

Messtechnik für die Energieeffizienz in Kraftwerken



Durchfluss:	100 m ³ /h ... 5000 m ³ /h
Nennweite :	100 mm ... 600 mm
Medientemperatur:	130 °C ... 700 °C
Druck:	40 bar ... 300 bar

Energieeffizienz-Aktionsplan
der Bundesregierung:

- Effizienzsteigerung der Kraftwerke um 40% bis 2020

Methode:

- Temperatur, Druck, Durchfluss erhöhen
- Sicherheitsmargen minimieren

Messtechnik für die
Energieeffizienz
in Kraftwerken

**Kleiner
Exkurs**

EXKURS: "Messtechnik" in Kraftwerken

In Kraftwerken werden selbstkonsistente, rekursive Rechenmethoden zur Minimierung der Messunsicherheit angewandt.

Grundidee ist, dass alle Messungen im Kraftwerk über ein ("thermodynamisches") Modell miteinander verbunden sind.

Das Modell entpuppt sich oft als System von gekoppelten Bilanzgleichungen

Man erhofft, dass diese dann eine Messgröße mehrfach bestimmt wird, und dass so die Messunsicherheit durch Mehrfachmessungen reduziert wird.

Wie geht das?

·

Concept of Co-Variance
Example & Conclusions
Application to Power Plants
Investigation of Preconditions

Concept of Determining Uncertainties

Preconditions

1. Use of variances: statistical and systematic contributions are treated identical
2. Linearization possible

Model Equation:

$$y = f(x_1, x_2)$$

$$R = \frac{U}{i}$$

Combined Variance:

$$u_c^2(y) = \left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)^2 u^2(x_1) + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\right)^2 u^2(x_2) + 2 \frac{\partial f}{\partial x_1} \frac{\partial f}{\partial x_2} u(x_1, x_2)$$

Using sensitivity coefficients

$$u^2(y) = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2 + 2 c_1 c_2 u(x_1, x_2)$$

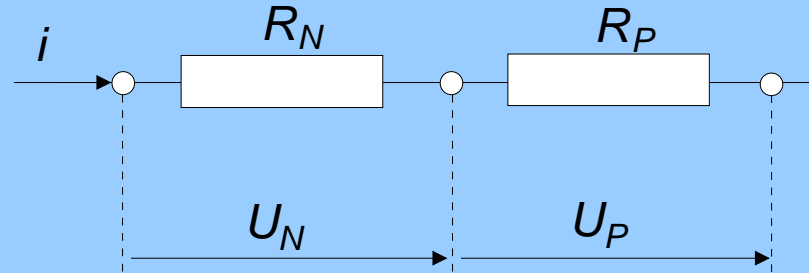
$$u(x_1, x_2) = u(x_1) u(x_2) r(x_1, x_2)$$

Covariance

Correlation coefficient
 $-1 < r < 1$

Example

Measurement Setup



Model equation:

$$R_P = \frac{U_P}{i} = \frac{U_P}{U_N} R_N$$

Repeated Measurements →

$U_{P,0}$... Mean value: Voltage Resistance under Test = 0,1025 V

$U_{N,0}$... Mean value : Voltage Normal-Resistance = 0,1011 V

Combined Variance:

$$u_c^2(R_P) = c_{U_N}^2 u^2(U_N) + c_{U_P}^2 u^2(U_P) + c_{R_N}^2 u^2(R_N) + 2 c_{U_N} c_{U_P} u(U_N, U_P)$$

Example

Relative combined variance:

$$\frac{u_c^2(R_P)}{R_P^2} \approx \frac{u^2(U_N)}{U_N^2} + \frac{u^2(U_P)}{U_P^2} + \frac{u^2(R_N)}{R_N^2} - \frac{2 u(U_N) u(U_P) r(U_N, U_P)}{U_N U_P}$$

Uncertainties

$$u(U_P)/U_P = 1 \cdot 10^{-5} \text{ und } u(U_N)/U_N = 1 \cdot 10^{-5}$$

Normal-resistance: → calibration certificate:

$$u(R_N)/R_N = 2 \cdot 10^{-6}$$

Mean value of the unknown resistance:

$$R_{P,0} = 101,385 \, \Omega$$

Results:

Relative uncertainty maximal for $r = -1$:

$$\frac{u_c(R_P)}{R_P} = 2,0 \cdot 10^{-5}$$

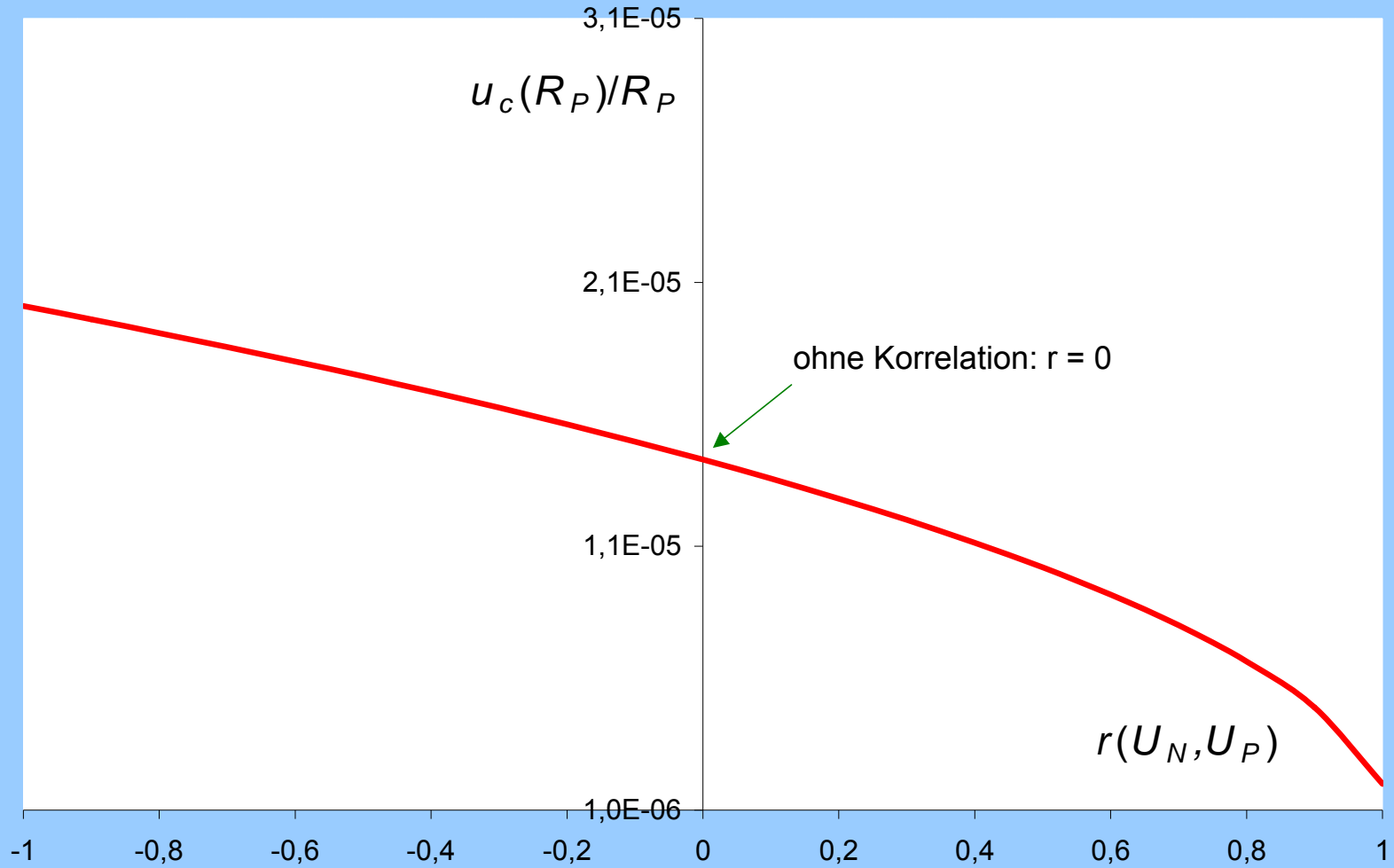
No correlation taken into account:

$$\frac{u_c(R_P)}{R_P} = 1,4 \cdot 10^{-5}$$

Minimum Value for $r = +1$

$$\frac{u_c(R_P)}{R_P} = 2 \cdot 10^{-6}$$

in other words



How large is the correlation coefficient r in this special case ?

