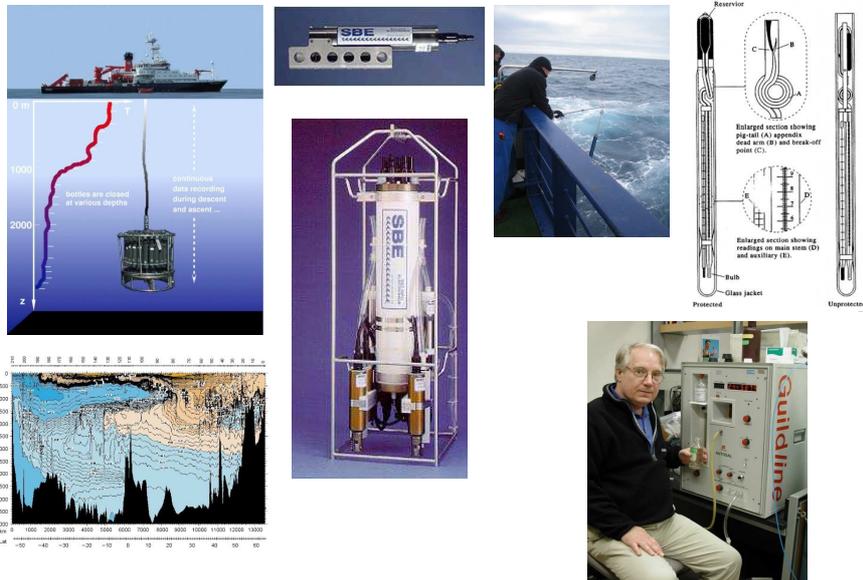
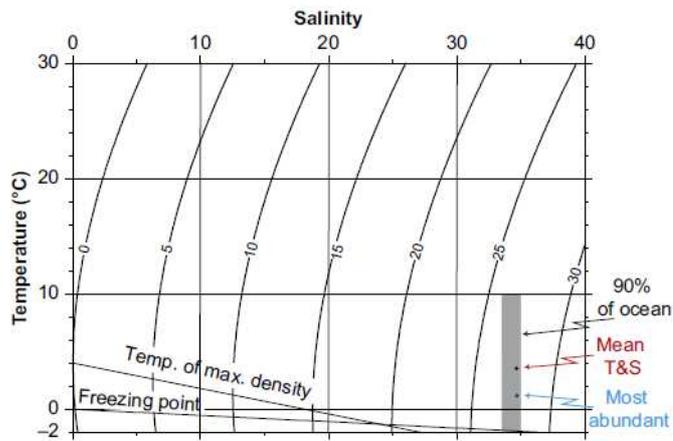


## 05 - Messung hydrographischer Parameter



## Messung hydrographischer Parameter

Temperatur & Salzgehalt plus Druck  $\rightarrow$  Dichte  $\rho = \rho(S, T, p)$   
*Zustandsgleichung*



Talley et al., 2011

## Messung hydrographischer Parameter

Temperatur & Salzgehalt plus Druck → Dichte  $\rho = \rho(S, T, p)$

Stabilität der Wassersäule  $N^2$

Geostrophie  $f v = -1/\rho \Delta p / \Delta x$   $\Delta v / \Delta z = -g / \rho f \Delta \rho / \Delta x$

Konzentration gelöster Gase z.B. Sauerstoff, Kohlendioxid ...

Nährstoffe z.B. Phosphat, Silikat, Nitrat, Nitrit ...

Geochemische & radioaktive Tracer z.B. Tritium,  $^3\text{H}$ , Cäsium ...

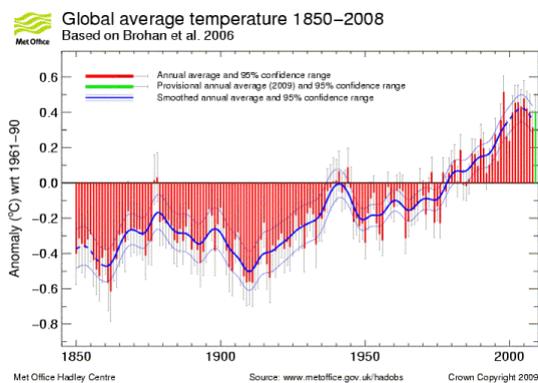
Verteilung von Wassermassen

Vermischung

- In situ Messungen: elektrisch/elektronisch oder mechanisch
- Messungen an Wasserproben

## Entwicklung der globalen Oberflächentemperatur

Verständnis alter Messmethoden und Geräte ist wichtig, um die Qualität historischer Daten einschätzen zu können.

