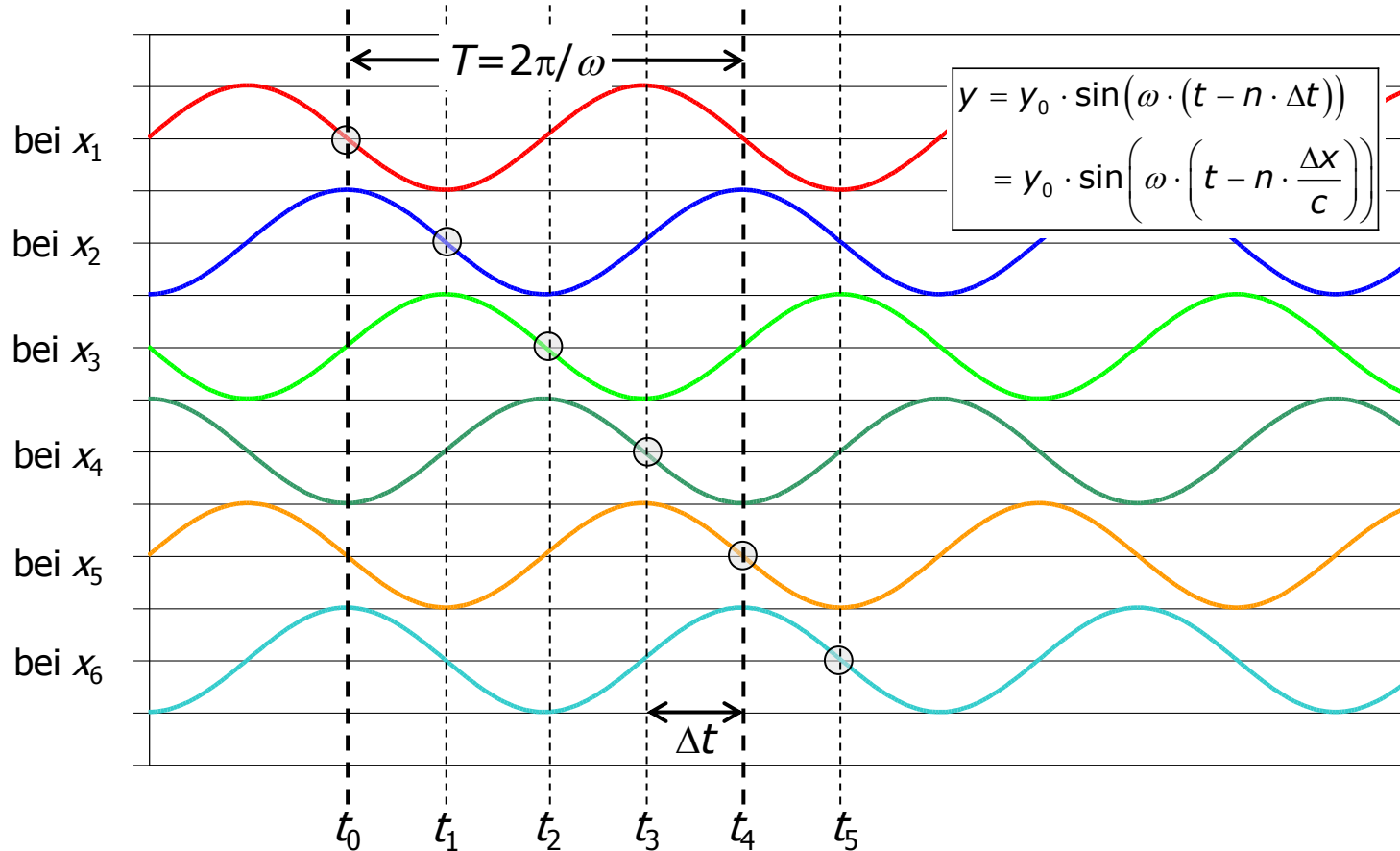


2. SENSORPRINZIPIEN DER MECHANIK:

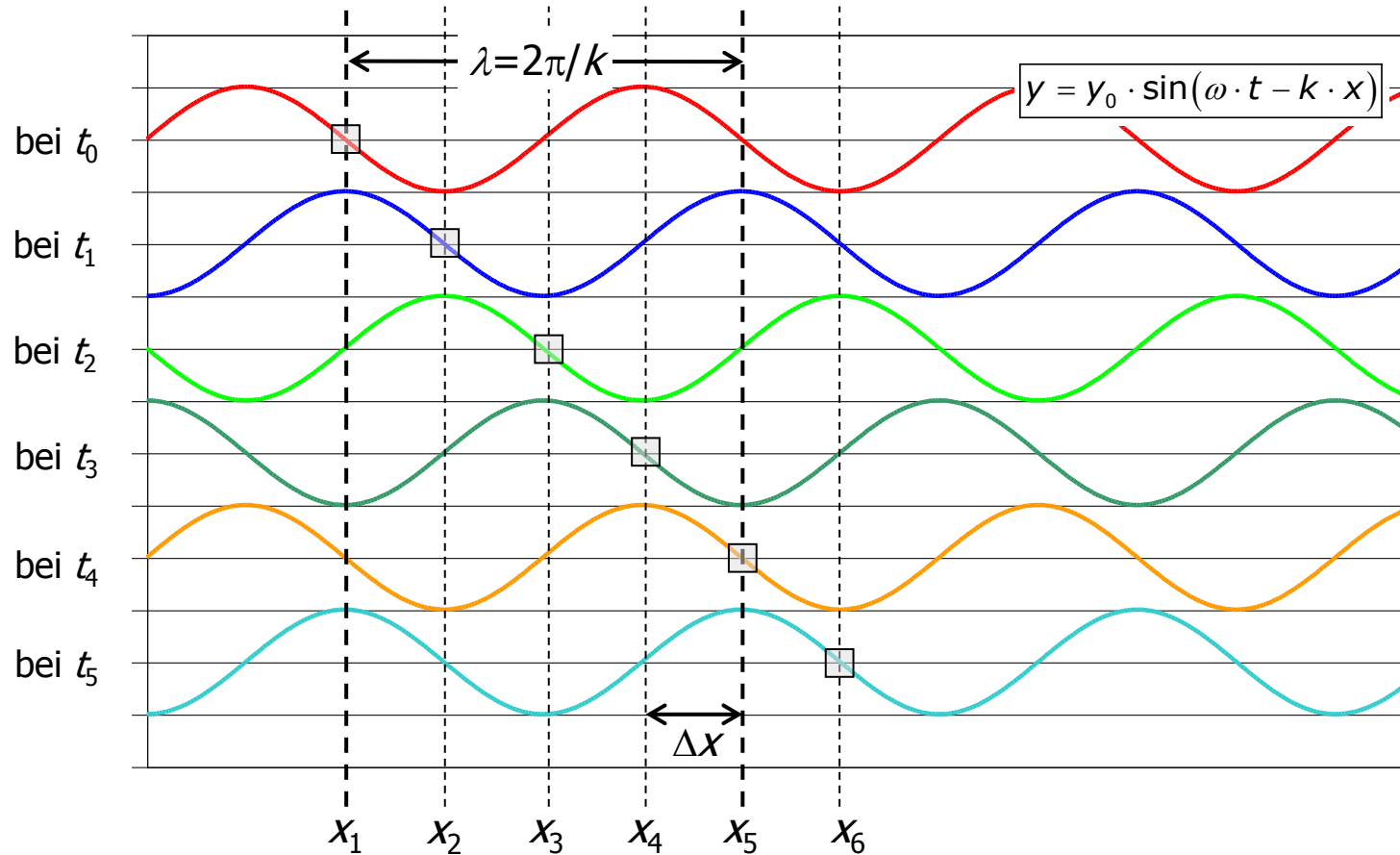
2.5 SENSORPRINZIPIEN AUS MECHANISCHEN SCHWINGUNGEN UND WELLENAUSBREITUNG (1)