Empiric Covariance of x_1 und x_2 :

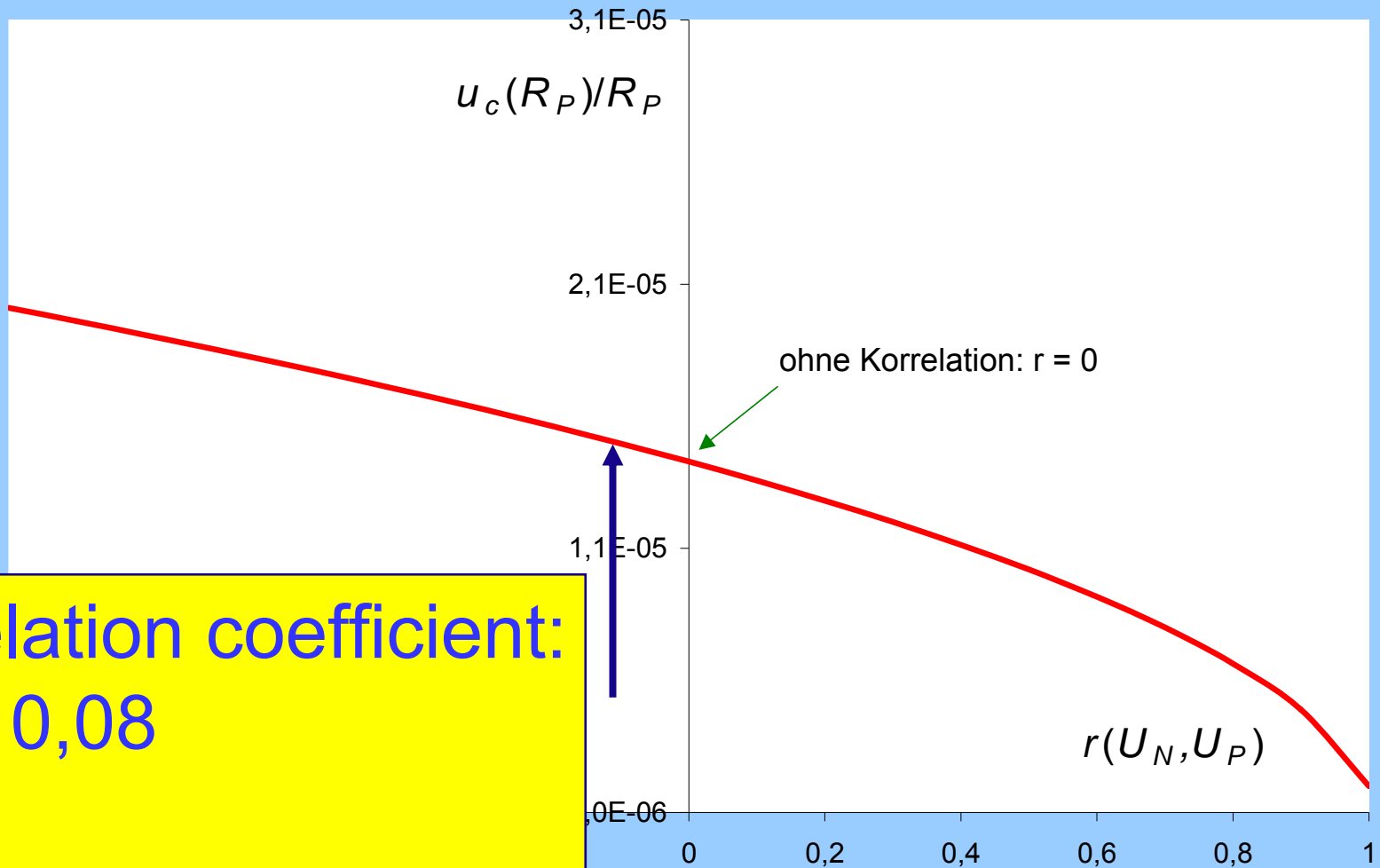
$$u(x_1, x_2) = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (x_{1i} - x_{1,0})(x_{2i} - x_{2,0})$$

Example:

$$x_1 = U_P$$

$$x_2 = U_N$$

Measurem.	x_1	x_2	$(x_{1i} - x_{1,0})$	$(x_{2i} - x_{2,0})$	$(x_{1i} - x_{1,0}) * (x_{2i} - x_{2,0})$
1	0,1025	0,1008	2,0E-05	-2,9E-04	-5,8E-09
2	0,1023	0,1014	-1,8E-04	3,1E-04	-5,6E-08
3	0,1025	0,1009	2,0E-05	-1,9E-04	-3,8E-09
4	0,1029	0,1009	4,2E-04	-1,9E-04	-8,0E-08
5	0,1032	0,1008	7,2E-04	-2,9E-04	-2,1E-07
6	0,1026	0,1010	1,2E-04	-9,0E-05	-1,1E-08
7	0,1023	0,1012	-1,8E-04	1,1E-04	-2,0E-08
8	0,1022	0,1012	-2,8E-04	1,1E-04	-3,1E-08
9	0,1021	0,1013	-3,8E-04	2,1E-04	-8,0E-08
10	0,1022	0,1014	-2,8E-04	3,1E-04	-8,7E-08
MeanVal	0,1025	0,1011	1,1E-17	3,1E-17	
Variance	1,2E-07	5,7E-08			
StandDev.	3,5E-04	2,4E-04			
Summe =					-5,82E-07
$u(x_1, x_2)$ = Kovarianz =					-6,47E-09
Korrelationskoeffizient = -0,08					

