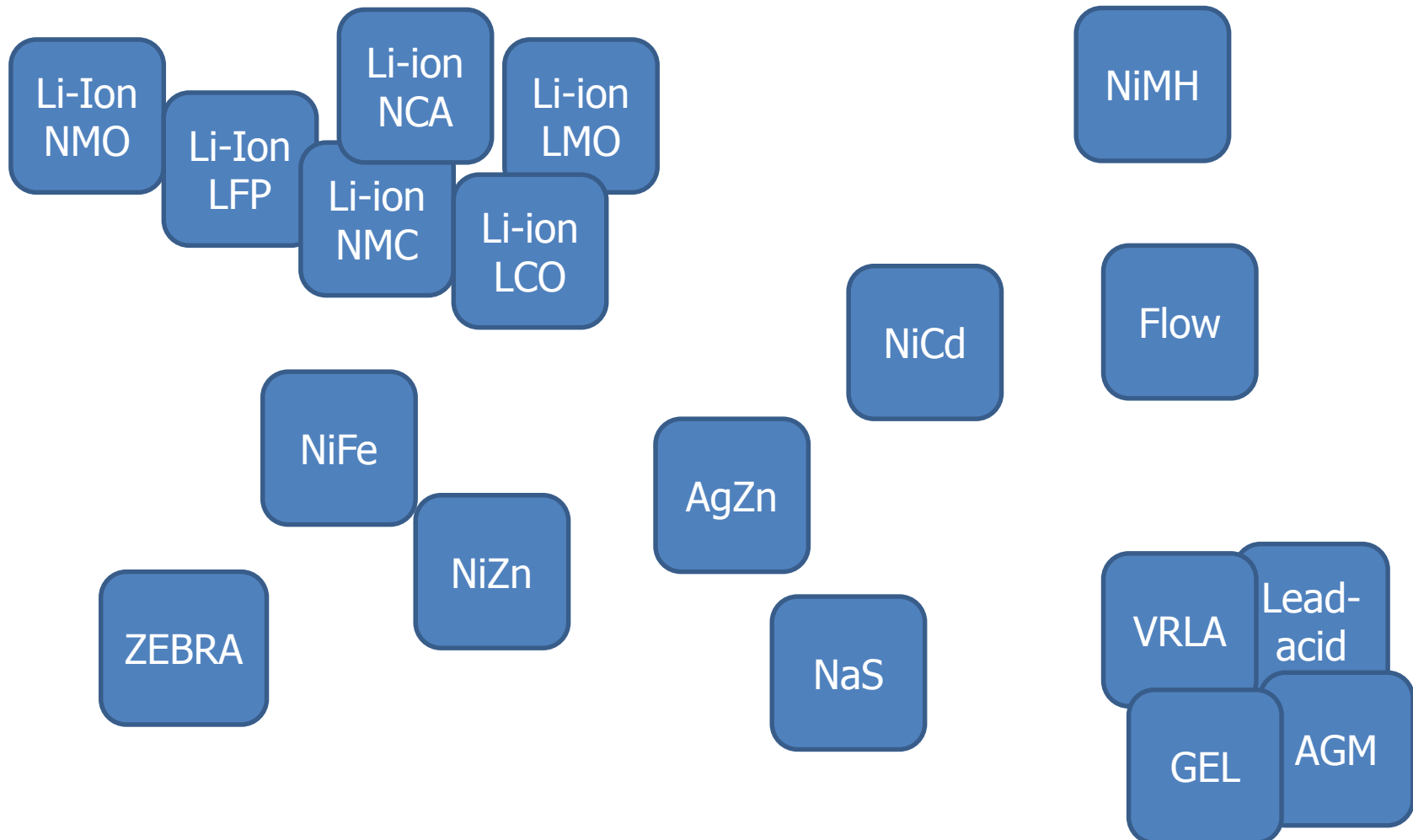
- SEI lag opbygning (SEI = Solid electrolyte interphase)
- Litium-plating
- Øvrige

## Stressfaktorer:

- Temperatur
- Op- og afladningsrate
- DoD (Depth of discharge)
- SoC (State of charge)



# Nogle batterityper

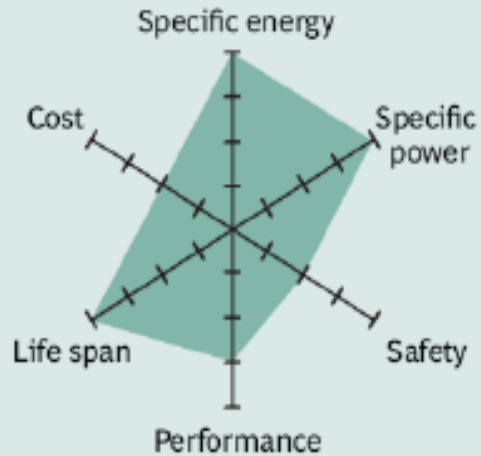


# Litium-Ion

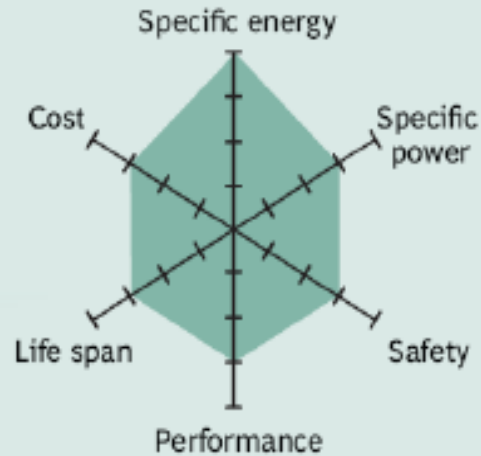


TEKNOLOGISK  
INSTITUT

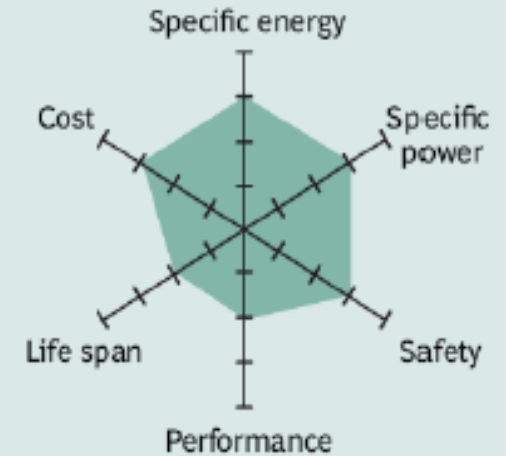
**Lithium-nickel-cobalt-aluminum (NCA)**



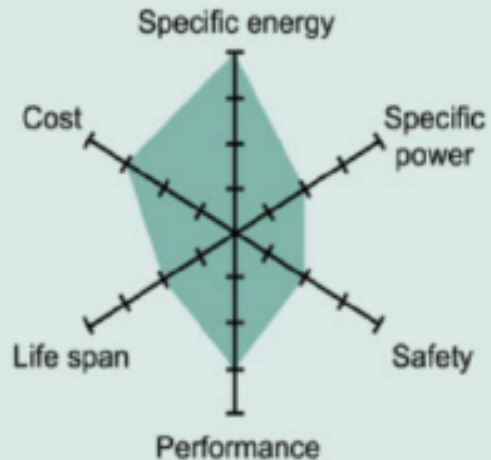
**Lithium-nickel-manganese-cobalt (NMC)**