Zeitliche Darstellung einer gekoppelten Schwingung an festen Orten

2. SENSORPRINZIPIEN DER MECHANIK:

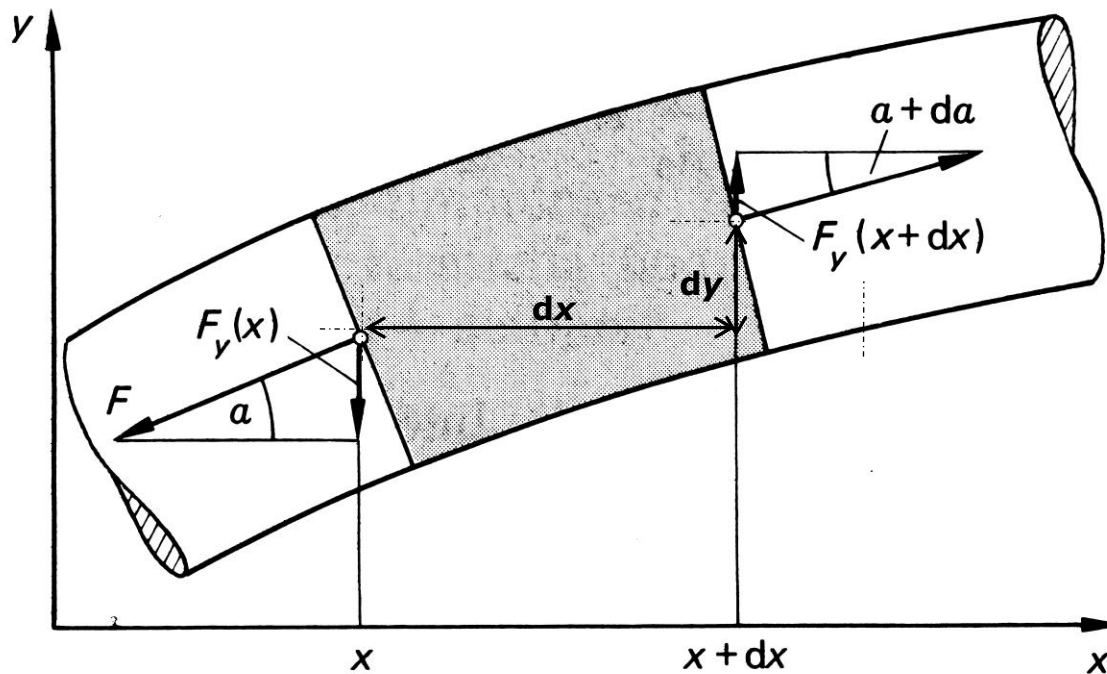
2.5 SENSORPRINZIPIEN AUS MECHANISCHEN SCHWINGUNGEN UND WELLENAUSBREITUNG (2)



Momentaufnahmen einer gekoppelten Schwingung

2. SENSORPRINZIPIEN DER MECHANIK:

2.5 SENSORPRINZIPIEN AUS MECHANISCHEN SCHWINGUNGEN UND WELLENAUSBREITUNG (3)



2. Newtonsches Axiom

$$F_{\text{rück}} = dm \cdot a$$

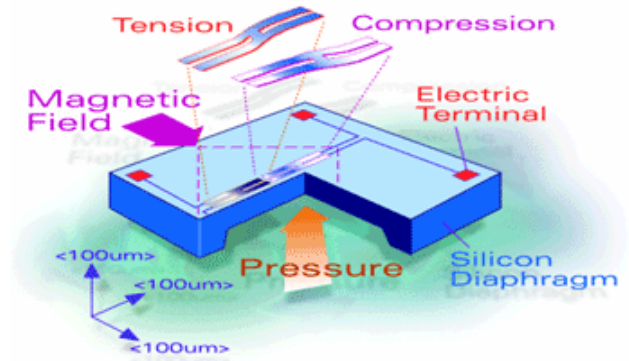
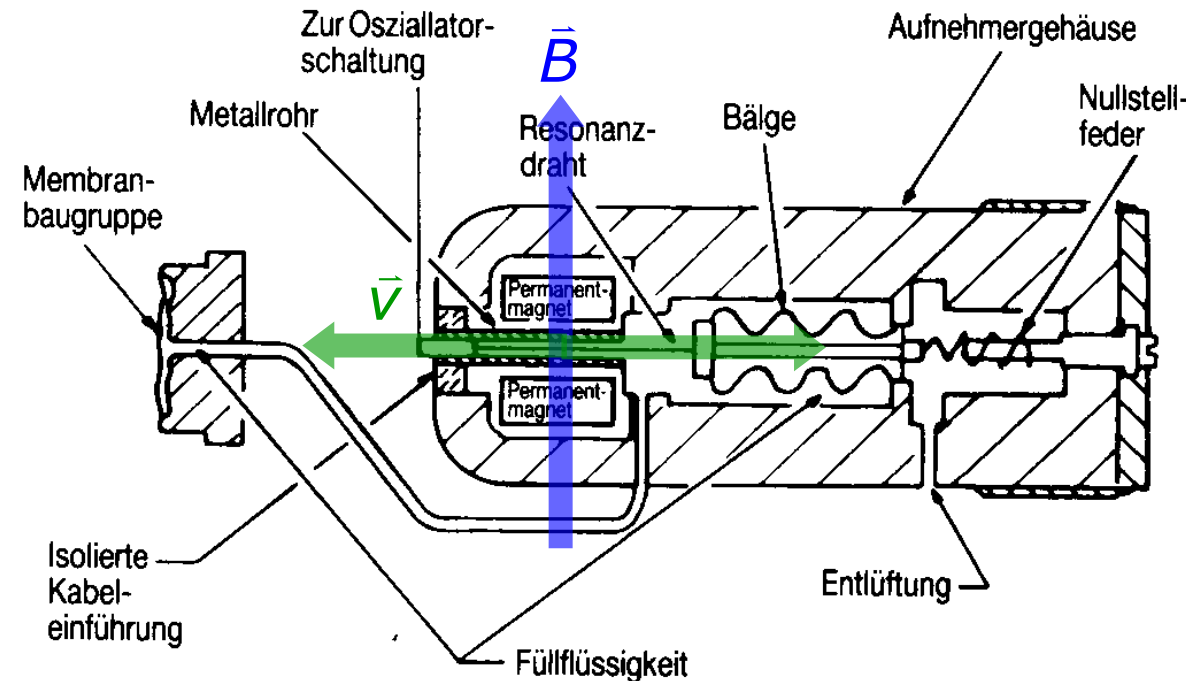
⇒ Kraftmessung

$$F = \frac{4 \cdot l^2}{n^2} \cdot \rho \cdot A \cdot f_n^2$$

Teilstück einer gespannten Saite [E. Hering, R. Martin, M. Stohrer: Physik für Ingenieure]

