

Rent vand til industrien

Karakterisering og international sporbarhed

Metrologidag 18. maj 2011

Hans D. Jensen
Dansk Fundamental Metrologi



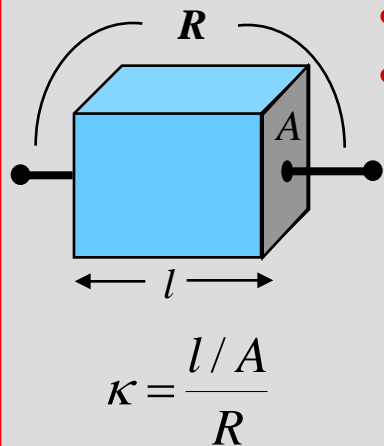
- **Rent vand, UPW**
- **Karakterisering af renhed**
- **Ledningsevne**
- **Sporbarhed**
 - Referencematerialer
 - Primærnormaler
- **Lav ledningsevne**
- **Skalering**
- **Sporbarhed for UPW**

- **Anvendes bredt i industrien**
 - Farmaceutisk industri
 - Fødevarer
 - Kraftværker
 - Elektronikindustri
- 'Referencemateriale' kemi, flow, densitet, temperatur
- **Globalt marked ~ 20 mia. kr**

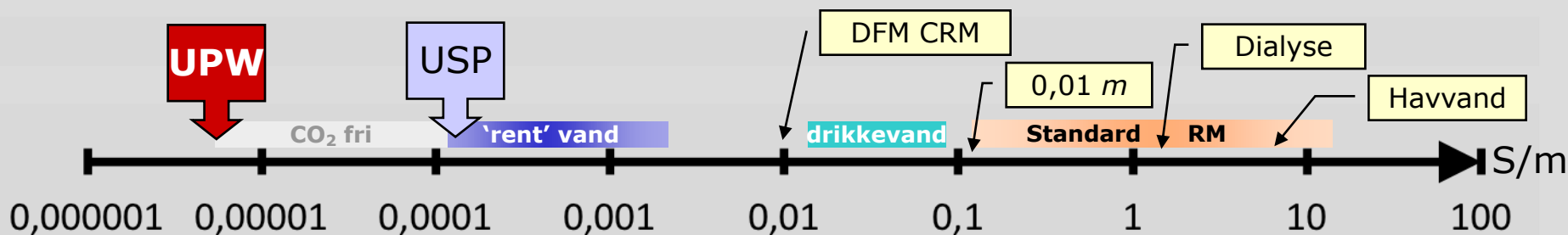


- **Bestemme det der ikke er H₂O**

- Rensning: Destillering, ultra-filtrering, omvendt osmose, ...
- UPW: Ultra-pure water
- Rest-’forurening’ i form af ioner (opløste salte, gasser)
 - Ioner leder strøm → ændring af elektriske egenskaber → kan måles nemt og billigt
 - Stor følsomhed: 1 ppb NaCl i UPW (1/4 tsk i olympisk svømmebassin) øger ledningsevnen med 5 %



- **Ledningsevne skala**



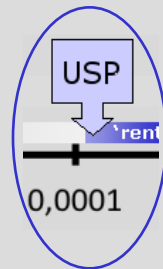
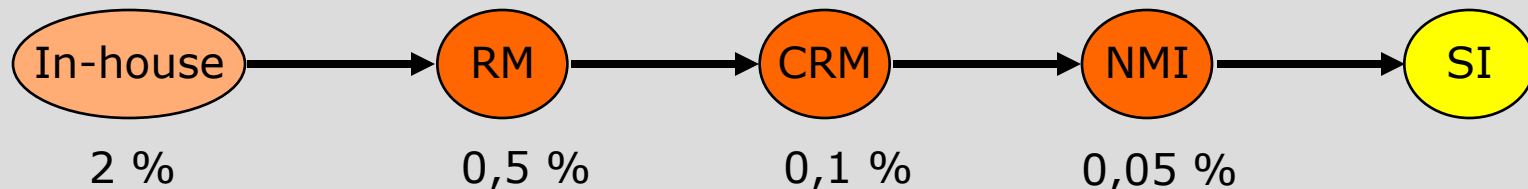
- **Regelsæt (Farmakopé)**