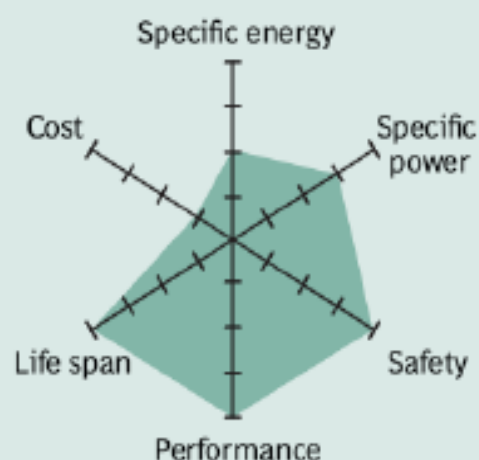
**Lithium-manganese spinel (LMO)**



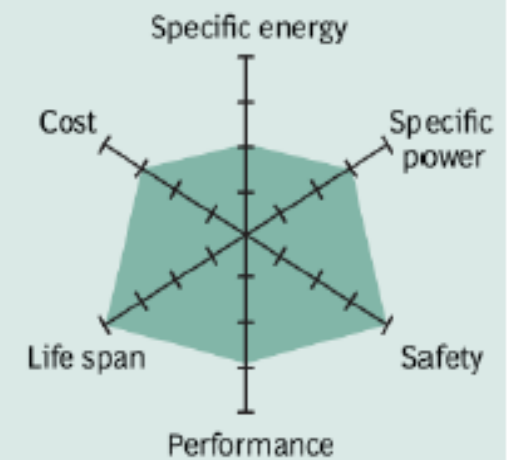
**Lithium-cobalt-oxide (LCO)**



**Lithium titanate (LTO)**



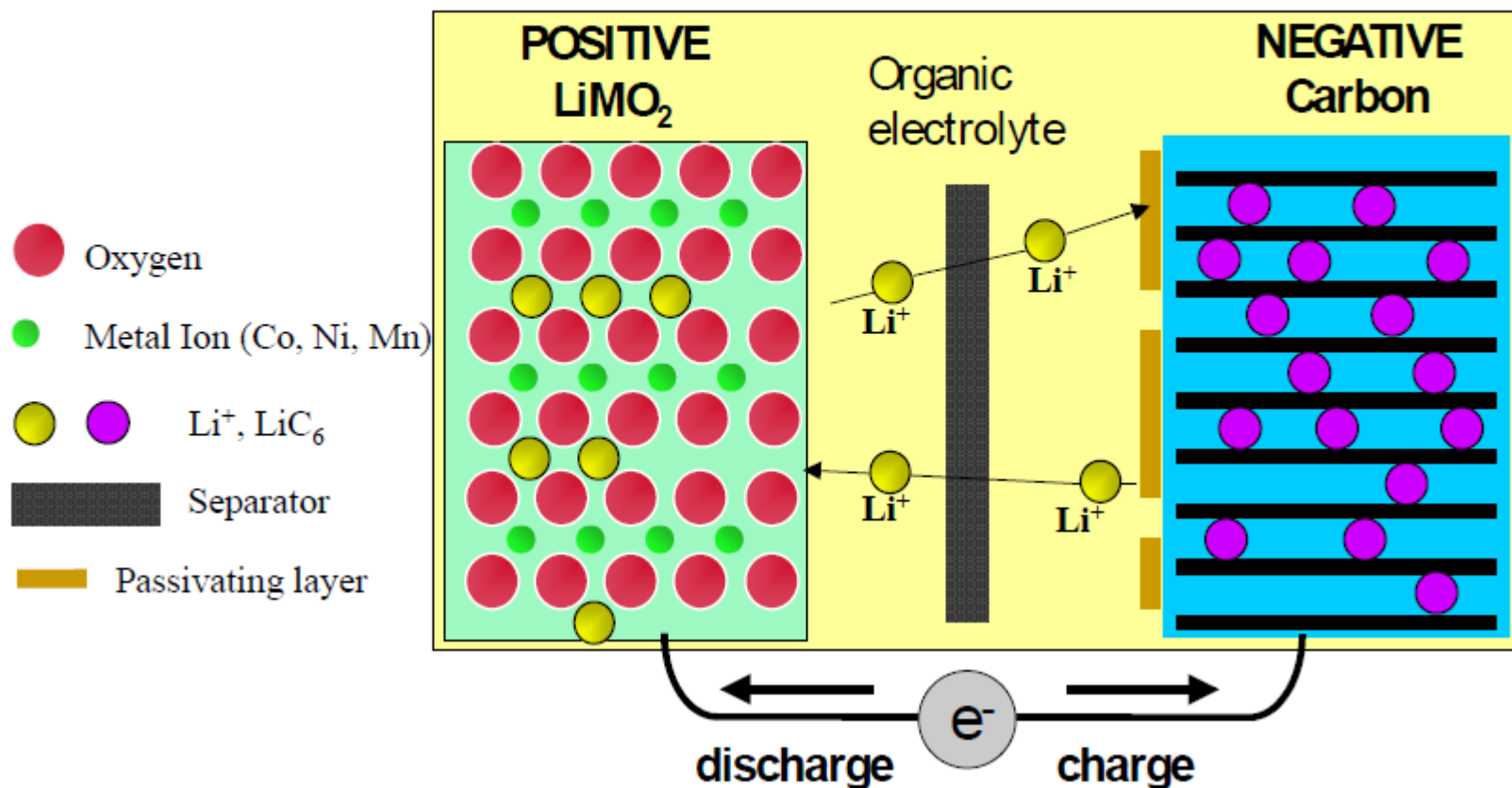
**Lithium-iron phosphate (LFP)**







# The Lithium-Ion System



# Levetid

- Kan levetiden som funktion af de forskellige stressfaktorer ikke skaffes fra leverandør / producent, så er der endnu en mulighed:

LEVETIDSTEST.



# Levetidstest



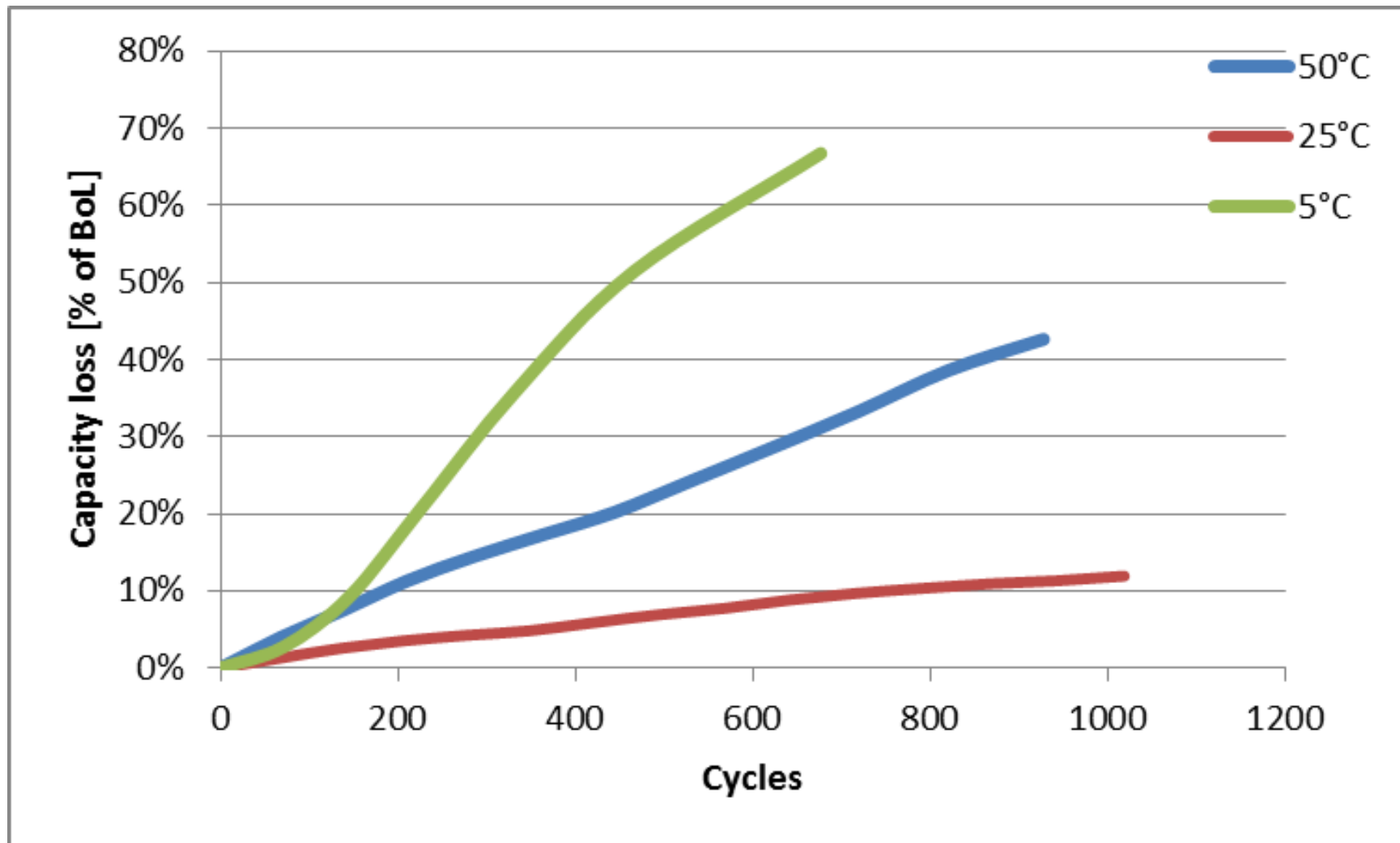
TEKNOLOGISK  
INSTITUT

- Relevant for store batteripakker
- Relevant for store batteri indkøb
- Bruges blandt andet til at:
  - underbygge business case
  - finde de optimale driftsbetingelser
  - sammenligne forskellige batterityper