2. SENSORPRINZIPIEN DER MECHANIK:

2.5 SENSORPRINZIPIEN AUS MECHANISCHEN SCHWINGUNGEN UND WELLENAUSBREITUNG (4)



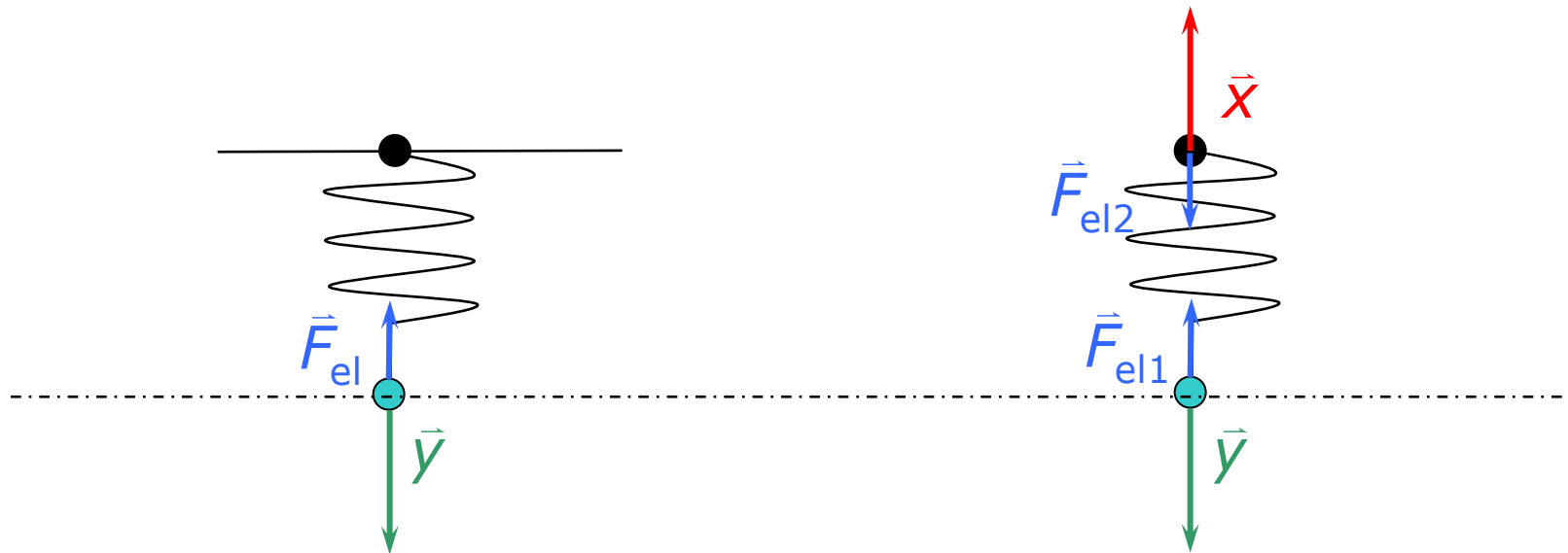
Prinzip des DPharp-Druckaufnehmers
[© Yokogawa]

Prinzip eines Resonanzdraht-Druckaufnehmers

[G. Strohmann: Messtechnik im Chemiebetrieb]

2. SENSORPRINZIPIEN DER MECHANIK:

2.5 SENSORPRINZIPIEN AUS MECHANISCHEN SCHWINGUNGEN UND WELLENAUSBREITUNG (5)



$$\sum_i \vec{F}_i = \vec{F}_R + \vec{F}_{el} = -b \cdot \vec{v} - k \cdot \vec{y}$$

$$m\ddot{y} = -b \cdot \dot{y} - k \cdot y$$

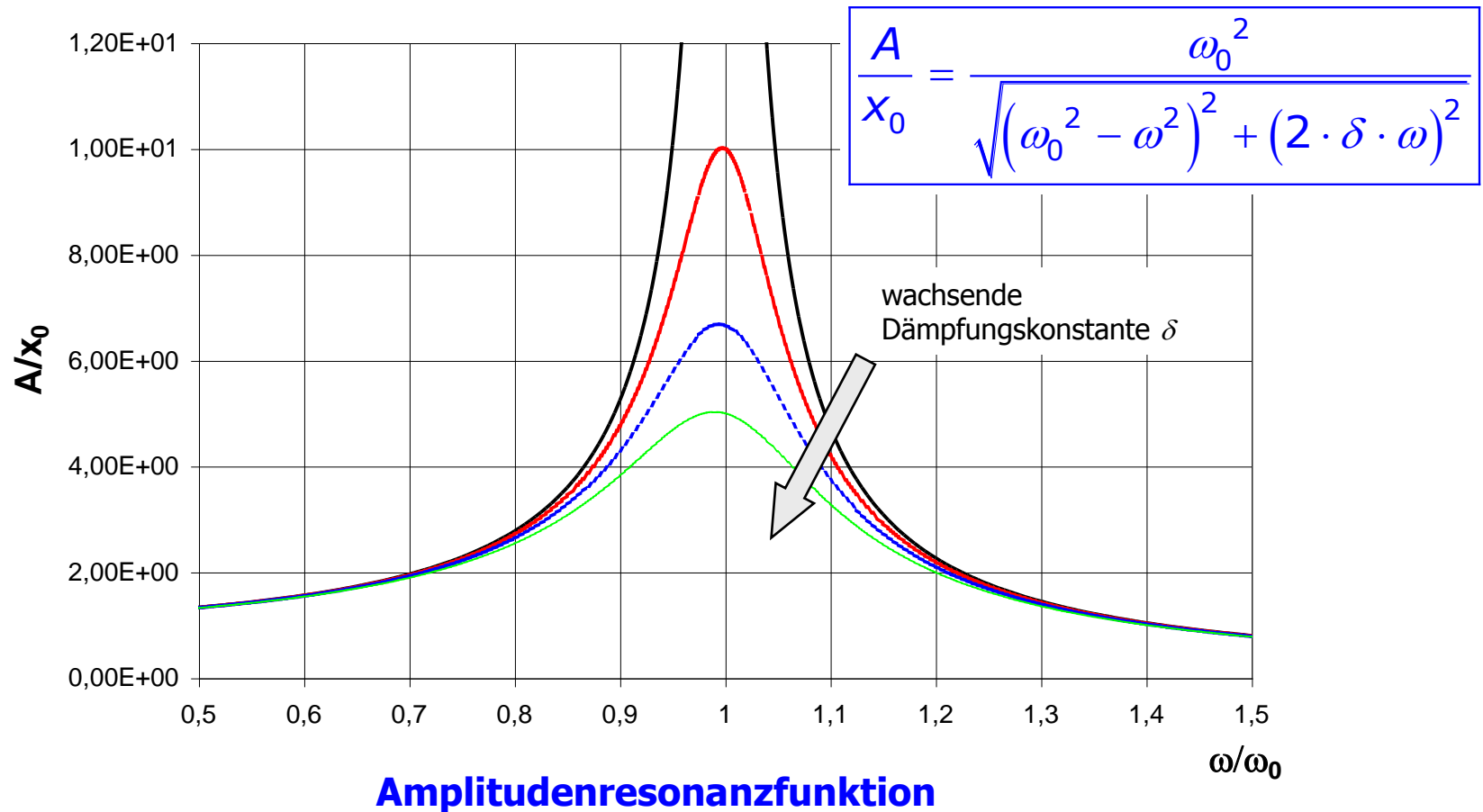
$$\sum_i \vec{F}_i = \vec{F}_R + \vec{F}_{el} = -b \cdot \vec{v} + \vec{F}_{el1} + \vec{F}_{el2}$$

$$m\ddot{y} = -b \cdot \dot{y} - k \cdot (y - x)$$

Freie gedämpfte (links) **und erzwungene gedämpfte** (rechts) (Feder-)Schwingung

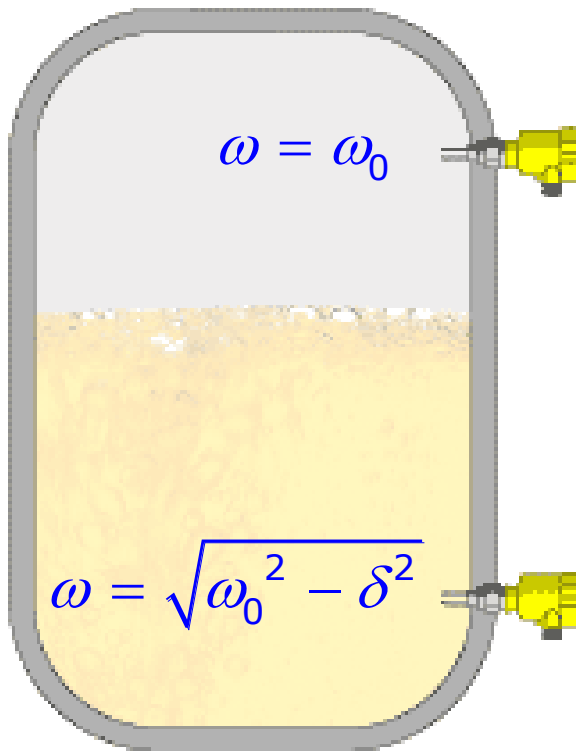
2. SENSORPRINZIPIEN DER MECHANIK:

2.5 SENSORPRINZIPIEN AUS MECHANISCHEN SCHWINGUNGEN UND WELLENAUSBREITUNG (6)



2. SENSORPRINZIPIEN DER MECHANIK:

2.5 SENSORPRINZIPIEN AUS MECHANISCHEN SCHWINGUNGEN UND WELLENAUSBREITUNG (7)

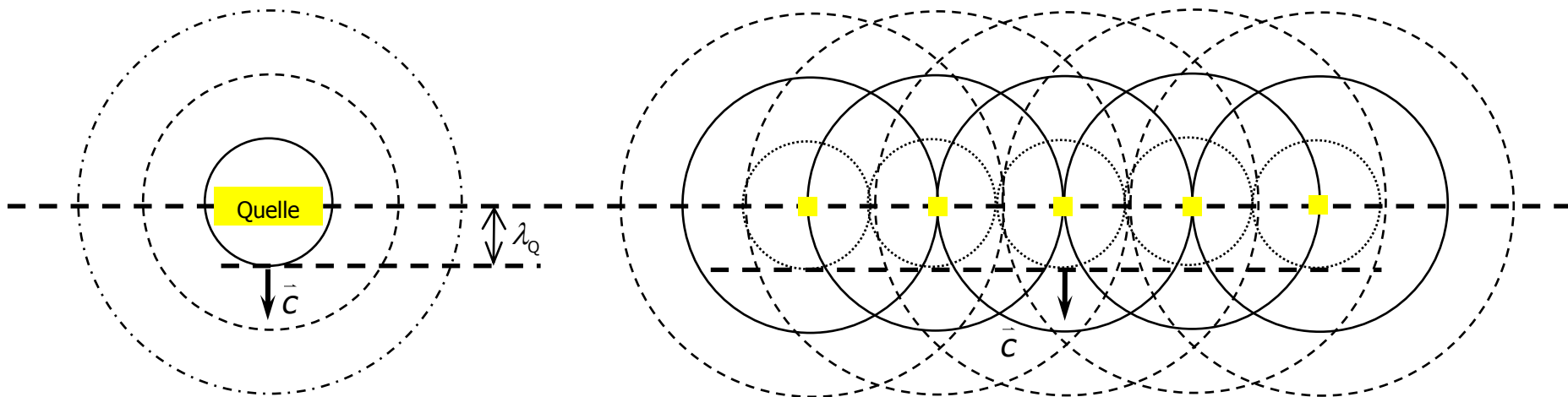


Schwingsonde als Vibrationsgrenzschalter [VEGA]

2. SENSORPRINZIPIEN DER MECHANIK:

2.5 SENSORPRINZIPIEN AUS MECHANISCHEN SCHWINGUNGEN UND WELLENAUSBREITUNG (8)

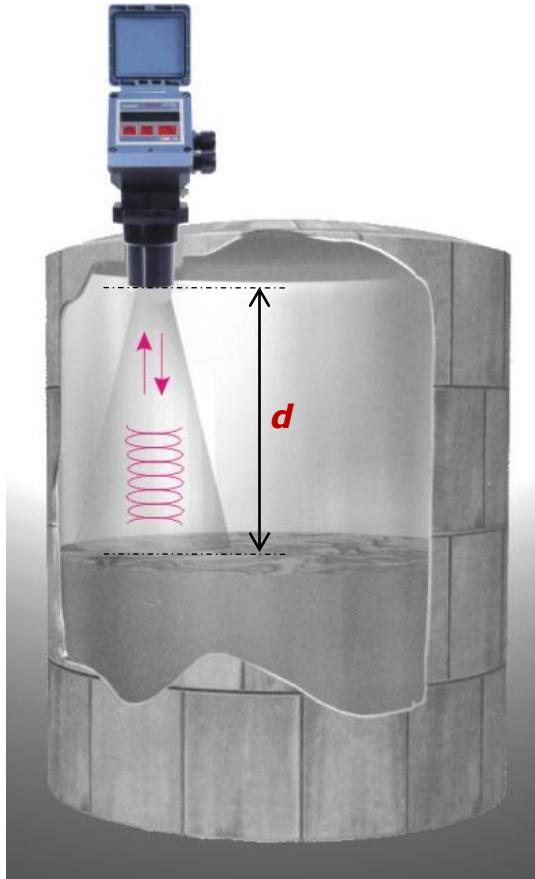
$$\text{Phasengeschwindigkeit } c = \lambda \cdot f = \frac{\lambda}{T} = \frac{\lambda \cdot \omega}{2\pi} = \frac{\omega}{k}$$



Wellenfronten einer Punktquelle (links) und einer ausgedehnten Quelle (rechts)

2. SENSORPRINZIPIEN DER MECHANIK:

2.5 SENSORPRINZIPIEN AUS MECHANISCHEN SCHWINGUNGEN UND WELLENAUSBREITUNG (9)



Ausbreitung einer Wellenfront

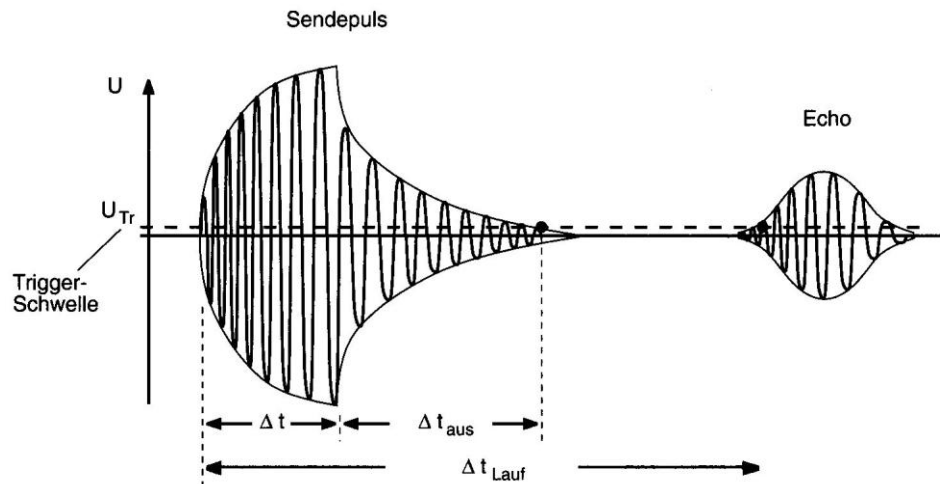
$$c = \frac{s}{t_0}$$

$$\Rightarrow \text{Abstandsmessung } d = \frac{c \cdot t_0}{2}$$

Füllstandsmessprinzip [Buerkert]

2. SENSORPRINZIPIEN DER MECHANIK:

2.5 SENSORPRINZIPIEN AUS MECHANISCHEN SCHWINGUNGEN UND WELLENAUSBREITUNG (10)



Ultraschallpuls

[Bosch: Kraftfahrtechnisches Taschenbuch]

Schallgeschwindigkeit in Gasen

$$c = \sqrt{\kappa \cdot R_i \cdot T}$$

κ : Isentropenkoeffizient

R_i : spezielle Gaskonstante

T : Temperatur (in K)

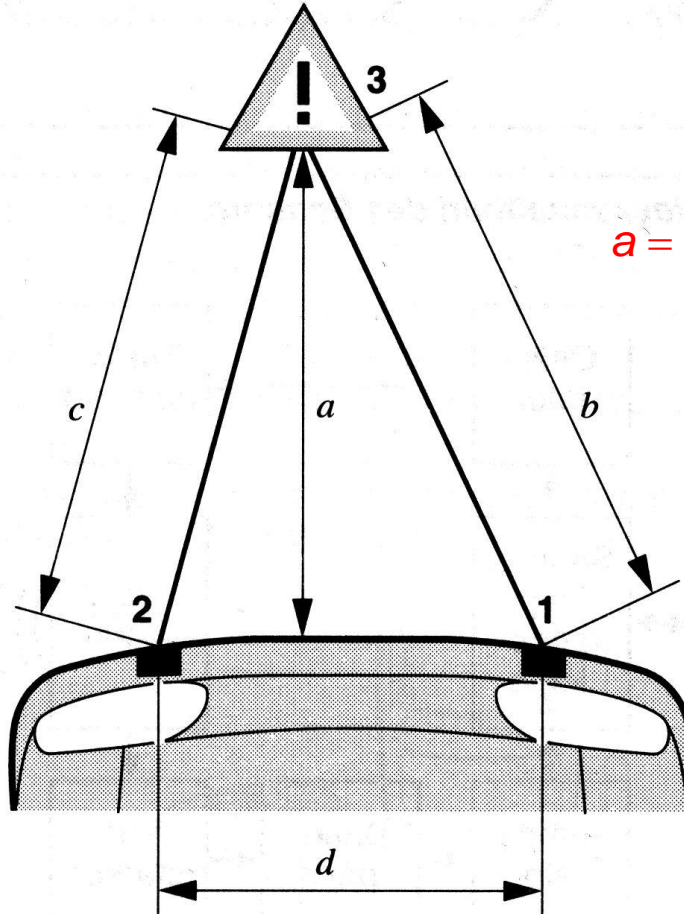
Gas	R_i / kJ/(kg K)	κ
He	2,07901	1,66
H ₂	4,12174	1,41
N ₂	0,29675	1,40
O ₂	0,25978	1,40
trockene Luft	0,28704	1,40
CO	0,29695	1,40
CO ₂	0,18878	1,31
H ₂ O-Dampf	0,46151	1,33
SO ₂	0,12984	1,40
CH ₄	0,51877	1,30
NH ₃	0,48834	1,31