- USP 23:

fra måling af specifikke ioner → **ledningsevne** < 1.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$

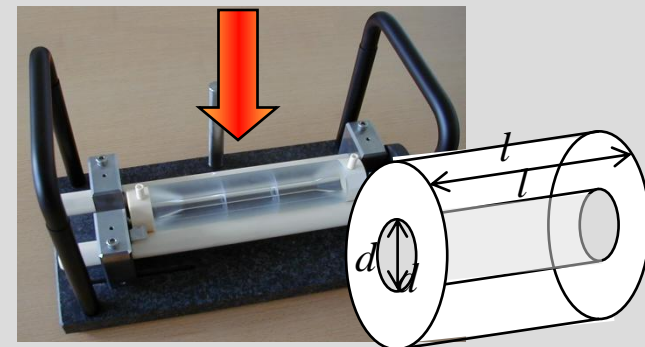
- Dokumenteret "sporbar til NIST"

- **Sporbarhed**



- **DFM sporbarhed for ledningsevne**

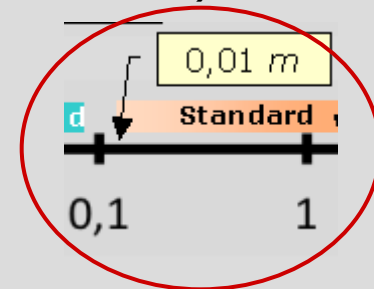
- Differentiel geometrisk celle
Ledningsevne i en udmålt cylinder
- Sammenlignet med NIST



RM

- **Standard reference materialer**

- DS/EN 60746, DS/EN 27888, OIML R56, **IUPAC**
- 0,01 – 0,1 – 1 molal KCl(aq) – (4 størrelsesordner fra UPW!)
- NB! Fejl, forskellige 'opskrifter' og (implicit) usikkerhed 1-2 %



CRM

- **(Certificerede) reference materialer, CRM**

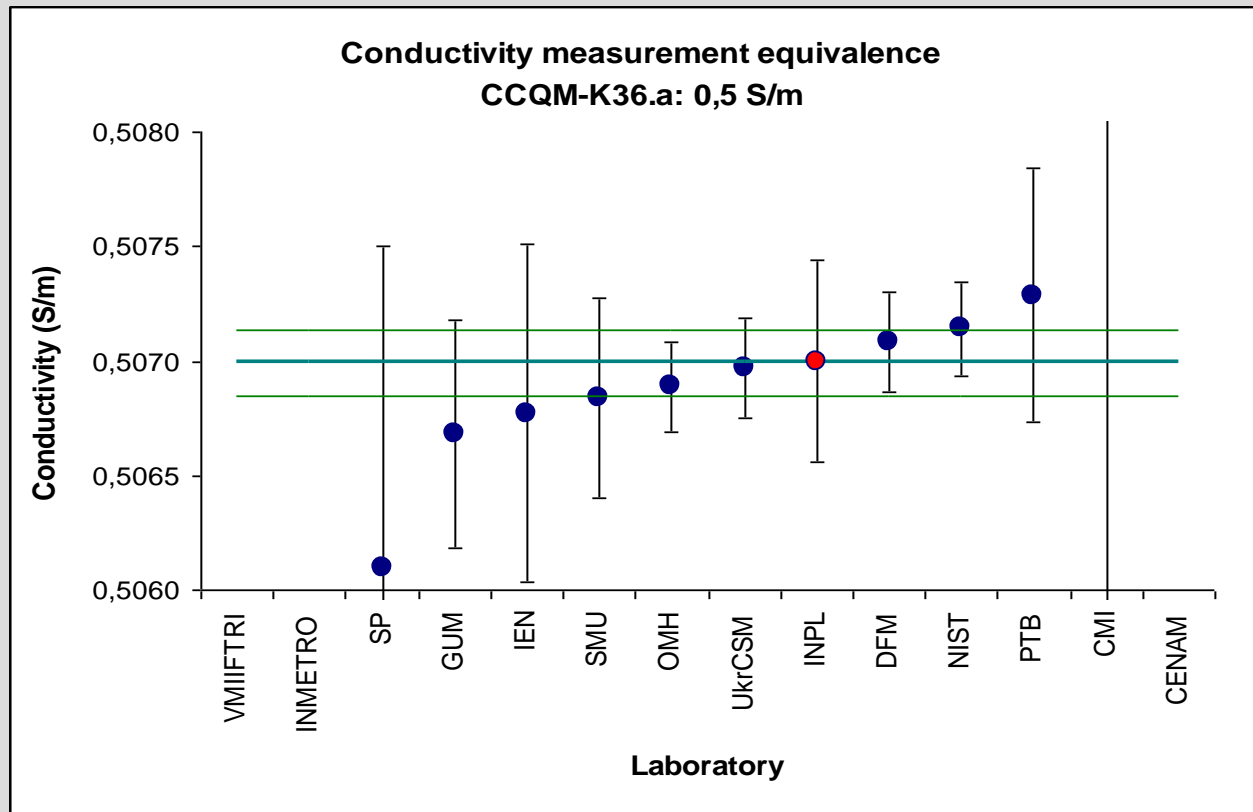
- Få med dokumenteret sporbarhed (akkrediteret)
- (Dækker akkrediteringen CRM?)