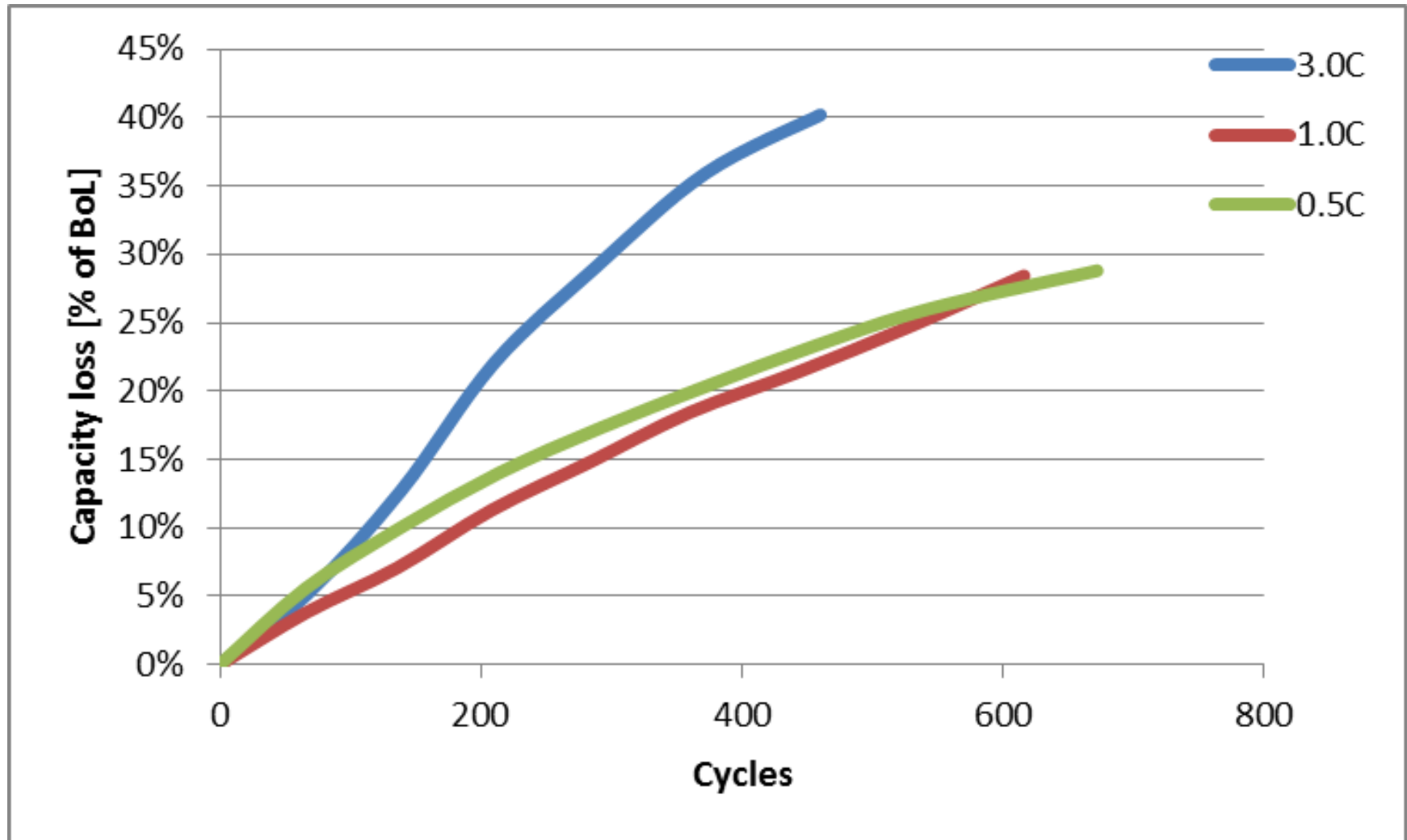
# Kapacitetstab

## Forskellige temperaturer



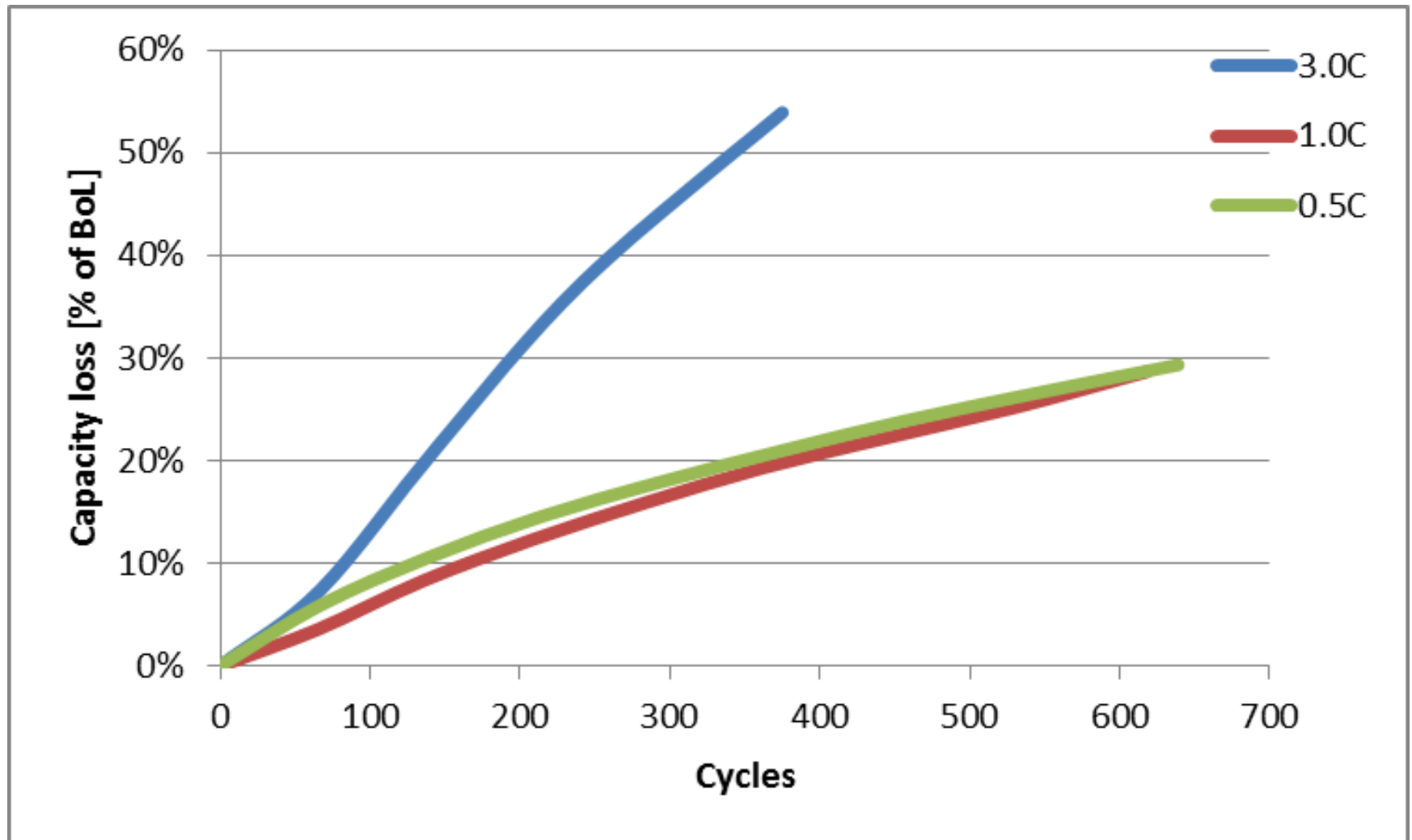
# Kapacitetstab

## Forskellige opladningsrater



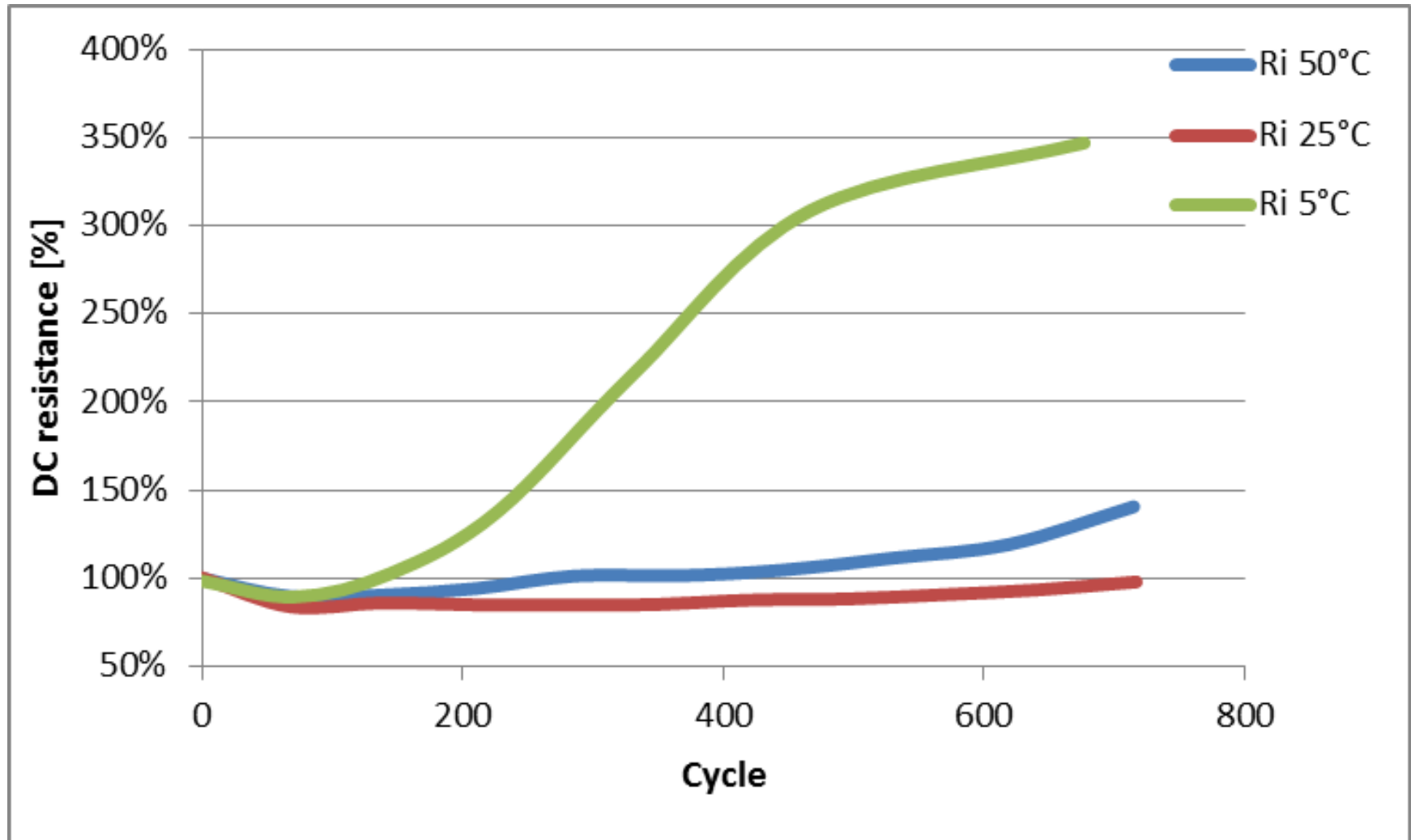