Gasparameter

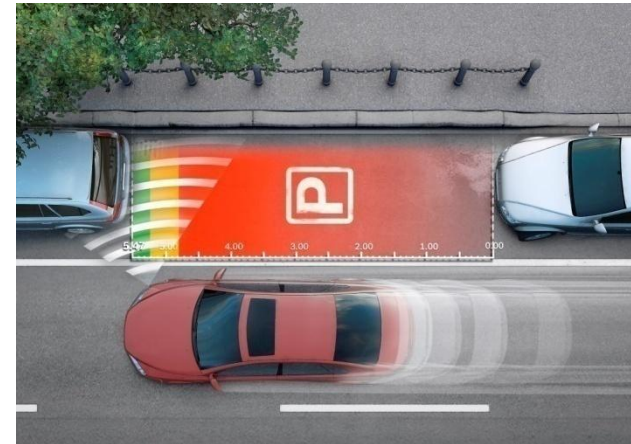
[F.Hell: Thermische Energietechnik]

2. SENSORPRINZIPIEN DER MECHANIK:

2.5 SENSORPRINZIPIEN AUS MECHANISCHEN SCHWINGUNGEN UND WELLENAUSBREITUNG (11)



$$a = \sqrt{c^2 - \frac{(d^2 + c^2 - b^2)^2}{4d^2}}$$

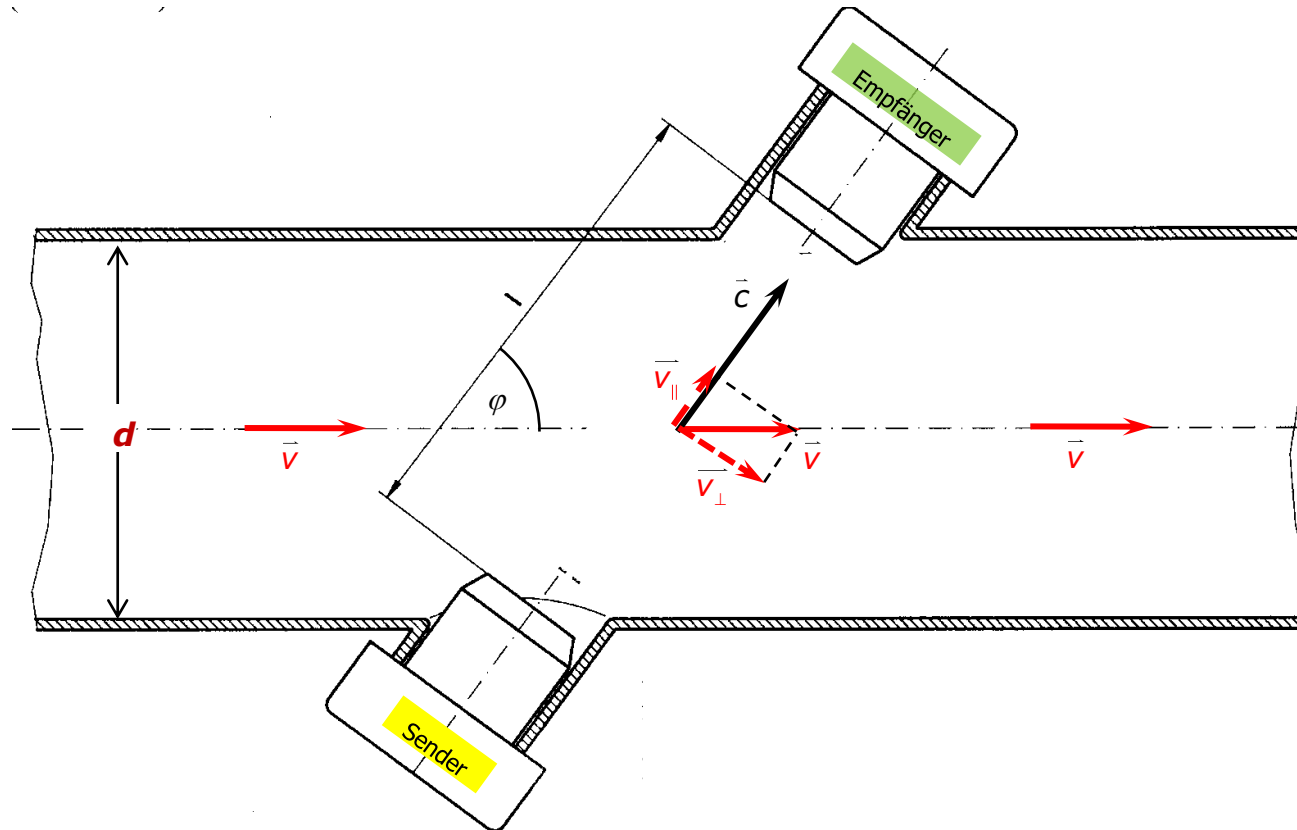


Einparksysteme

[Bosch: Kraftfahrtechnisches Taschenbuch]

2. SENSORPRINZIPIEN DER MECHANIK:

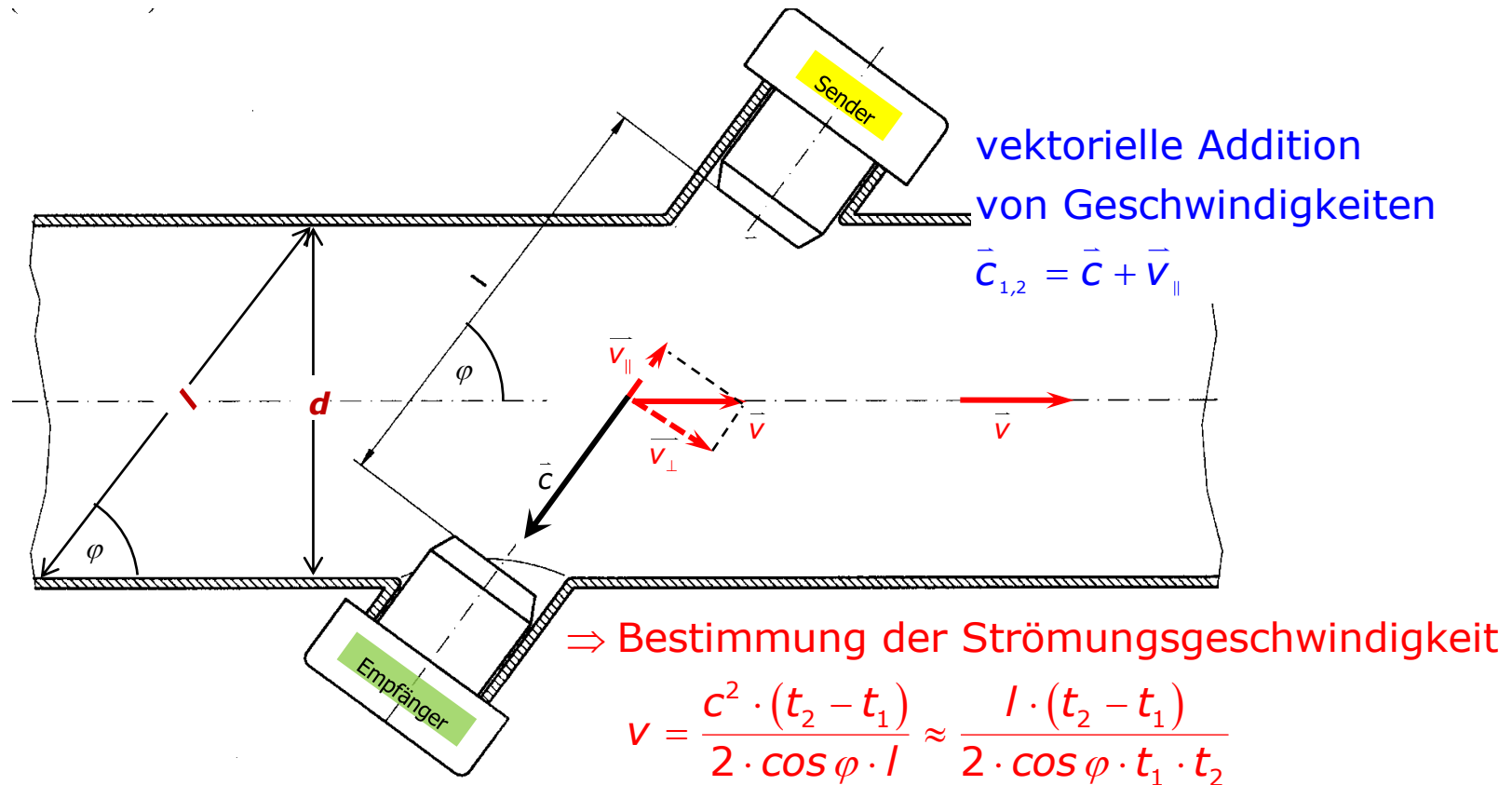
2.5 SENSORPRINZIPIEN AUS MECHANISCHEN SCHWINGUNGEN UND WELLENAUSBREITUNG (12)