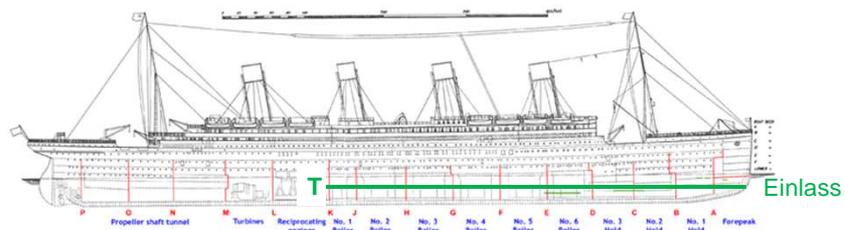


## Messung der Oberflächentemperatur



Pützen und Quecksilberthermometer

Fehler durch:  
Direkte Sonneneinstrahlung  
Verdunstung



Kühlwassereinlauf im Maschinenraum und elektrische Thermometer

Fehler durch:  
Erwärmung des Wassers auf dem Weg durchs Schiff

## Temperatur-Bias

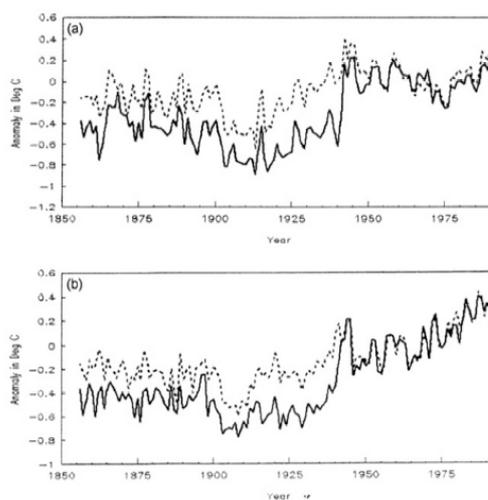
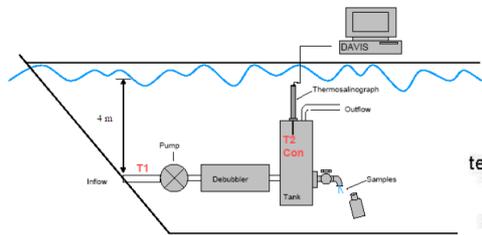


Fig. 6.6 Time series of northern (a) and southern (b) hemisphere mean sea surface temperatures from 1850 to 1980. The dashed line is a correction to the canvas bucket SST measurements for the wind cooling, developed by the British Hadley Centre.

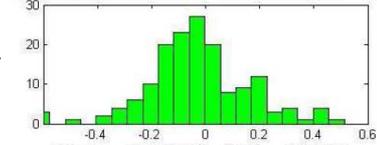
## Messung der Oberflächentemperatur



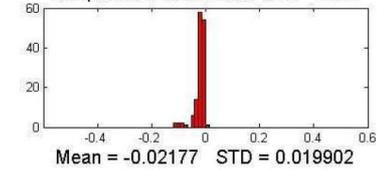
Moderne Systeme mit zwei Thermometern

Vergleich von Pütz-Temperaturen mit CTD Messungen (POSEIDON Reise P399)

temperature differences Bucket Sample - TSG



temperature differences CTD - TSG

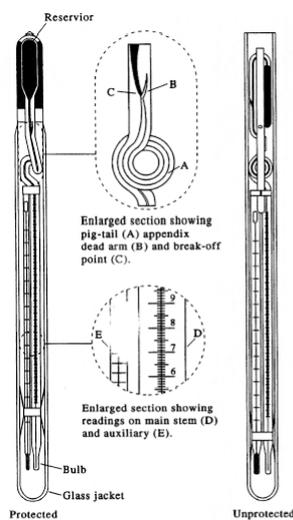


## Quecksilber - Kippthermometer

für Temperatur und Druck-Messungen in der Tiefe

Fig. 6.7. Protected and unprotected reversing thermometers.

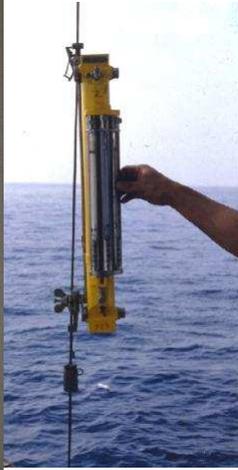
seit ca. 1900



Genauigkeit:  $\pm 0.01 \text{ K} - \pm 0.005 \text{ K}$   
 Zeitkonstante: ca. 1 Minute  
 Druckmessung:  $\pm 5 \text{ dbar}$



## Wasserschöpfer am Draht – Nansen Bottle

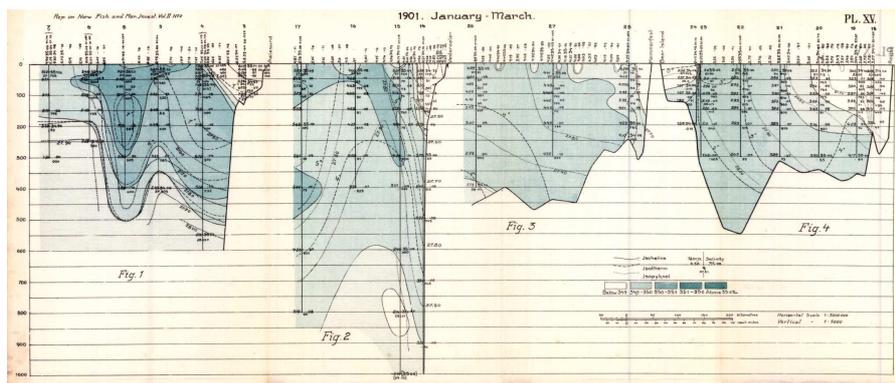


seit 1910



Nansen water bottles  
before (I), during (II), and  
after (III) reversing.  
(From Dietrich et al. 1980)

## Hydrographie der Norwegischen See



Helland-Hansen und Nansen, 1907

Vertikalprofile mit typischerweise 12 Punktmessungen

## Wasserschöpfer – Niskin Bottle

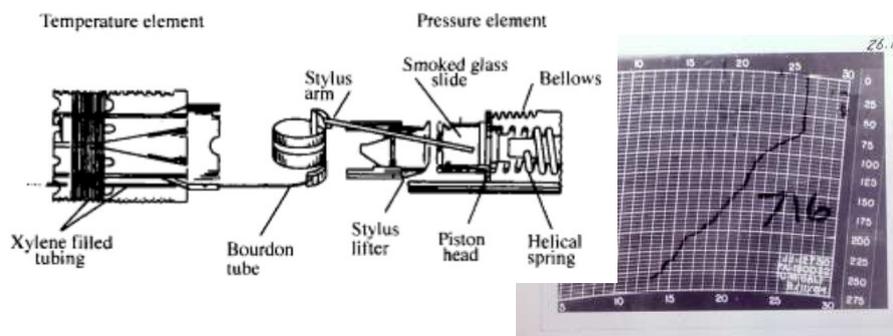


## Kontinuierliche Temperaturprofile

Mechanischer Bathythermograph (MBT) seit ca. 1950



Einsatz während der Fahrt  
Max. Tiefe 300 m  
Genauigkeit  $\pm 0.2$  K



## Mechanischer Bathythermograph

---



## Elektrische Widerstandsthermometer

---

### Metalldraht:

$$R = R_0(1 + aT + bT^2 + cT^3 + \dots)$$

Kupfer:  $a = 0.0039 \text{ 1/K}$  linear, geringe Empfindlichkeit  
Nickel:  $a = 0.0063 \text{ 1/K}$  nicht-linear, hohe Empfindlichkeit  
Platin:  $a = 0.0043 \text{ 1/K}$  Kompromiss