# Kapacitetstab

## Forskellige afladningsrater



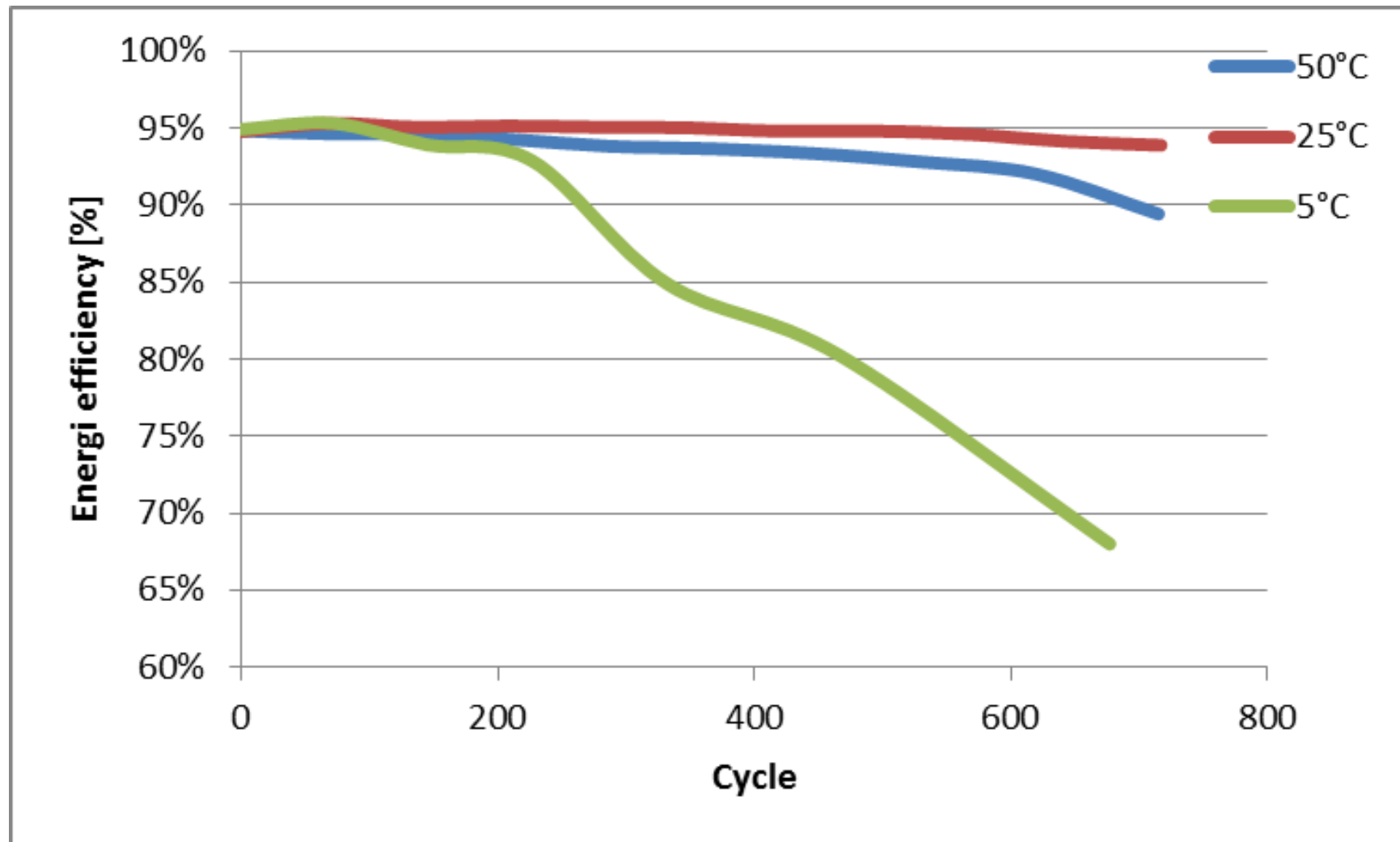
# Stigning i indre modstand

## Forskellige temperaturer



# Effektivitet

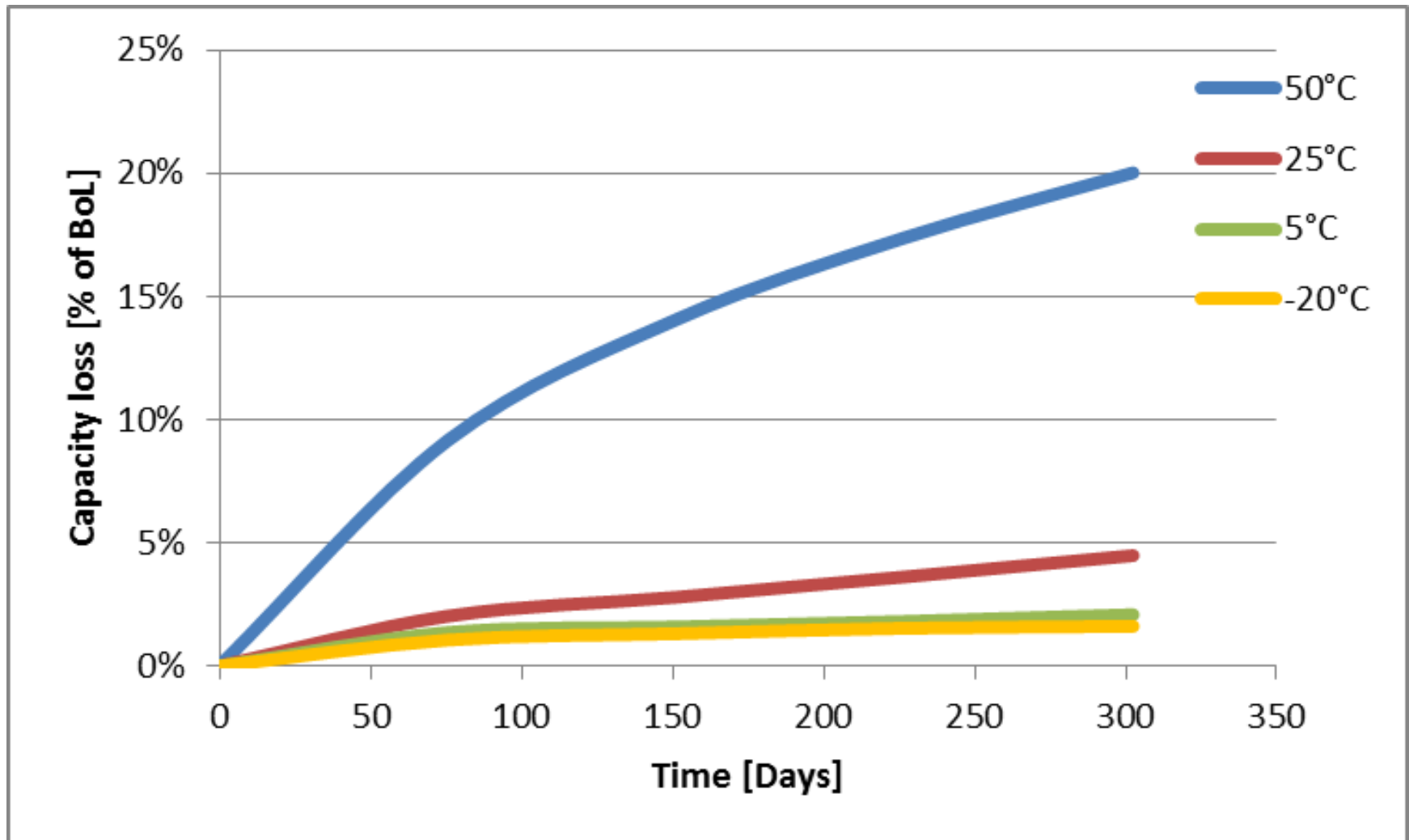
## Forskellige temperaturer





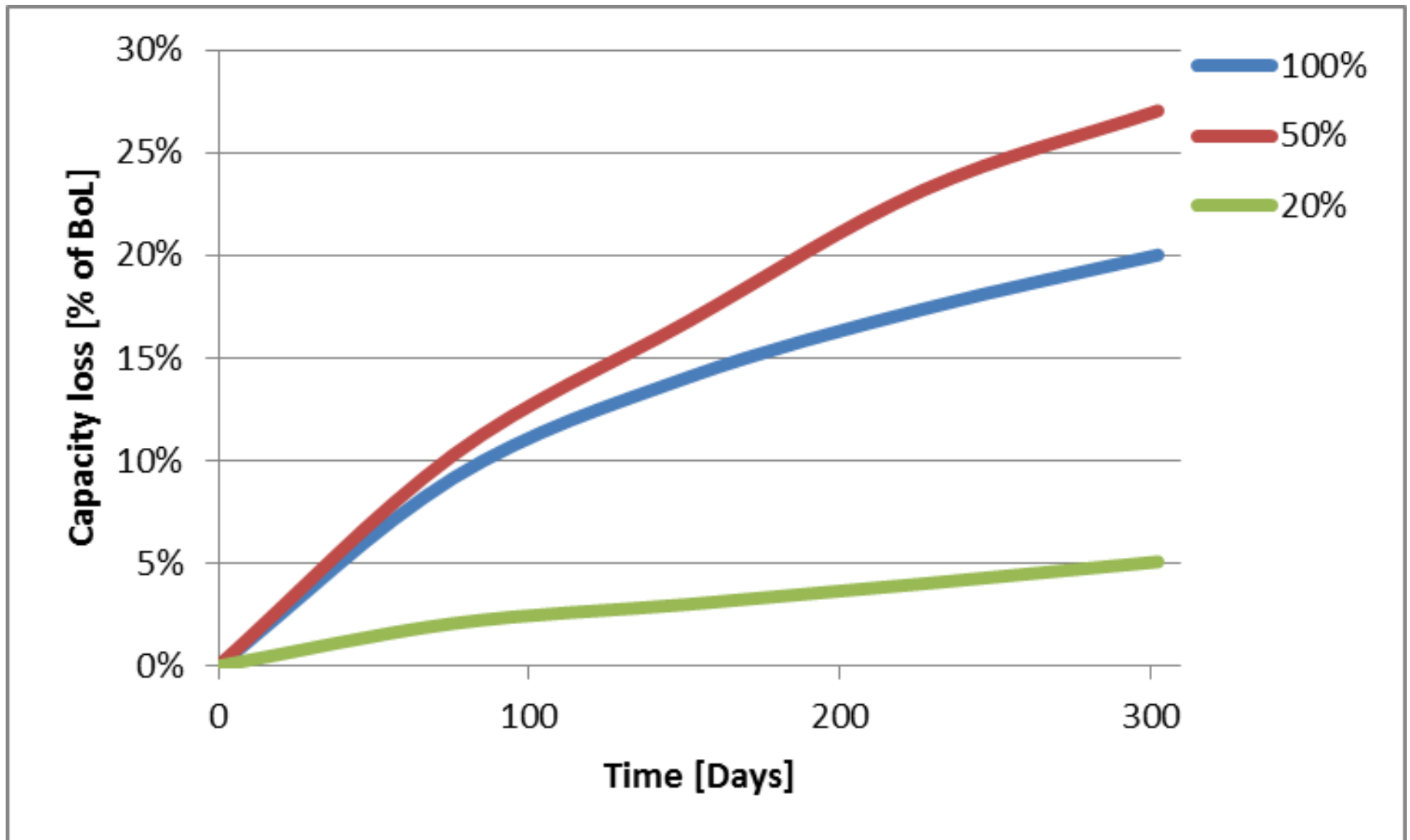
# Kapacitetstab ved lagring

## Forskellig temperaturer



# Kapacitetstab ved lagring

## Forskellig lade stand og høj temperatur



# Test af sundhedstilstand (SoH)

- Køber man et brugt batteri, kan det være rart at vide, hvor brugt det er .....