NMI

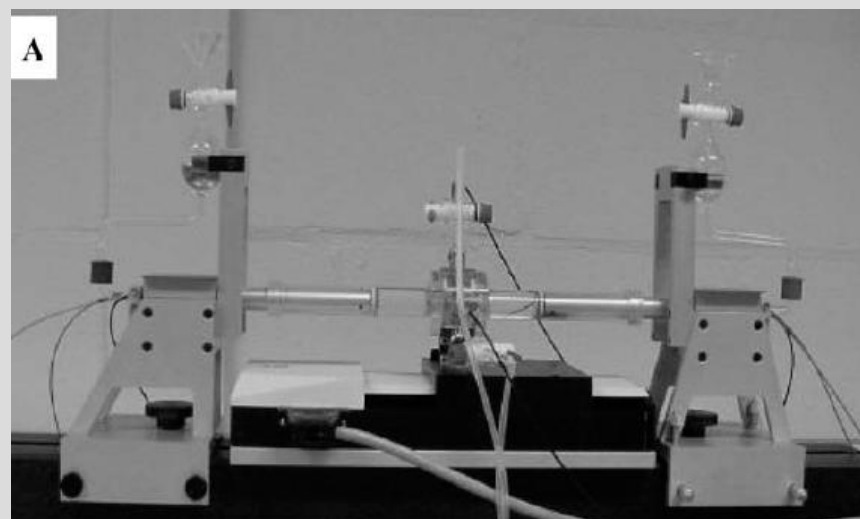
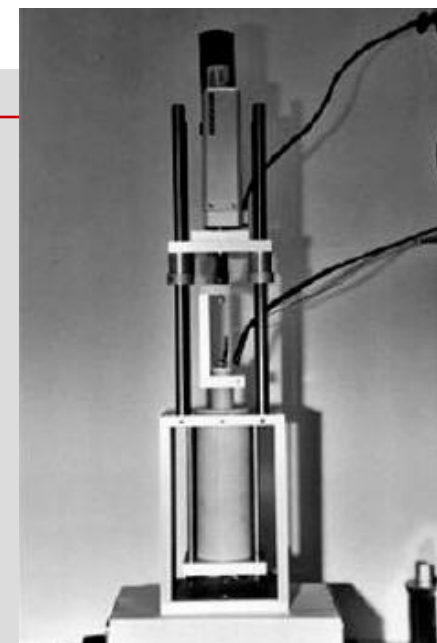
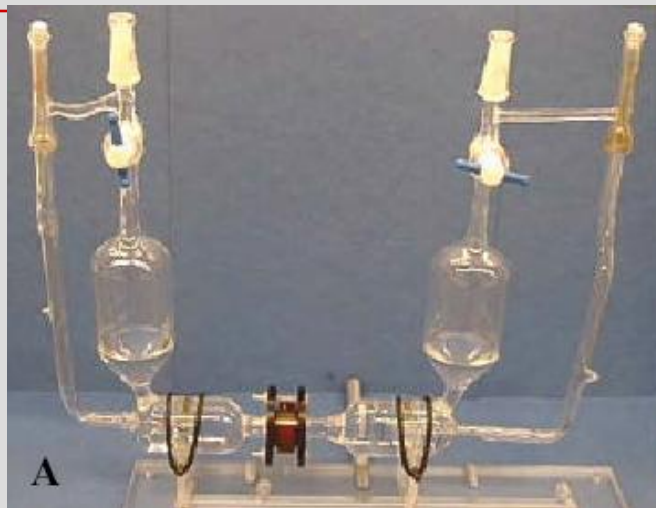
- **International sammenlignelighed, NMI**