große Zeitkonstante 200 ms

große Stabilität  $0.002/a$

Genauigkeit ca.  $0.001 \text{ K}$

### Halbleiter:

$$R = R_0 \exp(\beta(1/T - 1/T_0)) \text{ mit } R_0 = \beta T^2$$

Kobalt – Nickel Legierung

hochgradig nichtlinear

hohe Empfindlichkeit ( $a = \text{ca. } -0.05 \text{ 1/K}$ )

kleine Ausdehnung des Messfühlers

kleine Zeitkonstante 30 ms

geringe Stabilität

Genauigkeit ca.  $0.01 \text{ K}$

## Widerstandsthermometer Pt-100

Die Temperatur des Ozeanwassers wird kontinuierlich mit einem Platin-Widerstandsthermometer (Pt-100 100  $\Omega$ ) Gemessen (Platin Draht, R nur abhängig von T)

Um von aus der Widerstandsmessung die Temperatur zu erhalten:  
International Temperature scale of 1990 (ITS-90)  
Normalerweise wird T in  $^{\circ}\text{C}$  angegeben.

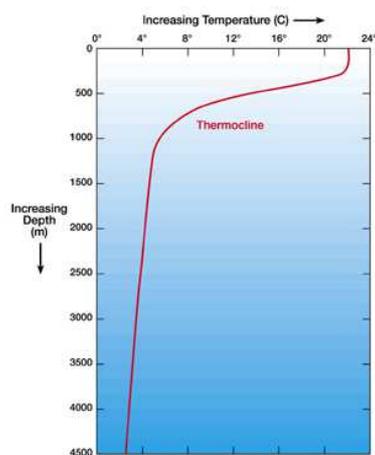
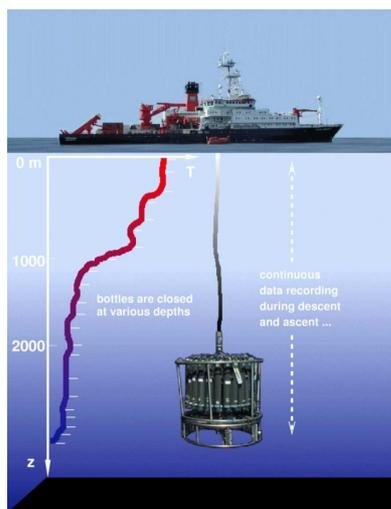
50% des Ozeans hat Temperaturen im Bereich:

$$1.3^{\circ}\text{C} < t < 3.8^{\circ}\text{C}$$



Manufacturer: [www.seabird.com](http://www.seabird.com)

## Einsatz in CTD-Sonden



IUP-HB (2005)

## Expandable Bathythermograph



Fig. 2. EBT Autolauncher.

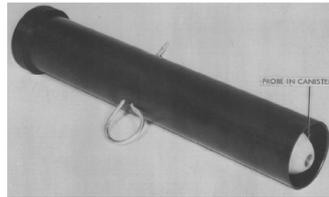
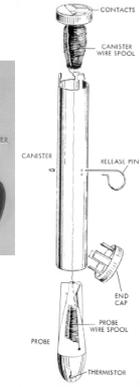


Fig. 1. XBT diagrams: Bathythermograph (probe) and exploded view.



Frei fallende Temperatursensoren (Halbleiter-Sensor) mit 2 Spulen Kupferdrähten  
Genauigkeit etwa  $\pm 0.1$  K. Einsatz vom fahrenden Schiff,  
Tiefenbestimmung über Zeitmessung bei gleichbleibender Fallrate.

## Gelöste Stoffe im Meerwasser

TABLE

Major solutes in seawater

Salt Ion	Ions in Seawater* (% <sup>o</sup> )	Ions by Weight (%)	Cumulative (%)
Chloride (Cl <sup>-</sup> )	18.980	55.04	55.04
Sodium (Na <sup>+</sup> )	10.556	30.61	85.65
Sulfate (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	2.649	7.68	93.33
Magnesium (Mg <sup>2+</sup> )	1.272	3.69	97.02
Calcium (Ca <sup>2+</sup> )	0.400	1.16	98.18
Potassium (K <sup>+</sup> )	0.380	1.10	99.28
Bicarbonate (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0.140	0.41	99.69
Bromide (Br <sup>-</sup> )	0.065	0.19	99.88
Boric acid (H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> )	0.026	0.07	99.95
Strontium (Sr <sup>2+</sup> )	0.013	0.04	99.99
Fluoride (F <sup>-</sup> )	0.001	0.00	99.99
Total	34.482	99.99	99.99

\*The gram weight of ions per 1 kg of seawater, or g/kg.

Source: Adapted from H. U. Sverdrup, M. W. Johnson, and R. H. Fleming, *The Oceans* (Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1942).

Thurman & Trujillo, 2003

Zusammensetzung basiert auf der Analyse von Dittmar (1884) von 77  
Wasserproben aus der Challenger Expedition und weiteren Arbeiten von Carritt  
und Carpenter (1959).