combined uncertainty including real correlation

correlation coefficient:
 $r = -0,08$

$$u_c(R_p)/R_p = 1,6 \cdot 10^{-5}$$

Conclusions:

Covariances do contribute to measurement uncertainty

**depending on the correlation coefficient
the combined measurement uncertainty is enhanced or lowered**

**the correlation coefficient cannot be calculated ab initio
but has to be determined by an experiment.**

the statement, the more you measure, the better the result is not valid.

Application to Measurements in Power plants (according to VDI 2048)

same preconditions:

- concept of variances
- linearisation possible
- the model-equation exists and is true

additionally:

steady state, no periodic variation of measurement values in time

same procedure

more than 2 variables => use matrix calculation

perform measurements to calculate the correlation coefficient

results are valid (even for a metrologist!)

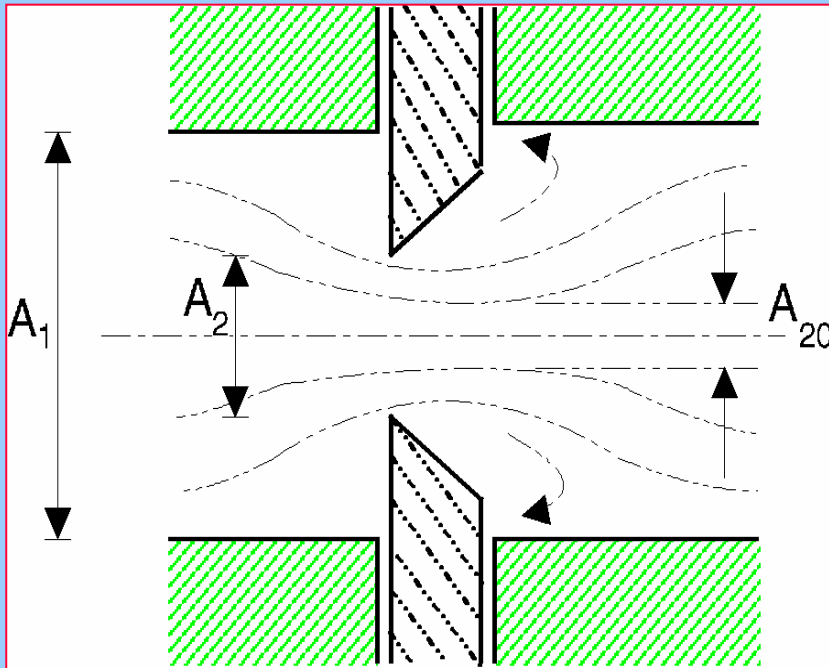
HOWEVER:

are the preconditions valid?

Investigation of Preconditions

Concept of covariances is not true, but we don't have anything better

Linearization: the orifice plate as an example



Volume-Flowrate (m³/h)

$$Q = \alpha A_2 \sqrt{\frac{2(\rho_1 - \rho_2)}{\rho}}$$

not linear
 large dynamic range for Δp -measurement
 large temperature dependence of
 viscosity, density
 strong installation effects

Model equation:

no full thermodynamic model of the measurement processes exist
 only a set of simple equations related with mass- and energy conservation

Conclusions

leakage

Final remarks of the VDI 2048:

„ ... it has been shown, how serious errors can be revealed by correction calculation and how contradictions can be eliminated... “

drift of a
sensor

My personal opinion:

Data monitoring / data reconciliation / retrofit measures based only on VDI 2048 should not be used as an uprating tool.

What to do instead?