- CCQM arbejdsgrupper
- regionale metrologiorganisationer
- lokale akkrediterede laboratorier

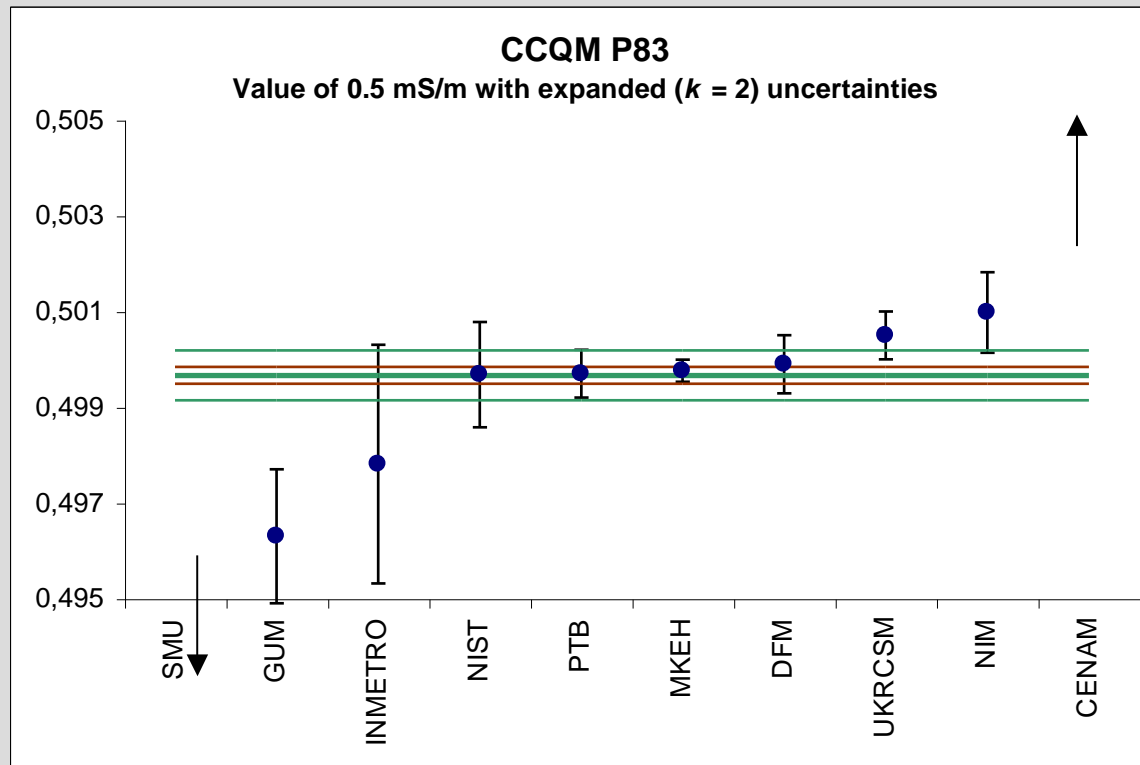
- Første 'nøgle-sammenligning' mellem NMI'er