## Salzgehalt

---

### Definition:

Total amount of solid materials in grams dissolved in one kilogram of sea water when all the carbonate has been converted to oxide, the bromine and iodine replaced by chlorine and all organic matter completely oxidized. (Knudsen, 1902)

## Bestimmung des Salzgehalts

---

Practical definition: Salinity Based on Chlorinity. Because the above definition was difficult to implement in practice, because salinity is directly proportional to the amount of chlorine in sea water, and because chlorine can be measured accurately by a simple chemical analysis, salinity S was redefined using chlorinity:

$$S = 0.03 + 1.805Cl$$

where chlorinity Cl is defined as "the mass of silver required to precipitate completely the halogens in 0.328 523 4 kg of the sea-water sample.

UNESCO 1964 definition of salinity.  $S = 1.806 55Cl$   
(Wooster, Lee, and Dietrich, 1969)

## Salzgehalt

Salinity Based on Conductivity:

Definition: The Practical Salinity Scale of 1978 : (not psu !!!)

$$S = 0.0080 - 0.1692 K15^{1/2} + 25.3851 K15 + 14.0941 K15^{3/2} - 7.0261 K15^2 + 2.7081 K15^{5/2}$$

$$K15 = C(S, 15, 0)/C(KCl, 15, 0) \quad \text{for } 2 \leq S \leq 42$$

where  $C(S, 15, 0)$  is the conductivity of the sea-water sample at a temperature of 14.996 °C on the International Temperature Scale of 1990 (ITS-90) and standard atmospheric pressure of 101 325 Pa.

$C(KCl, 15, 0)$  is the conductivity of the standard potassium chloride (KCl) solution at a temperature of 15 °C and standard atmospheric pressure.

The standard KCl solution contains a mass of 32.435 6 grams of KCl in a mass of 1.0 kg of solution.

Millero (1996) and Lewis (1980) give equations for calculating salinity at other pressures and temperatures.

## Elektrische Leitfähigkeit

Conductivity  $C = C(T, S, p)$

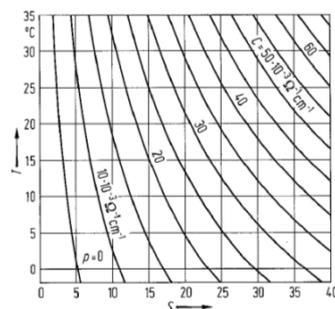


Fig. 1. Electrical conductivity  $C$  in  $[10^{-3} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}]$  as function of practical salinity and temperature at atmospheric pressure using  $C(35, 15, 0) = 42.914 \cdot 10^{-3} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ . Contour interval  $5 \cdot 10^{-3} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ .

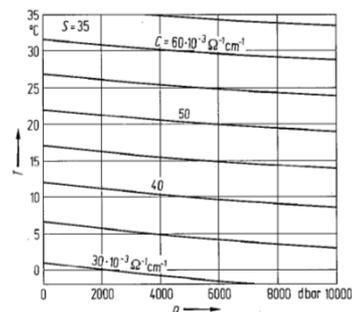


Fig. 2. Electrical conductivity  $C$  in  $[10^{-3} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}]$  as function of pressure and temperature for  $S = 35$  using  $C(35, 15, 0) = 42.914 \cdot 10^{-3} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ . Contour interval  $5 \cdot 10^{-3} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ .

Siedler & Peters, 1989

Um den Salzgehalt aus der Leitfähigkeit bestimmen zu können, müssen Temperatur und Druck sehr genau bekannt sein.

## Leitfähigkeitsmessung

### Induktives Verfahren

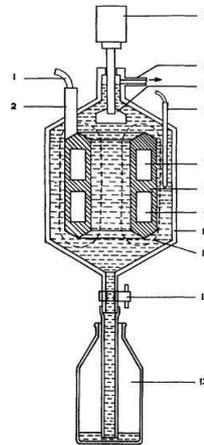
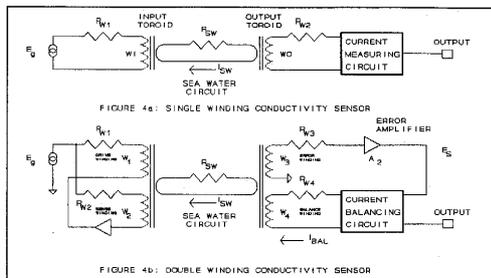
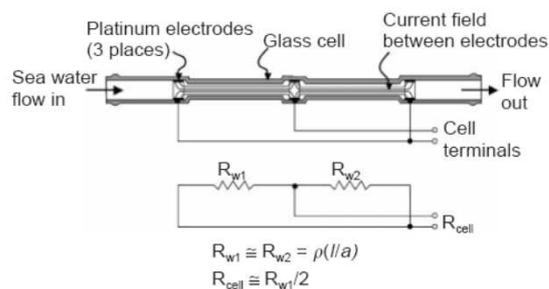


Figure 14.18 Simplified diagram of the measuring head for the laboratory inductive salinometer: 1, leads from toroid assembly; 2, support stem for toroid assembly; 3, stirring motor; 4, connection to aspirator; 5, stirrer; 6, thermistor; 7, toroidal core of voltage transformer; 8, toroid assembly; 9, toroidal core of current transformer; 10, clear plastic housing; 11, path of electrical current in the water sample; 12, stopcock; 13, sample container. (Brown and Hamon, 1961.)

Veraltet, wird nicht mehr genutzt.

## Leitfähigkeitsmessung

### Elektrodenverfahren



**Figure 3** Glass conductivity cell. Water flows through the tube-shaped cell with internal electrodes. By connecting the outer electrodes together, electrical current flow is confined to the inner portion of the cell (diagramed) where the length,  $l$ , and cross-sectional area,  $a$ , are precisely controlled. There are effectively two end-to-end cells sharing a common center electrode. The electrical schematic shows how two equal cell resistances are connected in parallel and presented at the cell terminals.

Zeitkonstante:  
die Zeit, die es dauert,  
das Wasser in der  
Zelle zu ersetzen.