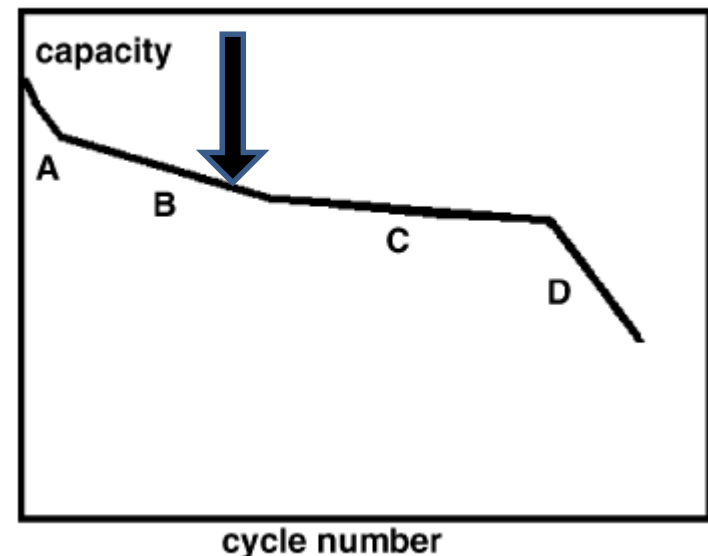
NiFe Batteri



Detroit Electric 1907

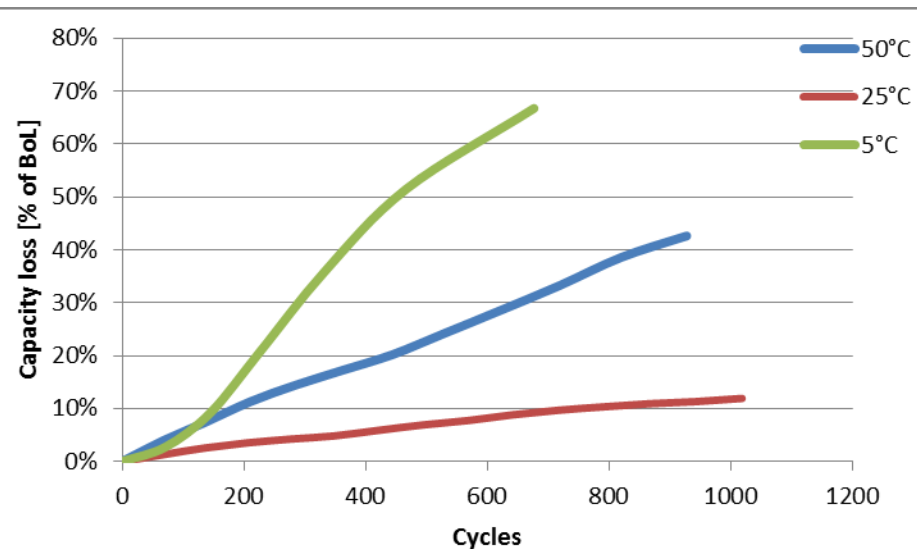
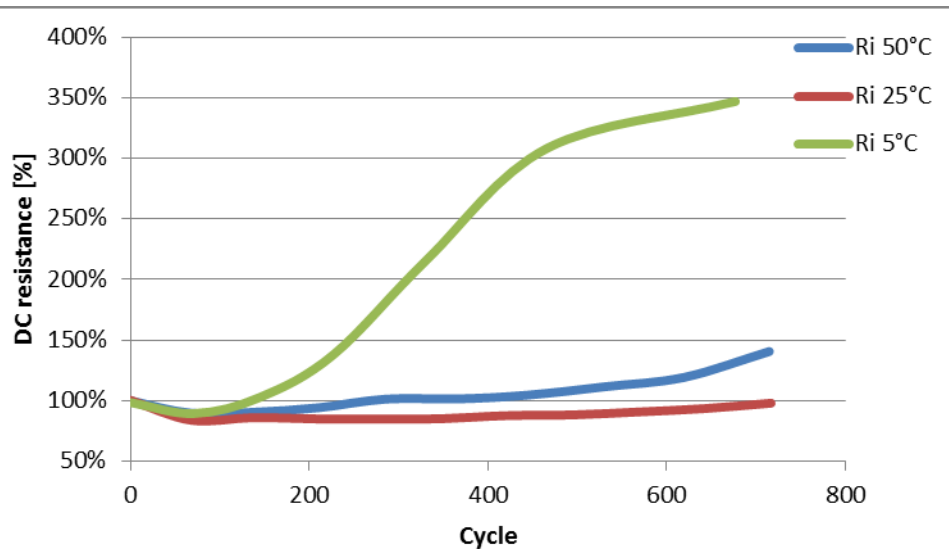
# Test af sundhedstilstand (SoH)

- State of health (SoH) er ikke et veldefineret begreb.
- Kapacitetstab og stigning i indre modstand/impedans er tilsammen et godt mål for batteriets sundhedstilstand.
- Kapaciteten (discharge) fortæller hvor meget strøm, der kan trækkes fra batteriet.
- Indre modstand er et mål for tabet i batteriet, samt for hvor stor en øjebliksstrøm, der kan trækkes fra batteriet.
- Batteriets sundhedstilstand er et mål for hvor langt det er henne i livsforløbet.



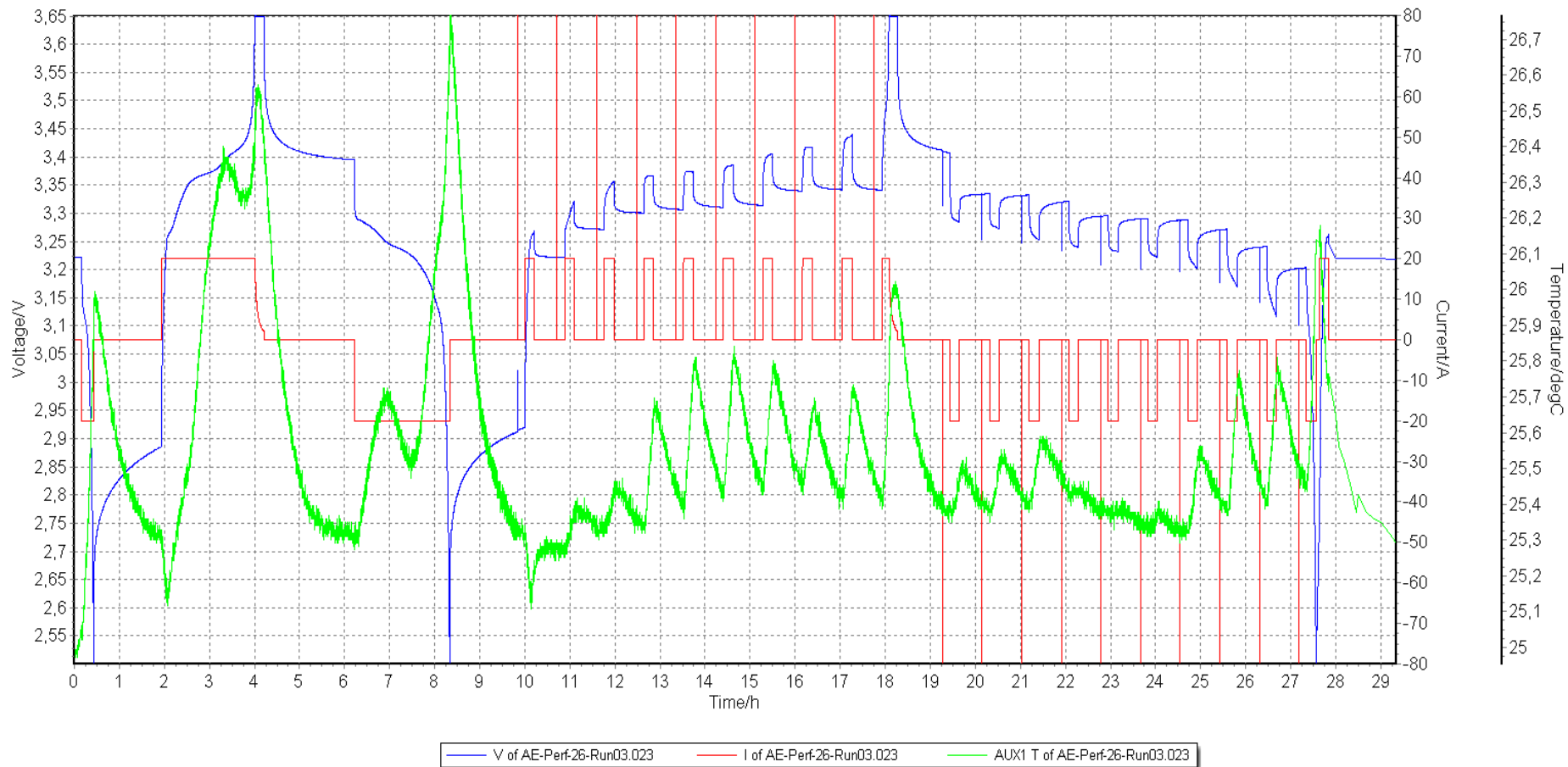
# Test af sundhedstilstand (SoH)

- Der er en vis sammenhæng mellem kapacitetstab og stigning i indre modstand
- Kapacitetstab kan IKKE kvantificeres ud fra modstandsstigningen og vice versa
- Både kapacitetstab og indre modstand måles for at bestemme batteriets sundhedstilstand.