Primære måleceller

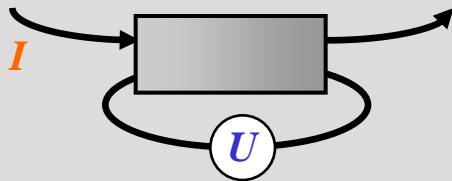


- En faktor 1000 lavere ledningsevne



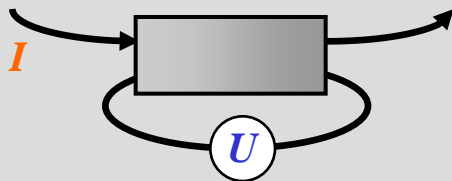
Reported results. Heavy green line is weighted average. Brown lines indicate expanded uncertainty of weighted mean. Light green lines are expanded uncertainty including single-sample contribution.

- **Resistans – god klassisk elektrisk størrelse**

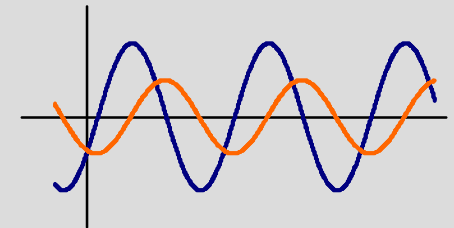


$$R = U / I$$

- **Impedans**

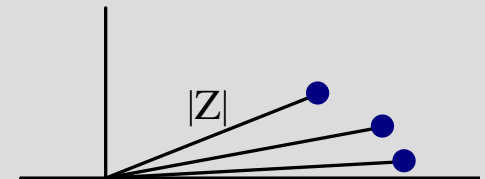


$$Z = U / I \angle \theta$$

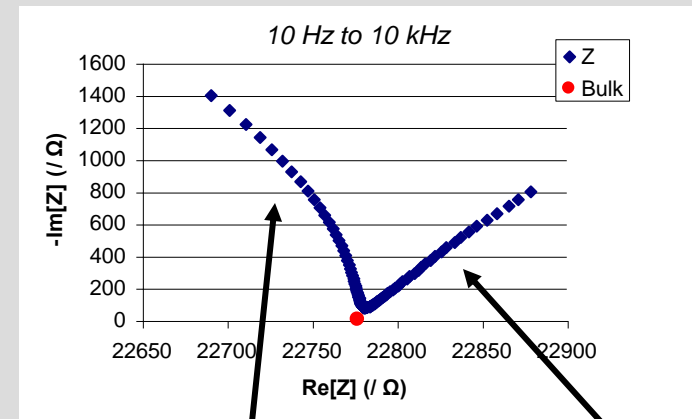
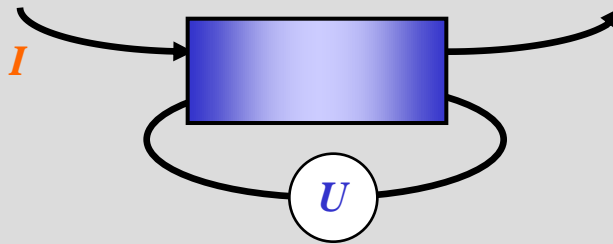


- **Impedansen afhænger af frekvens**

- Impedans spektroskopi et vigtigt værktøj til at forstå elektrokemiske systemer



- **Ledningsevne i praksis (ioner i vand)**



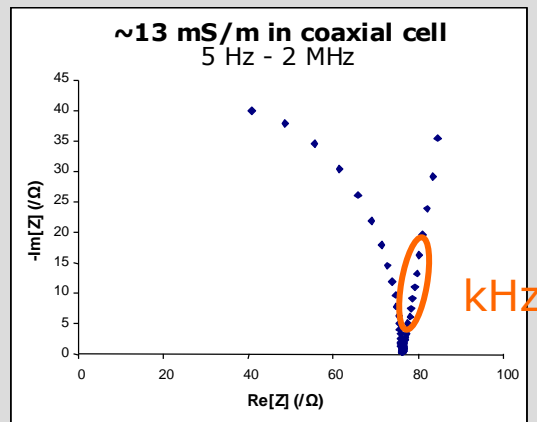
- **Bestemmelse af ledningsevne**

- God reproducerbarhed
- Men polarisering og geometriske effekter skal elimineres
- Hver fabrikant sin metode til at kompensere for polarisering (faste frekvenser, puls drevet, ...)
- Svært sammenlignelige, sjældent lineære