Laufzeitdifferenzverfahren (1)

2. SENSORPRINZIPIEN DER MECHANIK:

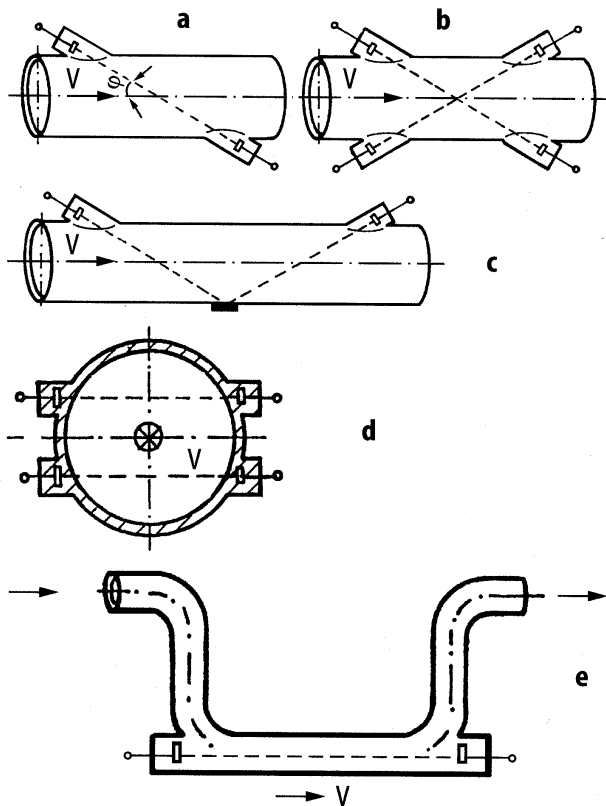
2.5 SENSORPRINZIPIEN AUS MECHANISCHEN SCHWINGUNGEN UND WELLENAUSBREITUNG (13)



Laufzeitdifferenzverfahren (2)

2. SENSORPRINZIPIEN DER MECHANIK:

2.5 SENSORPRINZIPIEN AUS MECHANISCHEN SCHWINGUNGEN UND WELLENAUSBREITUNG (14)

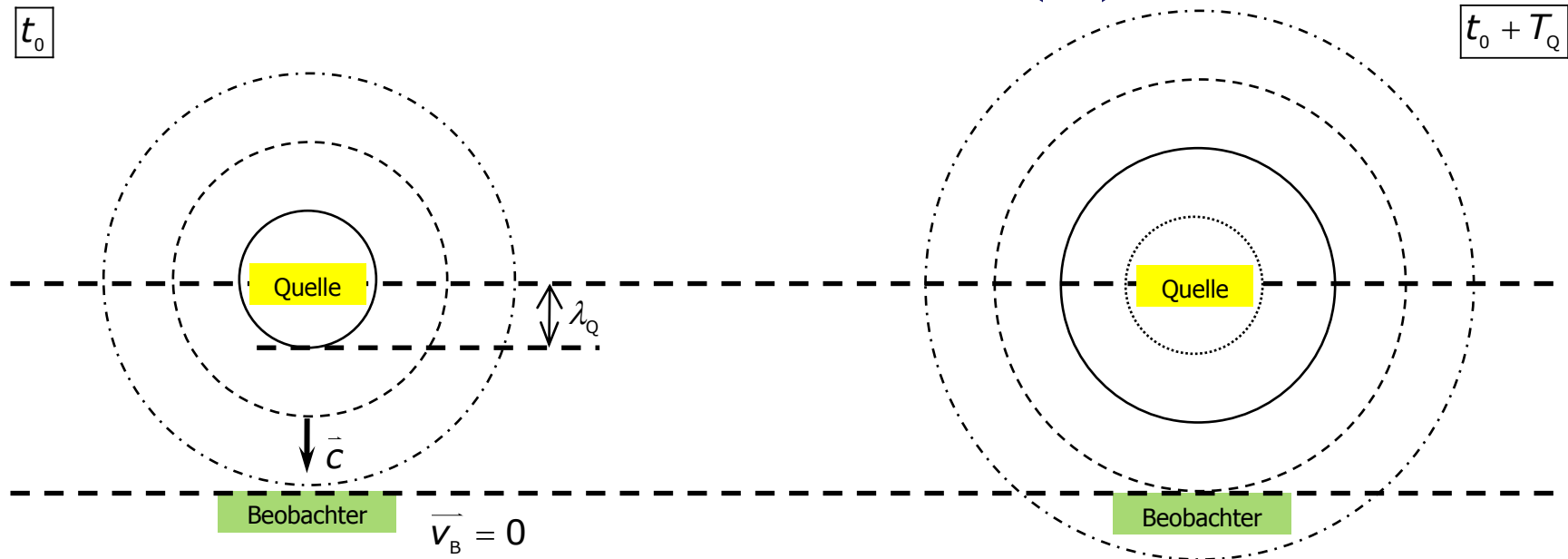


Laufzeitdifferenzverfahren: Verschiedene technische Ausführungen

[H.-J. Gevatter: Automatisierungstechnik 1]