Energieeffizienz-Aktionsplan der Bundesregierung:

- Effizienzsteigerung der Kraftwerke um 40% bis 2020

Methode:

- Temperatur, Druck, Durchfluss erhöhen
- Sicherheitsmargen minimieren

Problem Durchflussmessung bei hohen Temperaturen:

- Messunsicherheit rd. 2 – 3 %
- Messgeräte nicht kalibriert

Messtechnik für die Energieeffizienz in Kraftwerken

Ziel Durchflussmessung:
 $U < 0,5 \% \text{ für } T > 200 \text{ }^\circ\text{C}$

PTB Projekt:

- Messanlage f. thermische Energie bei hohen Temperaturen (Investition rd. 850 k€, 2009-2010)
- Drittmittelfinanzierte F&E zur Energie-Effizienz-Messtechnik ausbauen (bereits rd. 500 k€ eingeworben)

PTB Auftrag

- Rückführungskette aufbauen
- Kalibriermöglichkeiten schaffen

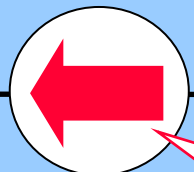
Messanlage für thermische Energie

Gravimetrische Rückführung:
Waagen, Diverter

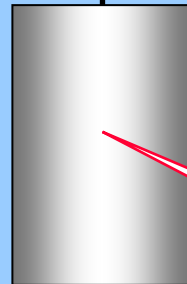
Messtrecke
DN 20 – DN 80



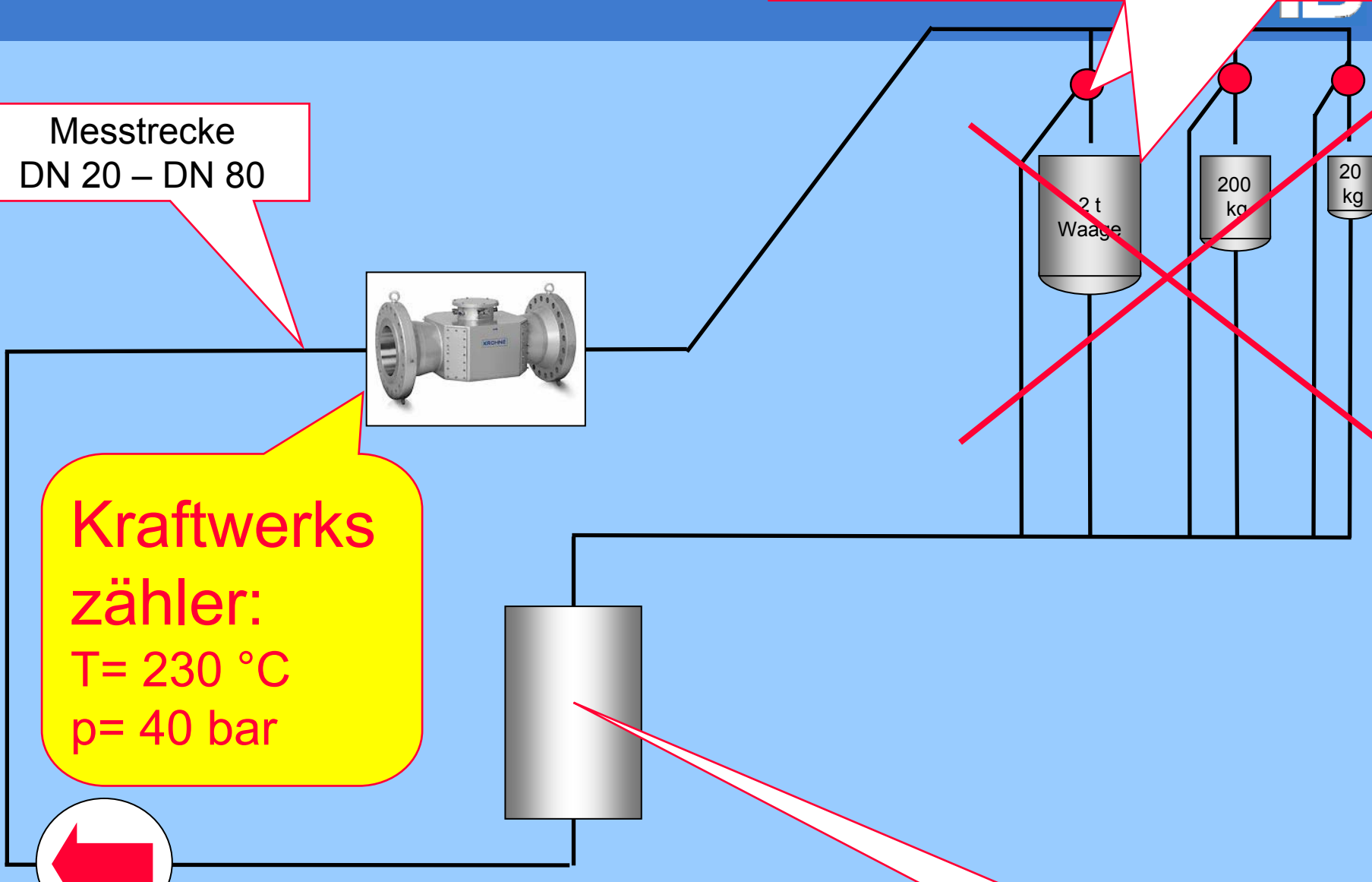
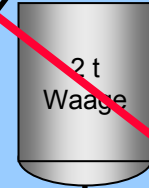
**Kraftwerks
zähler:**
T= 230 °C
p= 40 bar