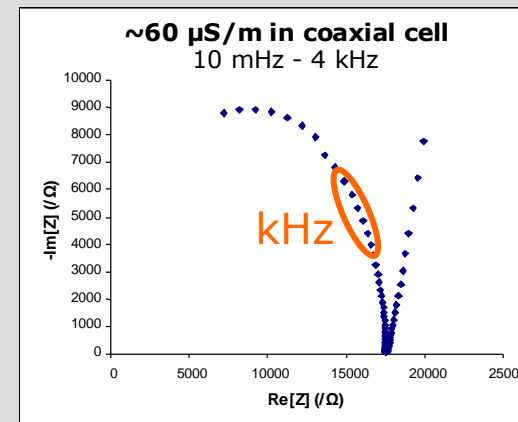
Geometrisk

Polarisering

- **Problemet med skalering**



Kalibrering med (lav) ledningsevne CRM



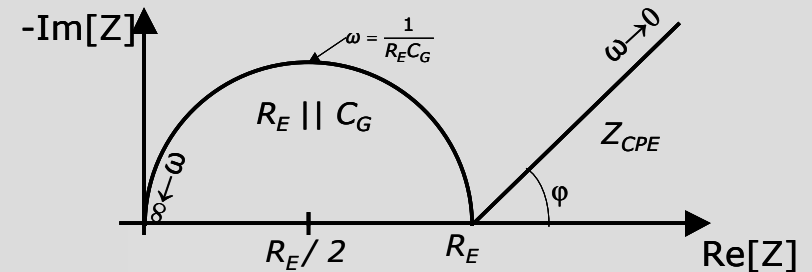
Anvendt til måling af ledningsevne i rent vand

- **Nødvendigt med en 'universel' model**

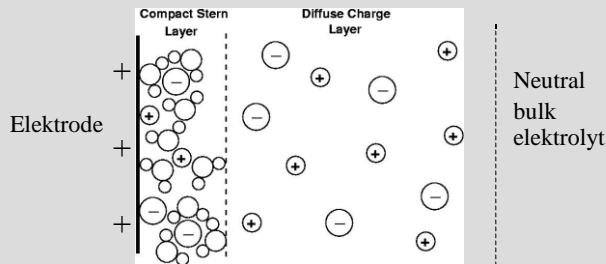
- Fastsættelse af algoritme
- Simplest mulig
- Reproducerer forhold for forskellige celle typer
- Fastlægge 'det optimale frekvensområde'

- **Polarisation ikke forstået kvantitativt**
- **- iøvrigt dårligt forstået kvalitativt**

Fænomenologisk model



Udvidelse af teori for dobbelt-lag

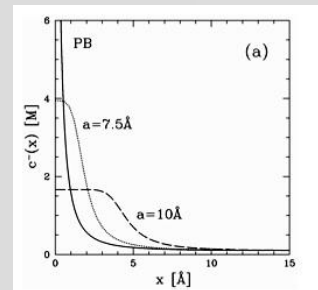
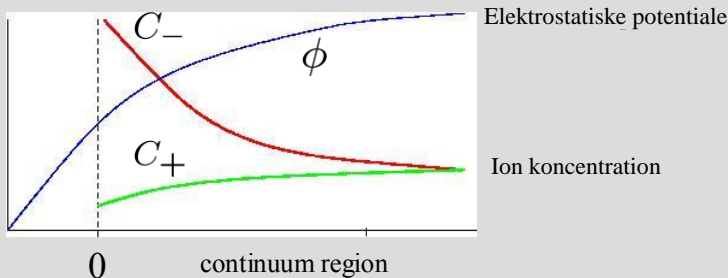