## Salzgehalt

Einheit: Da der Salzgehalt aus einem Leitfähigkeitsverhältnis bestimmt wird, hat er keine Einheit !!!

psu (practical salinity unit) ~ (g Salz /kg Wasser)  
psu wird nicht geschrieben: →  $S = 34.700$



Der Salzgehalt im Ozean wird sehr genau durch die Leitfähigkeit des Wassers bestimmt.  
Die erreichte Genauigkeit ist 0,001.



50% des Ozeans haben:  $34.6 < S < 34.8$

Der Salzgehalt wird kontinuierlich von der Oberfläche bis zum Boden mit Hilfe von Temperatur- und Leitfähigkeitssensoren gemessen.

Kalibration: über die Messung von Wasserproben gegen eine KCl Standardlösung mit einem Salinometer (e.g. AUTOSAL).

Manufacturer: [www.seabird.com](http://www.seabird.com)

## Salzgehalt von Wasserproben

### Labor Salinometer

#### Manufacturers specifications, model 8400B

##### Measurement Range:

2 to 42 Equivalent Practical Salinity Units (PSU)

##### Accuracy:

$< \pm 0.0001$  Conductivity Ratio

##### Sample Volume:

Maximum required – 100 milliliters

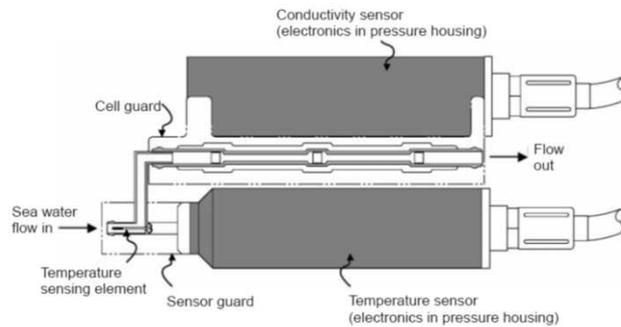
Vergleich mit Standard Seewasser  
(Standard Sea Water)



Guildline's Autosal® salinometer

manufacturer for salinometers: [www.guildline.com](http://www.guildline.com)

## Kombinierte Temperatur- und Leitfähigkeitsmessungen

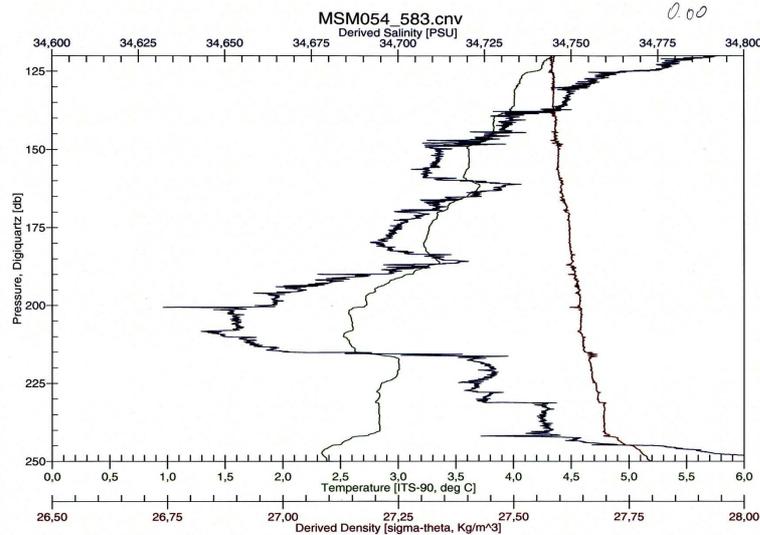


**Figure 4** Conductivity (C) sensor and temperature (T) sensor mounted together. Water enters a duct connecting the temperature sensor to the conductivity cell. Flow rate is controlled by a pump that produces constant sensor response times. Coordinating the T and C measurements to the same parcel of water is accomplished by accounting for the fixed "transit" time required for water to flow from the temperature sensor to the conductivity sensor.

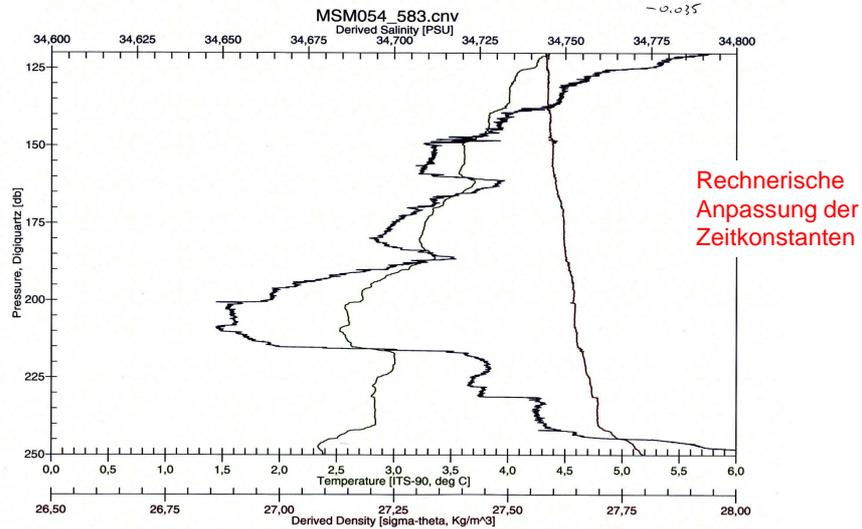
Parallele Messung von Temperatur und elektrischer Leitfähigkeit.

Wasserdurchfluss wird durch eine Pumpe weitestgehend konstant gehalten.