Pumpenkaskade



Vorratsbehälter



Messanlage für thermische Energie bei hohen Temperaturen

Laseroptisches Volumenstrom-Fundamentalmessgerät

Aktueller Einsatz:

Fernwärmenetz: $T=120\text{ °C}$, $p=25\text{ bar}$

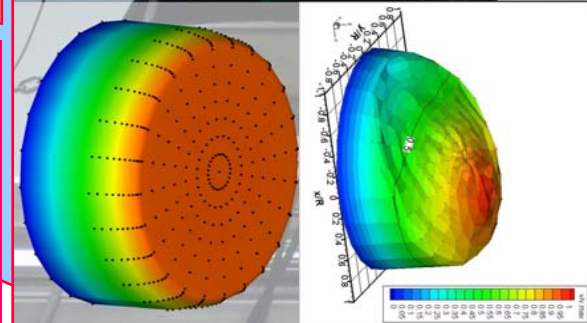
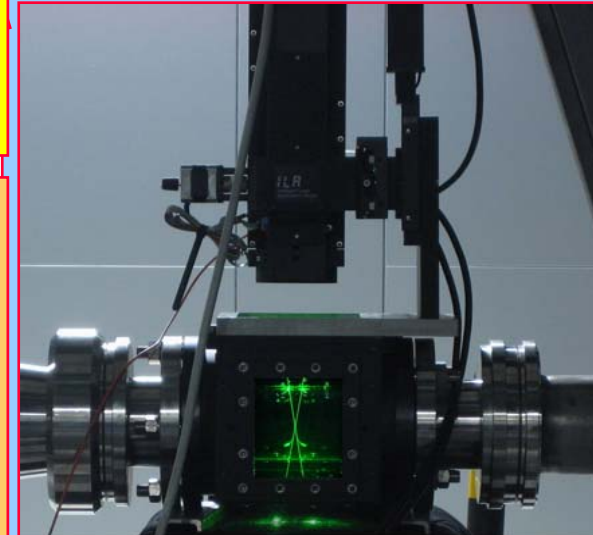
Nächster Schritt:

PTB Hochtemperatur
Messanlage: $T=230\text{ °C}$, $p=40\text{ bar}$

Ziel:

Kraftwerk: $T=300\text{ °C}$, $p=150\text{ bar}$

Laseroptisches
Volumenstrom-
Fundamentalmessgerät



Pumpenkaskade

Vorratsbehälter

Einflussgrößenorientierte Rückführung in der PTB:

- Extrapolationsverfahren metrologisch absichern

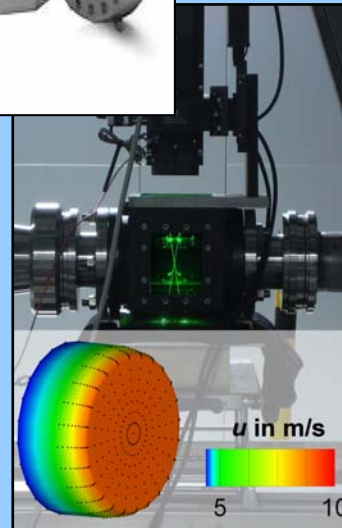
Fundamentalmessverfahren vor Ort

- Lasermessverfahren für höchste Temperaturen und Drücke entwickeln

Aktuelle Drittmittelprojekte

- Strömungssimulation in US-Sensoren
- Temperatureinfluss bei US-Sensoren

- Geplant: Simulation der Schallverteilung in Sensor u. Fluid



Aktuelle Drittmittelprojekte

- Laserdurchflussmessgerät für Fernheiznetze

- Geplant: Kombination Laser und Prozessmesstechnik