Adsorption og desorption

Modellering af relaksation

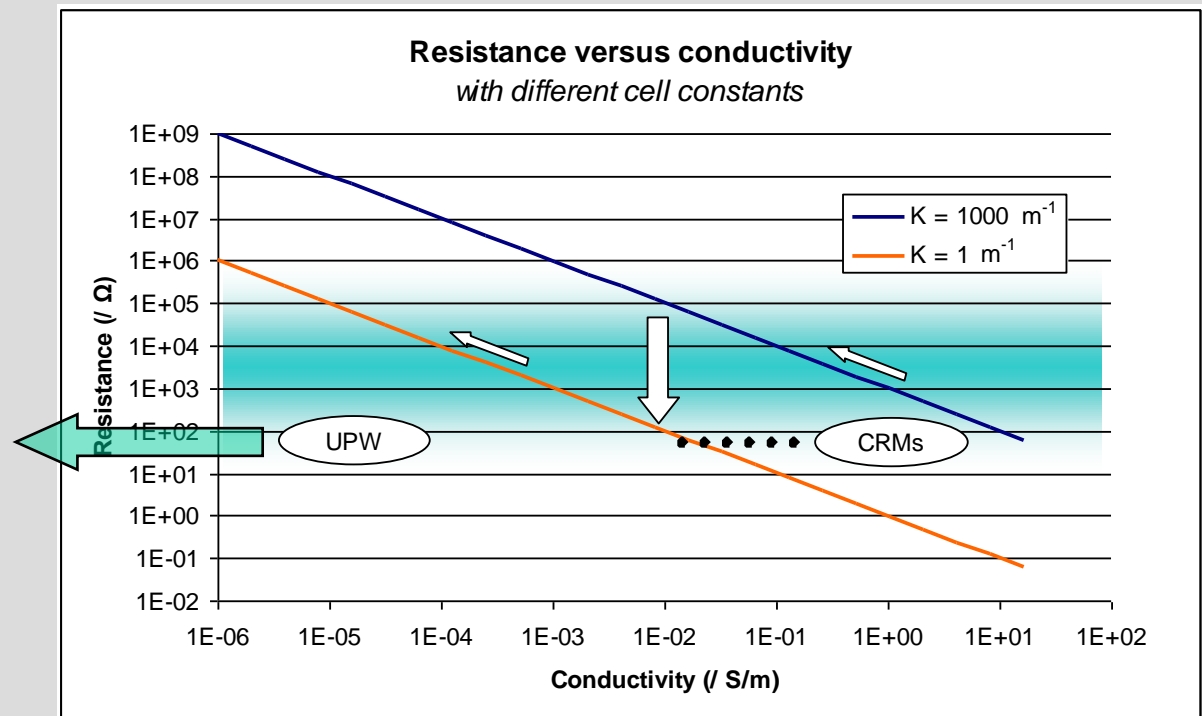
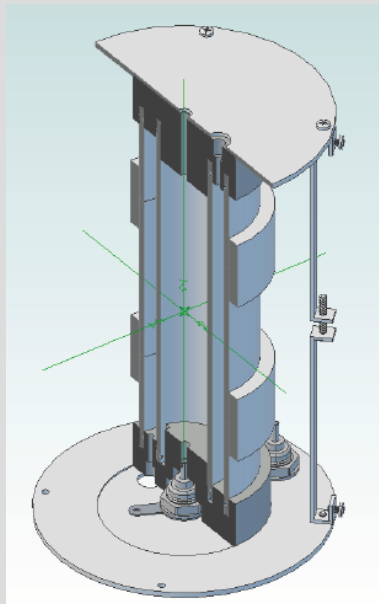
$$\frac{\partial^2}{\partial t^2}(\phi - \phi_s) = \hat{n} \cdot \nabla \phi$$