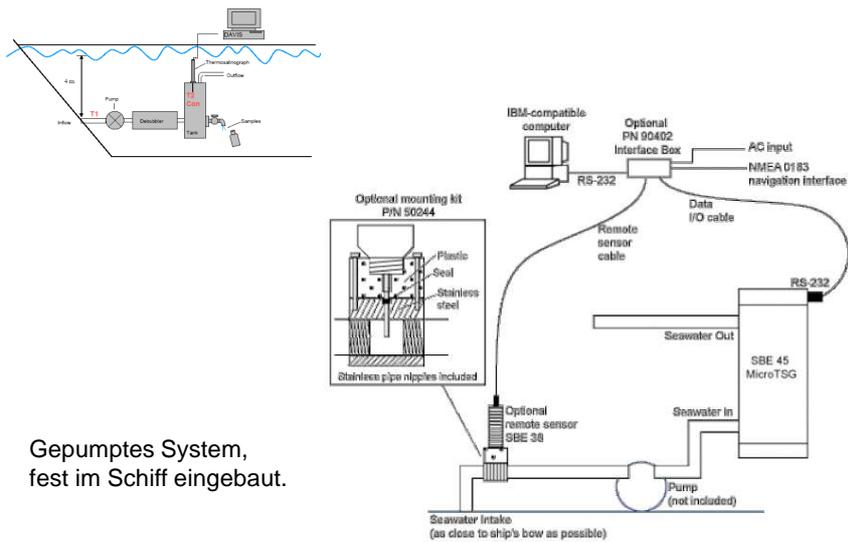
## Sensor Alignment



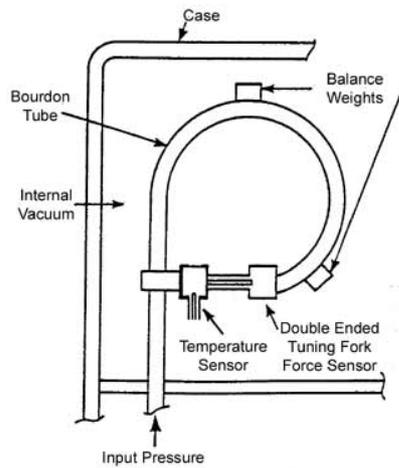
## Sensor Alignment



## Thermosalinograph



## Messung des Drucks



Bourdon Rohr

Umwandlung des Druckes in eine zu messende Strecke

Manufacturer: [www.seabird.com](http://www.seabird.com)

## Druckmessung

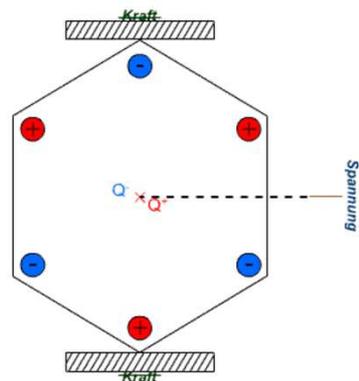
Quartz Kristall Resonator:

Die Frequenz der Kristall-Oszillation verändert sich durch druckbedingte Belastung.

Ein Temperatursensor im Element wird zur Korrektur von Temperatureffekten verwendet.

Der Sensor hat eine hohe Verlässlichkeit, wenig Drift und verbraucht wenig Strom.

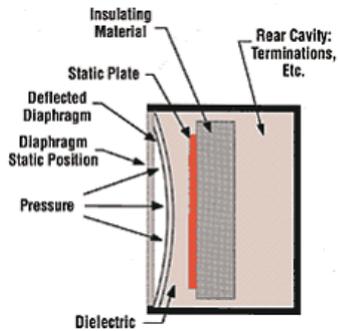
### Piezoeffekt



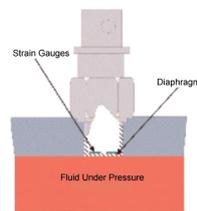
Direkter Piezoeffekt: Durch mechanischen Druck verlagert sich der positive (Q+) und negative Ladungsschwerpunkt (Q-). Dadurch entsteht ein Dipol, bzw. eine elektrische Spannung am Element.

Manufacturer: [www.seabird.com](http://www.seabird.com)

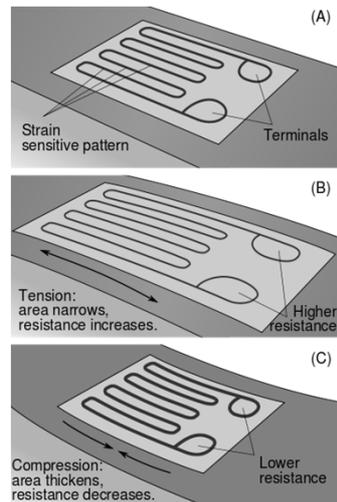
## Druckmessung



Änderung der Kapazität eines Kondensators



## Strain gauge

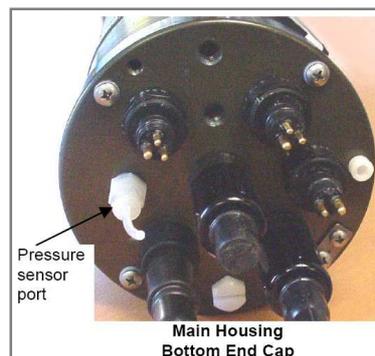


## Druckmessung

Ozeanographen geben den Druck in decibar an ( $1 \text{ dbar} = 10^4 \text{ Pa} \sim 1 \text{ m}$ ).  
 → Druck ~ Tiefe [6000 dbar ~ 6000 m]

Druckmessungen erfolgen über einen Quarzkristall, dessen Eigenfrequenz vom Druck abhängt.