# Test af kapacitet og indre modstand

- Kapacitet: en fuld opladning efterfulgt af fuld afladning med en given strøm og ved en given temperatur.



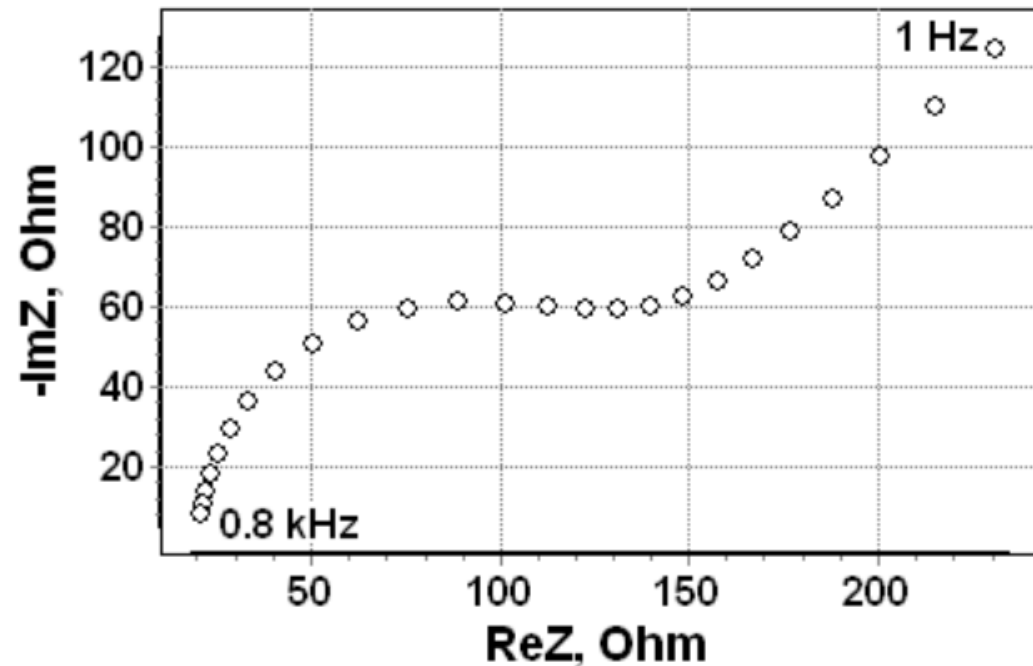
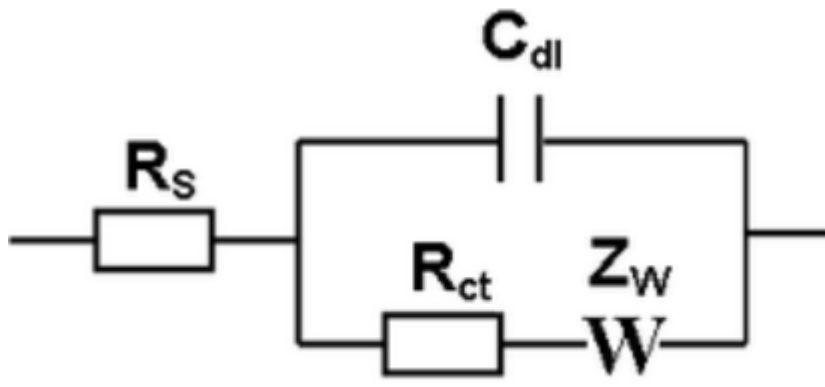
# Forskellige metoder til test af indre modstand

Method	Execution	Ri/mΩ	ΔRi/mΩ
Steps with change in cells charge	2 seconds, discharge	7.1	1
	10 seconds, discharge	13	2
	18 seconds, discharge	18	3
	2 seconds, discharge	6.7	1
	10 seconds, discharge	12	2
Steps without change in cells charge	100 ms discharge	4.5	0.7
	Discharge, extrapolated	5.8	0.9
	100 ms charge	5	0.8
	discharge off	6.6	1
	charge off	5	0.8
Energy loss	current switch	5.3	0.5
	Watt hour counting	5.3	0.8
	Calorimetry	6.5	1
AC methods	AC @ 1 kHz	2.3	0.3
	Impedance spectrum @ 1 kHz	2.3	0.3
	Impedance spectrum, intersection	4.9	0.3

Comparison of Several Methods for Determining the Internal Resistance of Lithium Ion Cells

# Impedans måling

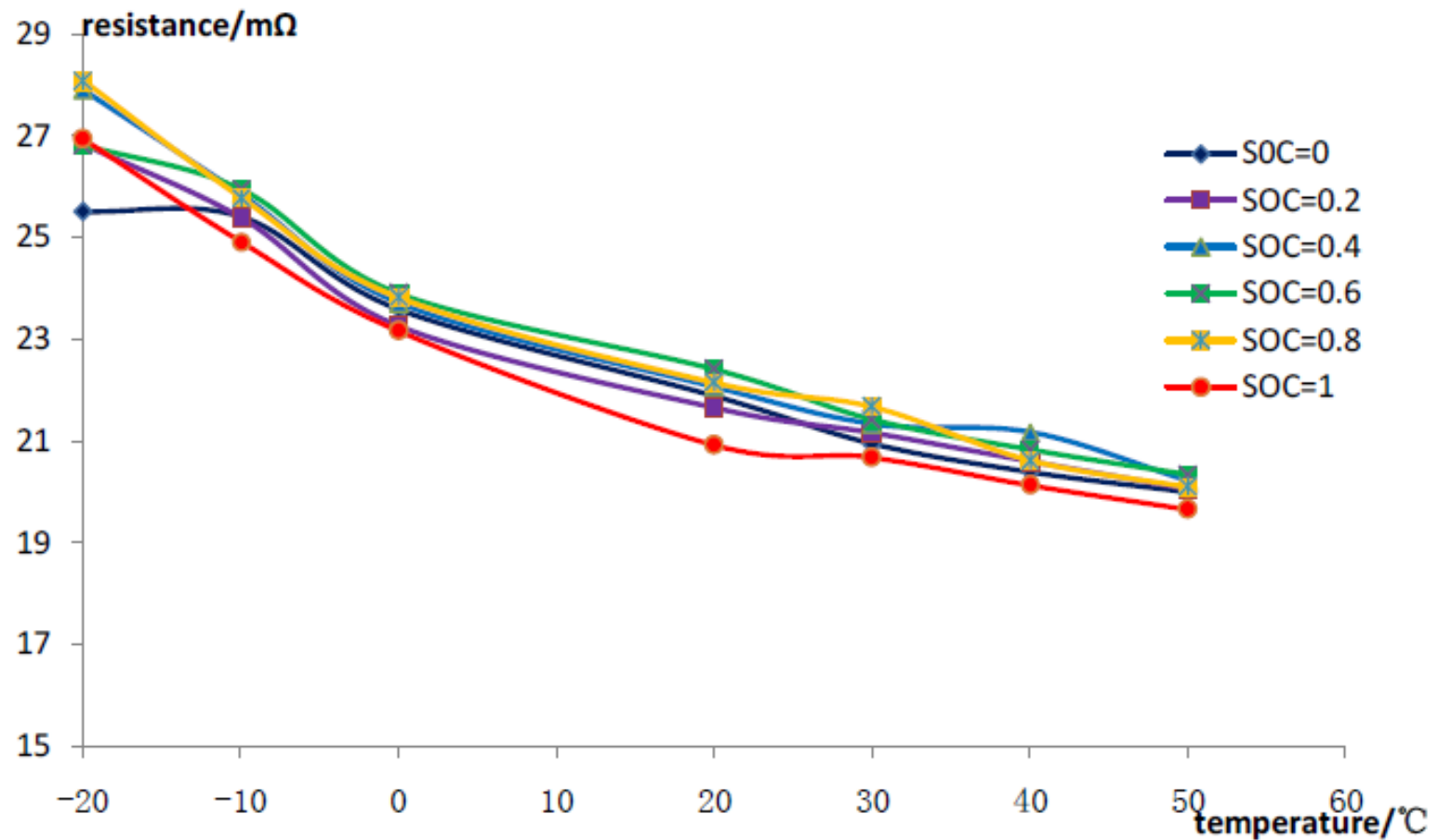
- EIS – Elektrokemisk impedans spektroskopi
- Randels ækvivalent diagram - batterimodel