2. SENSORPRINZIPIEN DER MECHANIK:

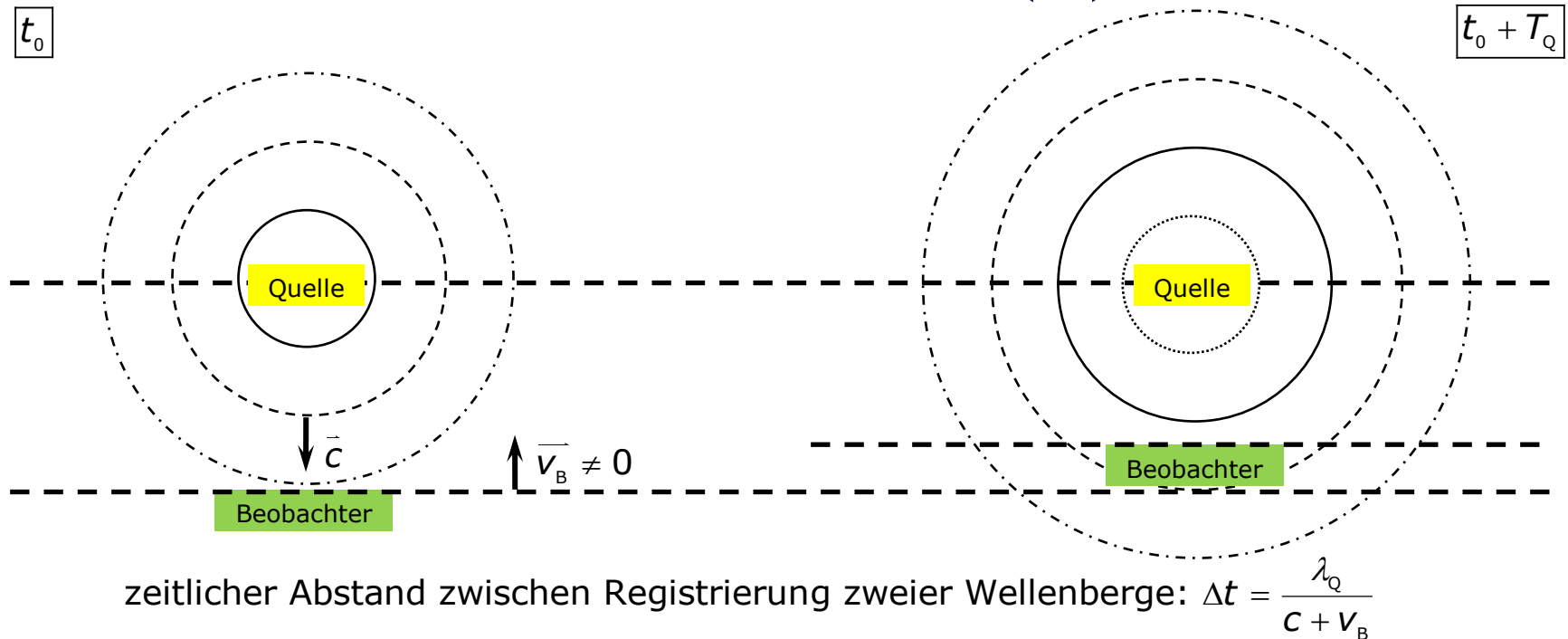
2.5 SENSORPRINZIPIEN AUS MECHANISCHEN SCHWINGUNGEN UND WELLENAUSBREITUNG (15)



Doppler-Effekt (1)

2. SENSORPRINZIPIEN DER MECHANIK:

2.5 SENSORPRINZIPIEN AUS MECHANISCHEN SCHWINGUNGEN UND WELLENAUSBREITUNG (16)

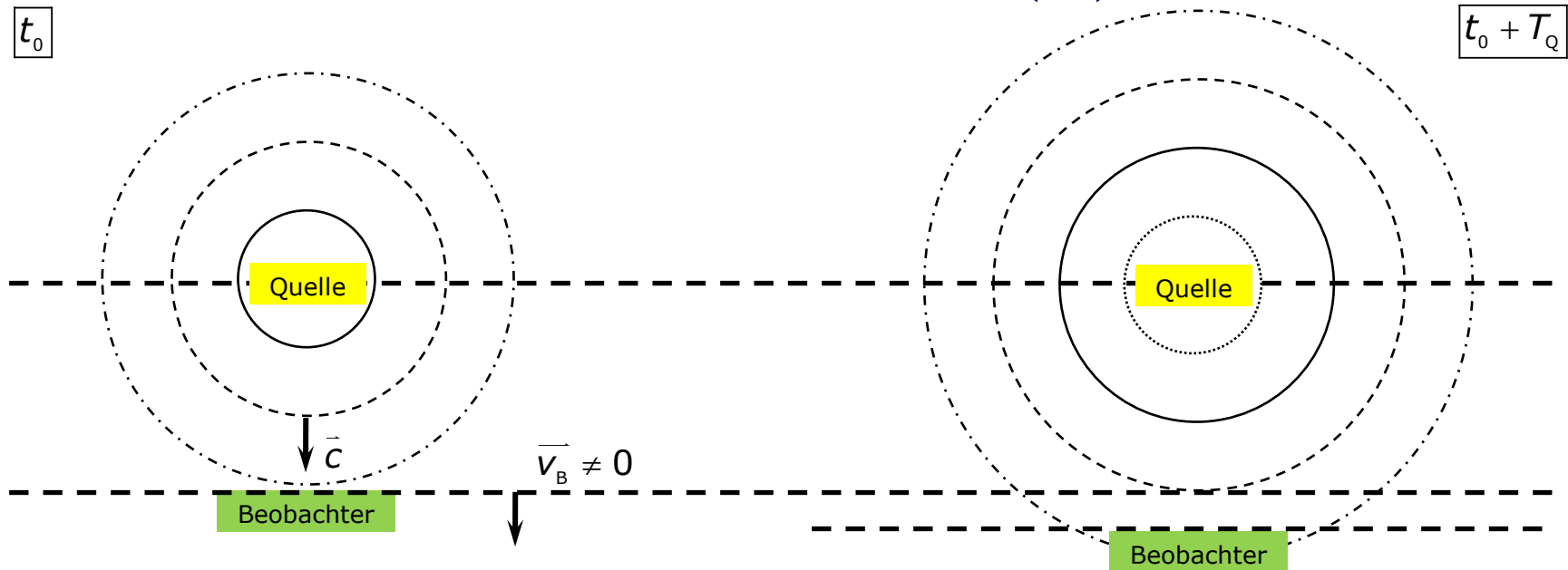


$$\Rightarrow \text{Registrierung der Frequenz } f_B = \frac{c + v_B}{\lambda_Q} = \frac{c}{\lambda_Q} \cdot \left(1 + \frac{v_B}{c}\right) = f_Q \cdot \left(1 + \frac{v_B}{c}\right)$$

Doppler-Effekt (2)

2. SENSORPRINZIPIEN DER MECHANIK:

2.5 SENSORPRINZIPIEN AUS MECHANISCHEN SCHWINGUNGEN UND WELLENAUSBREITUNG (17)



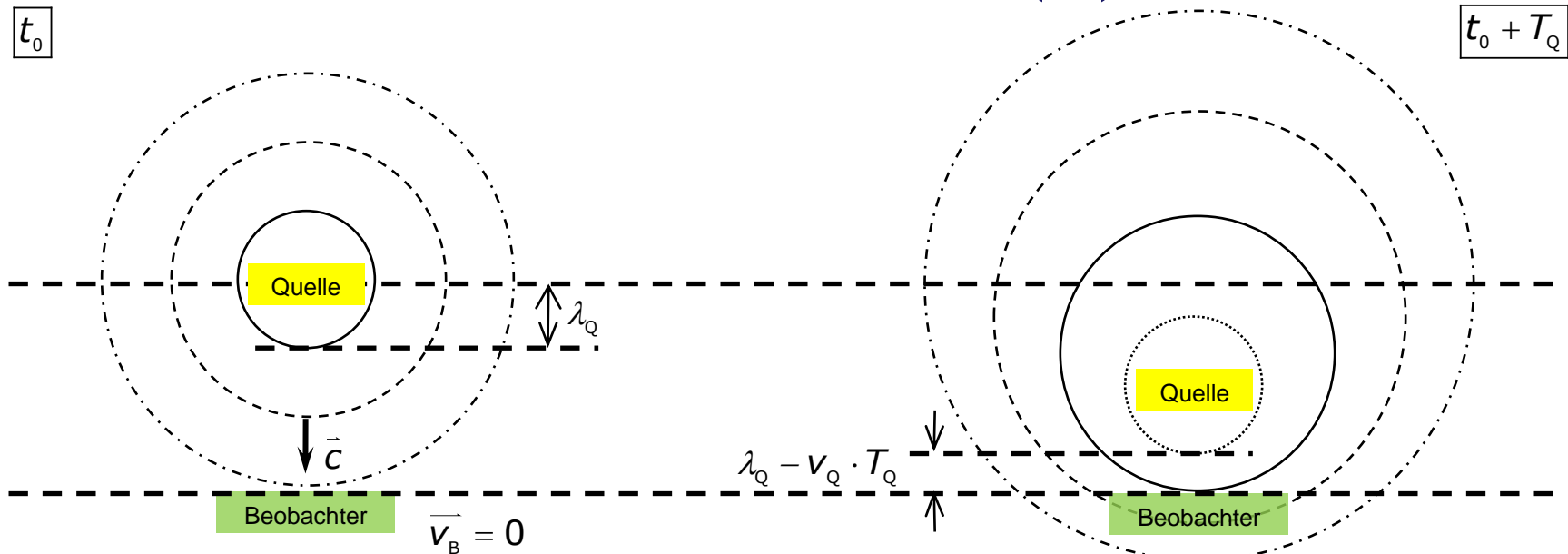
zeitlicher Abstand zwischen Registrierung zweier Wellenberge: $\Delta t = \frac{\lambda_Q}{c - v_B}$

$$\Rightarrow \text{Registrierung der Frequenz } f_B = \frac{c - v_B}{\lambda_Q} = \frac{c}{\lambda_Q} \cdot \left(1 - \frac{v_B}{c}\right) = f_Q \cdot \left(1 - \frac{v_B}{c}\right)$$