Genauigkeit ~ 0.015%  
 (bei 4000 m Tiefe = 60 cm)



Manufacturer: [www.seabird.com](http://www.seabird.com)

## Zurzeit beste CTD-Sonde

Sea-Bird's 911*plus* CTD is the *primary oceanographic research tool chosen by the world's leading institutions.*

- \*Accurate and stable modular Conductivity and Temperature sensors
- \*Paroscientific Digiquartz® pressure sensor
- \*TC-Ducted Flow and pump-controlled time responses minimize salinity spiking
- \*24 Hz all-channel scan rate
- \*Depth capability 6800 meters (22,300 ft) (aluminum) or 10500 meters (34,400 ft) (titanium)
- \*Built-in interfacing for dual C & T sensors
- \*8 A/D channels for auxiliary sensors
- \*High power capability for auxiliary sensors
- \*Built-in NMEA 0183 interface merges real-time GPS data with the CTD data
- \*Optional modem channel for real-time water sampler control (without data interruption)
- \*Optional Serial Data Uplink allows 9600 baud data pass-thru on shared CTD telemetry channel
- \*Optional SEARAM module for *in-situ* recording and programmable Carousel bottle firing
- \*Powerful software included

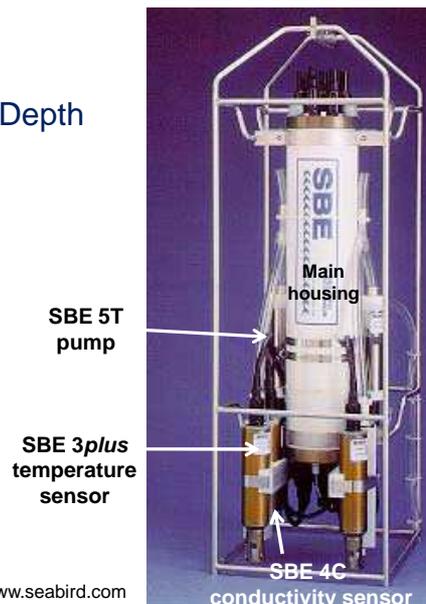
## Hydrographische Messungen

### SBE 911plus CTD Conductivity – Temperature - Depth

Weitere Sensoren möglich:  
Sauerstoff, Turbidity (Trübung),  
Fluoreszenz, ...

Einsatz auch in APEX Floats  
und in Verankerungen

Manufacturer: [www.seabird.com](http://www.seabird.com)



CTD Sonde

---



CTD Sonde

---



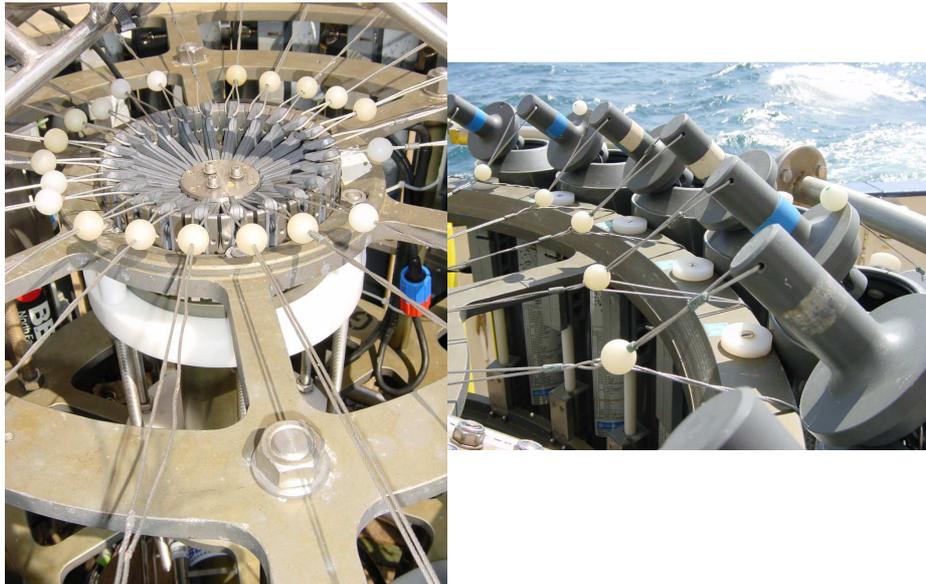
## CTD Sonde und Kranzwasserschöpfer

---



## Kranzwasserschöpfer

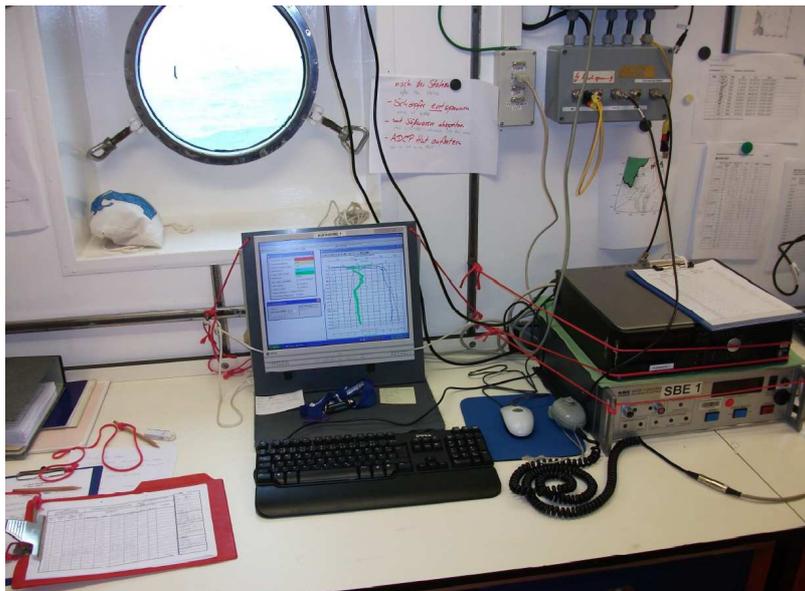
---



## CTD Sonde und Kranwasserschöpfer



## CTD Bordeinheit (Deck Unit)



## CTD Datenaufzeichnung



## Underway CTD



**Komponenten:**  
SeaBird CTD Messfühler  
Heckspule, Rückwickler und Winde

**Reichweite:**  
Bei 10-12 Knoten Fahrt: 200 m  
Bei 4 Knoten Fahrt: 800 m  
Bei 1 Knoten Fahrt: 1200 m



	Conductivity [S/m]	Temperature [°C]	Depth [dbar]	Salinity [psu]
Resolution	0.0005	0.002	0.5	0.005
Raw Data Accuracy	0.03	0.01 to 0.02	4	0.3
Processed Data Accuracy	0.002 to 0.005	0.004	1	0.02 to 0.05
Range	0 to 9	-5 to 43	0 to 2000	0 to 42