Steriske effekter

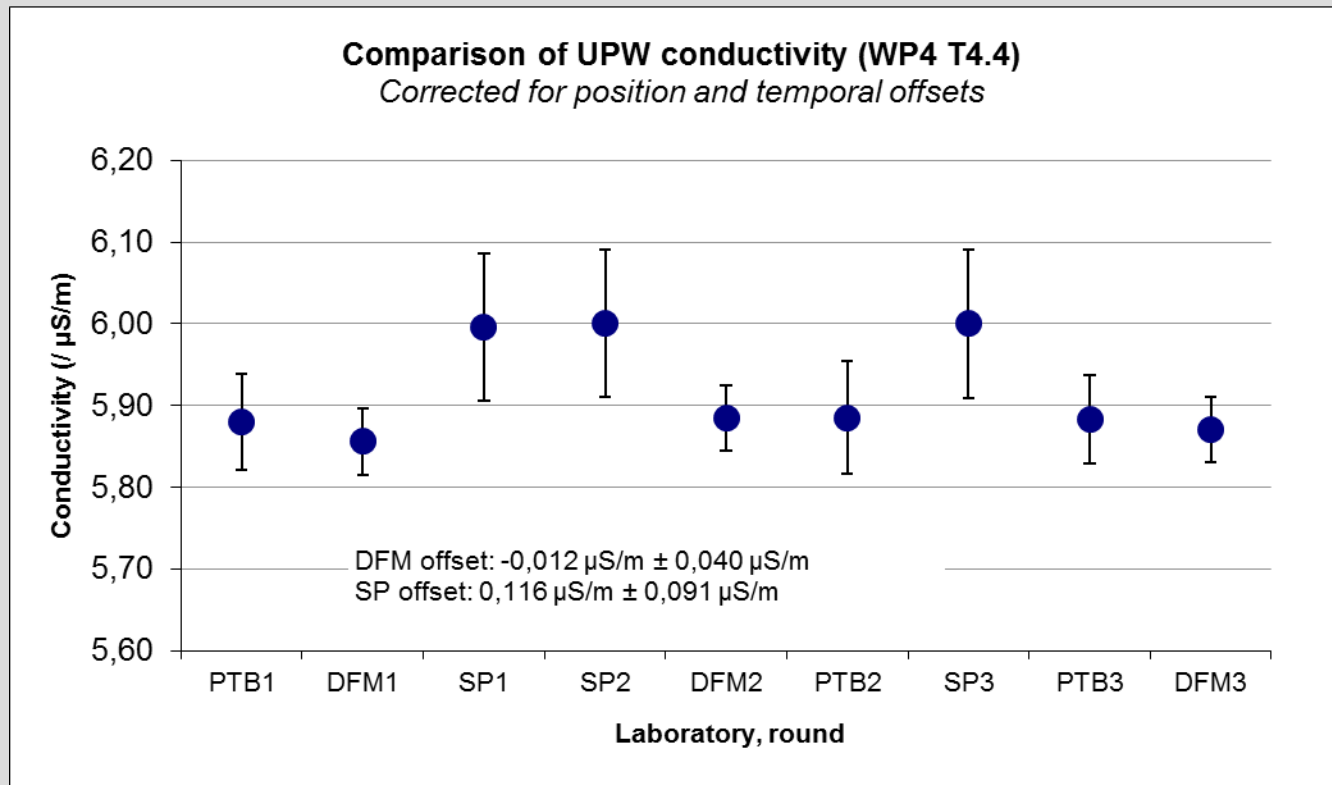


- **Tilsvarende problemstillinger som i avanceret mikro-fluidics**

- **Parallel-elektrode geometri:**
- **Afstand 200 mm, diameter 15 mm $\rightarrow K \sim 1000 \text{ m}^{-1}$**
- **Modstand for standard opløsninger vs. modstand for UPW**
- **Behov for $K \sim 1 \text{ m}^{-1}$**



- **Sammenlignelighed af ledningsevne måling i UPW**



- **Elektrolytisk ledningsevne vigtigt for bestemmelse af renhed af vand**
- **“Ikke helt så simpelt som umiddelbart antaget ...”**
- **SI sporbarhed mulig via CRMs, global sammenlignelighed etableret af Nationale Metrologi Institutter**
- **Absolut UPW ledningsevнемåling ‘på trapperne’ ...**
- **Stadig behov for harmoniseret definition og metodologi**

Tak for Deres opmærksomhed!

*Delvist finansieret gennem EU's 7. Rammeprogram, ERA-NET Plus,
Grant Agreement No. 217257, samt Rådet for Teknologi og Innovation.*