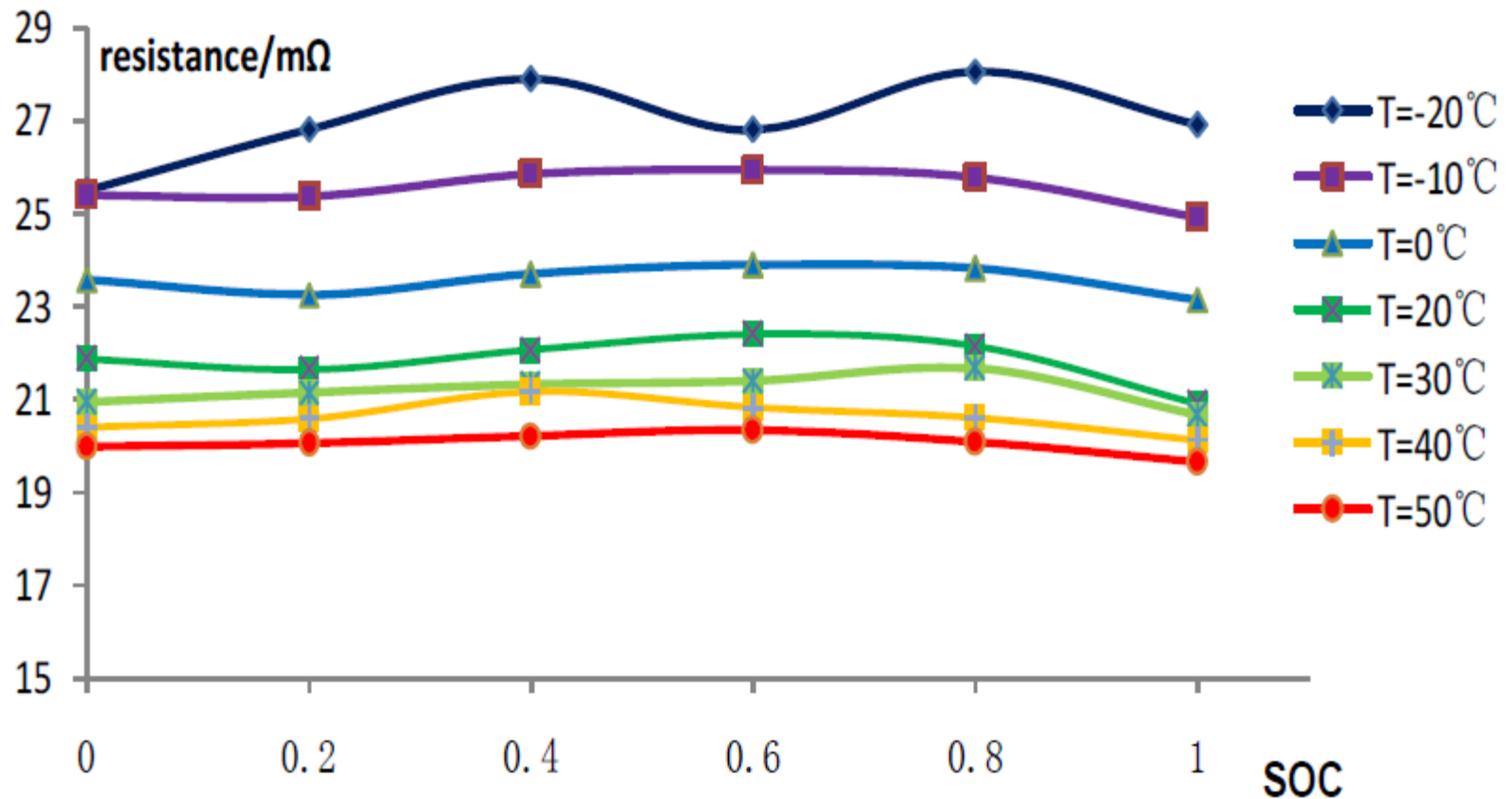
# Indre modstand

- Den indre modstand afhænger af temperatur



# Indre modstand

- Den indre modstand afhænger af ladestand (SoC)



# Test af batterisystemer

- BESS - Battery electrically storage system



# Test af batterisystemer

- Elektriske køretøjer



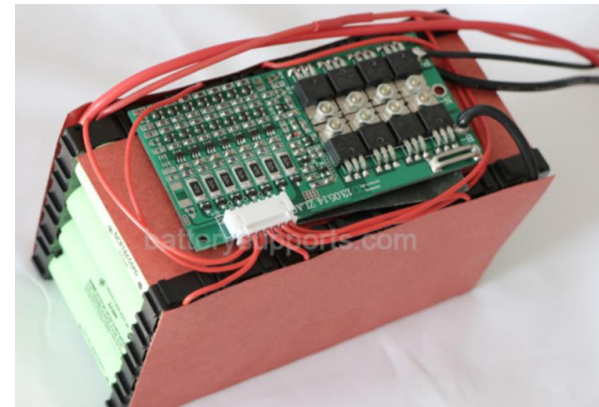
# Litium-ion sikkerhed

- Litium-ion batterier skal bruges indenfor SOA (safety operation area), ellers er der risiko for .....



# BMS - Batteri management system

- Beskytter typisk batteri pakken mod:
  - Over- og underspænding
  - Over- og undertemperatur
  - Høj strøm (kortslutningssikring)
- Forestår ballancering af pakkens celler
- Blander sig desuden ofte ved at
  - Begrænse spændingsområdet
  - Begrænse den brugbare del af kapaciteten
  - Begrænse lade strøm ved høje og lave temperaturer
  - Begrænse lade strøm ved nær øvre spændingsgrænse (ballancering)



# Test af batterisystemer









## Pakkeafhængig

- Kapacitetstest:
  - Viden om BMS og dets funktioner – evt. afkobling af BMS
  - Forsyning og last
  - Måle metoder
  - Pakke versus modul test
- Test af indre modstand
  - Viden om BMS og dets funktioner – evt. afkobling af BMS
  - Målemetode & udstyr
  - Indflydelse fra kabling og andre systemkomponenter
  - Pakke versus modul test
- Termografering af forbindelser


# Test af El-bilens batteripakke

- El-bilens batteriterminaler er godt beskyttet mod pilfingre. Bryder man alligevel ind i det elektriske system bortfalder garantien.
- Tilgang via lade stikket åbner mulighed for at måle charge kapacitet, hvis man har tilstrækkelig viden om bilens BMS funktioner.....



	Type 1/USA	Type 2/Europa	GB/China
Alternating current (AC)	 SAE J1772/IEC 62196-2	 IEC 62196-2	 GB Part 2
Direct current (DC)	 IEC 62196-3	 IEC 62196-3	 GB Part 3/IEC 62196-3
„Combined AC/DC charging system“	 SAE J1772/IEC 62196-3	 IEC 62196-3	





# Tak for opmærksomheden Spørgsmål ?

Bjarne Johnsen

Seniorkonsulent

Teknologisk Institut

Batterilaboratoriet

Transport & Elektriske Systemer

7220 2776

bah@teknologisk.dk