## Eichung / Kalibrierung von Sensoren

---

Labor-Kalibrierung vs. Kalibrierung der *in-situ* Daten

Temperatur und Druck

- (1) Eichung im Labor im Wasserbad und mit Hilfe einer Druckwaage
- (2) Vergleich der *in-situ* Daten mit Werten von Kipp-Thermometern oder Präzisions - Thermometern

Leitfähigkeit und Salzgehalt

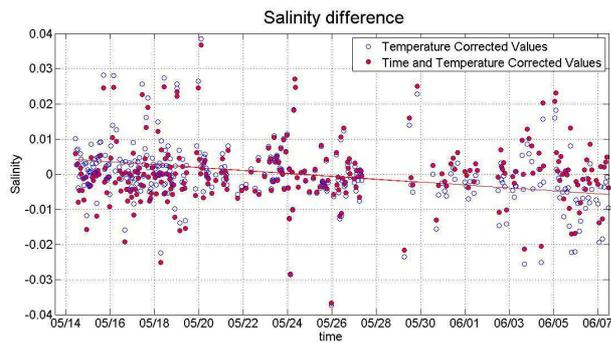
- (1) Eichung im Labor im Wasserbad
- (2) Vergleich mit Werten von Wasserproben, die mit Hilfe eines Laborsalinometers bestimmt wurden. Deren Salzgehalte werden im Vergleich mit Standardwasser bestimmt.

Korrekturen von:

- Offsets (mittlere Abweichungen)
- Druck- und Temperaturabhängigkeiten
- zeitlichen Trends

## Eichung mit Wasserproben

---



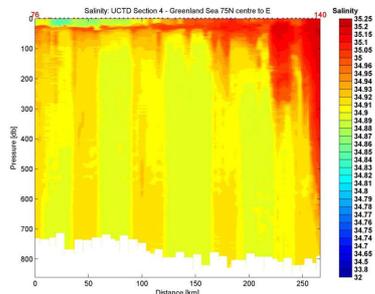
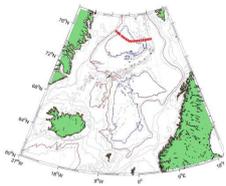
Beispiel: Thermosalinograph

Vergleich der TSG Werte mit Probenwerten

Korrektur des zeitlichen Trends



## Eichung mit CTD Vergleichen

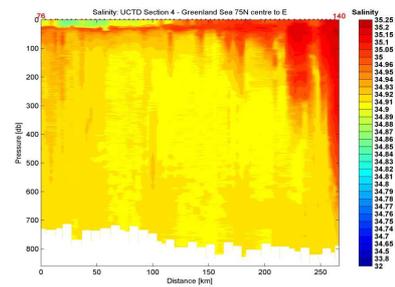


Differenz zwischen zwei uCTD Sonden war 0.014 im Salzgehalt

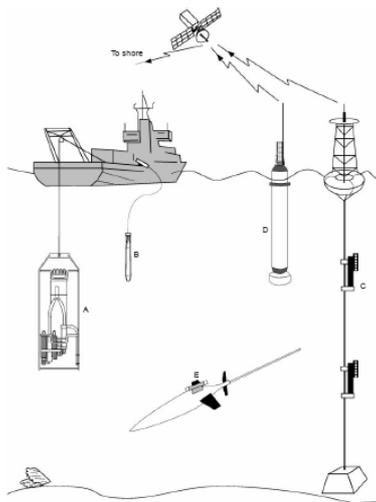
Beispiel: Underway CTD

Vergleich der uCTD Werte mit kalibrierten CTD und TSG Daten

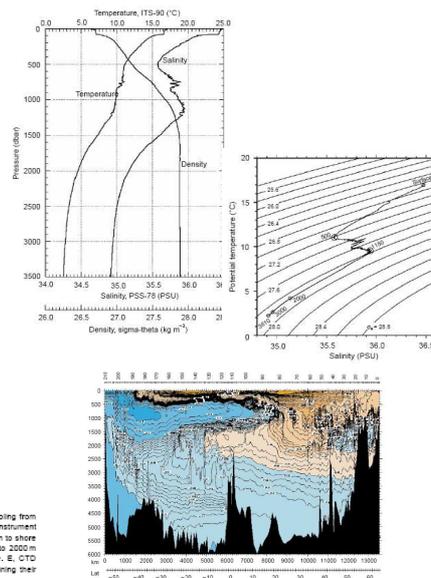
Korrektur des Offsets zwischen zwei Sonden



## Hydrographische Messungen



**Figure 1** CTD configurations. A, Wire-lowered CTD profiler (see also Figure 2). B, Small expendable CTD. Wire spooling from the launcher and the CTD tail section allow profiling while the ship is underway. C, CTDs on a mooring wire. Each instrument contains batteries and memory but can often transmit data on the mooring wire to the surface buoy where communication to shore is possible. D, CTD mounted on top of an autonomous drifting profiler (ALACE) after it has surfaced. These descend to 2000 m depth, drift with currents for 3-5 years and surface about once per week to send a fresh profile to shore via satellite. E, CTD mounted on 1000 glider fir. Gliders maneuver during dives and climbs working their way across the ocean or maintaining their position against a current. Like ALACE they telemeter data to shore and receive instructions via satellite.



title

---