Doppler-Effekt (3)

2. SENSORPRINZIPIEN DER MECHANIK:

2.5 SENSORPRINZIPIEN AUS MECHANISCHEN SCHWINGUNGEN UND WELLENAUSBREITUNG (18)



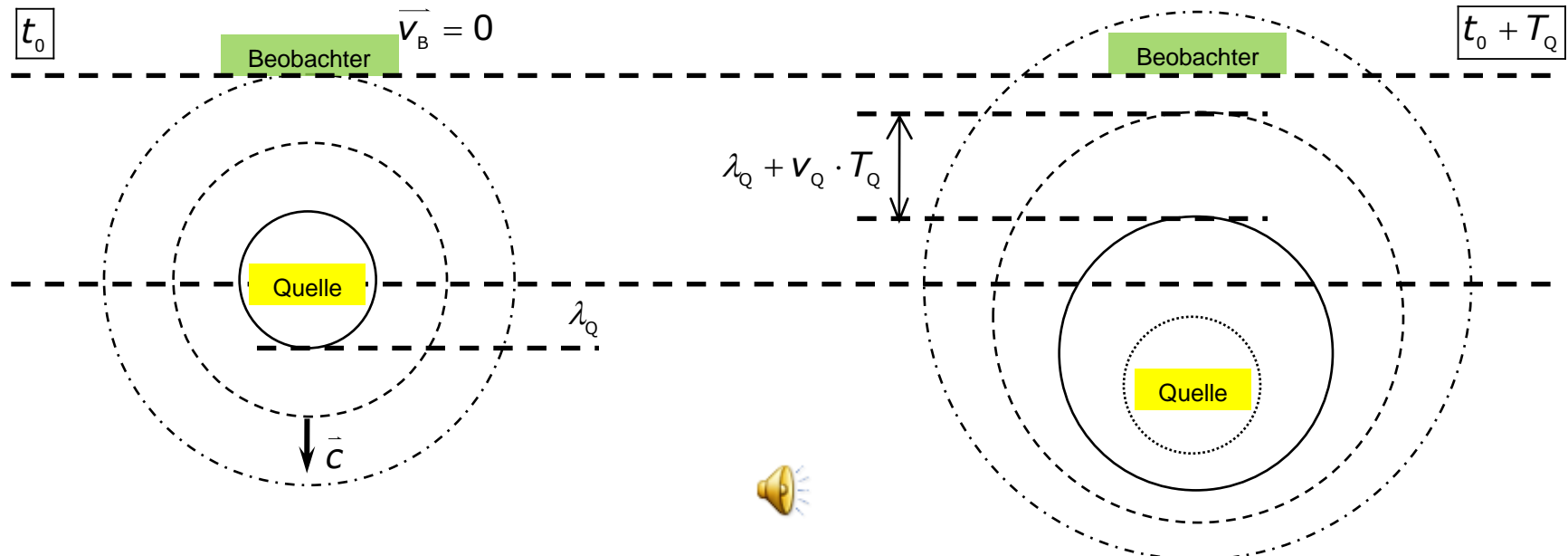
zeitlicher Abstand zwischen Registrierung zweier Wellenberge: $\Delta t = \frac{\lambda_B}{c} = \frac{\lambda_Q - v_Q \cdot T_Q}{c}$

$$\Rightarrow \text{Registrierung der Frequenz } f_B = \frac{c}{\lambda_Q - v_Q \cdot T_Q} = \frac{\frac{c}{\lambda_Q}}{1 - v_Q \cdot \frac{T_Q}{\lambda_Q}} = \frac{f_Q}{1 - v_Q \cdot \frac{1}{\frac{\lambda_Q}{T_Q}}} = \frac{f_Q}{1 - v_Q \cdot \frac{1}{c}}$$

Doppler-Effekt (4)

2. SENSORPRINZIPIEN DER MECHANIK:

2.5 SENSORPRINZIPIEN AUS MECHANISCHEN SCHWINGUNGEN UND WELLENAUSBREITUNG (19)



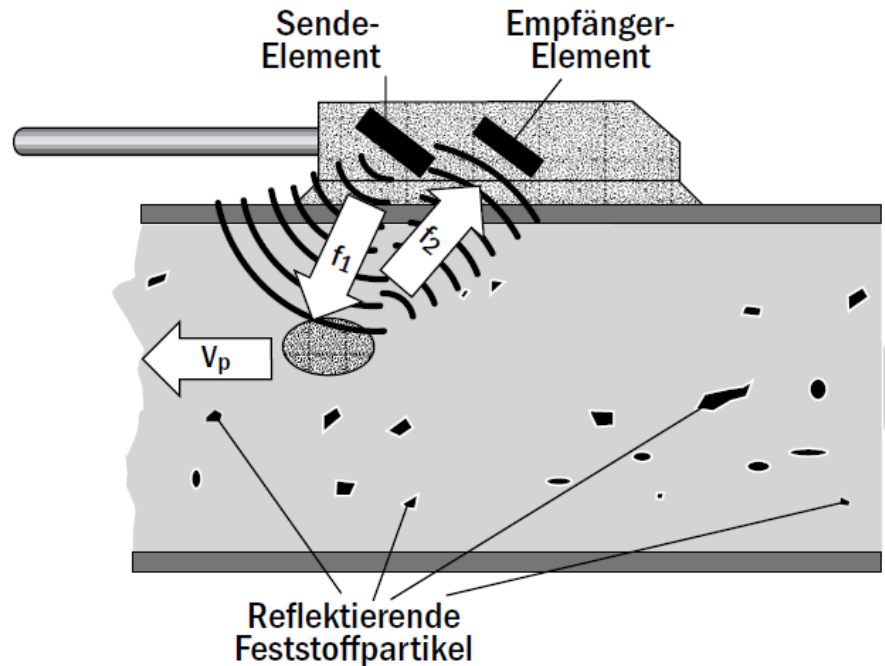
zeitlicher Abstand zwischen Registrierung zweier Wellenberge: $\Delta t = \frac{\lambda_B}{c} = \frac{\lambda_Q + v_Q \cdot T_Q}{c}$

$$\Rightarrow \text{Registrierung der Frequenz } f_B = \frac{c}{\lambda_Q + v_Q \cdot T_Q} = \frac{\frac{c}{\lambda_Q}}{1 + v_Q \cdot \frac{T_Q}{\lambda_Q}} = \frac{f_Q}{1 + v_Q \cdot \frac{1}{\frac{\lambda_Q}{T_Q}}} = \frac{f_Q}{1 + v_Q \cdot \frac{1}{c}}$$

Doppler-Effekt (5)

2. SENSORPRINZIPIEN DER MECHANIK:

2.5 SENSORPRINZIPIEN AUS MECHANISCHEN SCHWINGUNGEN UND WELLENAUSBREITUNG (20)



⇒ Bestimmung
der mittleren
Strömungsgeschwindigkeit

$$V_m = - \frac{\Delta f}{2 \cdot f_Q} \cdot \frac{c}{\cos \alpha}$$

Ultraschalldoppler- Durchflussmesser: Technische Ausführung

[F. Hofmann: Ultraschall-Durchflussmessung]