

Experimentelle Untersuchungen zur Wirksamkeit passiver Komponenten für den SWR1000

Passive Sicherheitssysteme

Notkondensator

A. Schaffrath (Forschungszentrum Rossendorf e.V.)

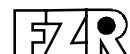
Gebäudekondensator

M. Fethke (Forschungszentrum Jülich GmbH)

Passiver Impulsgeber

H. Ringel (TU Dresden)

Vortrag "KTG Sachsen"
Dresden, 29. Oktober 1998



Gliederung

- **Passive Komponenten**

Beispiel, Änderung der Sicherheitsphilosophie, Klassifizierung, Bewertung, offene Fragen

- **SWR1000**

- **Notkondensator**

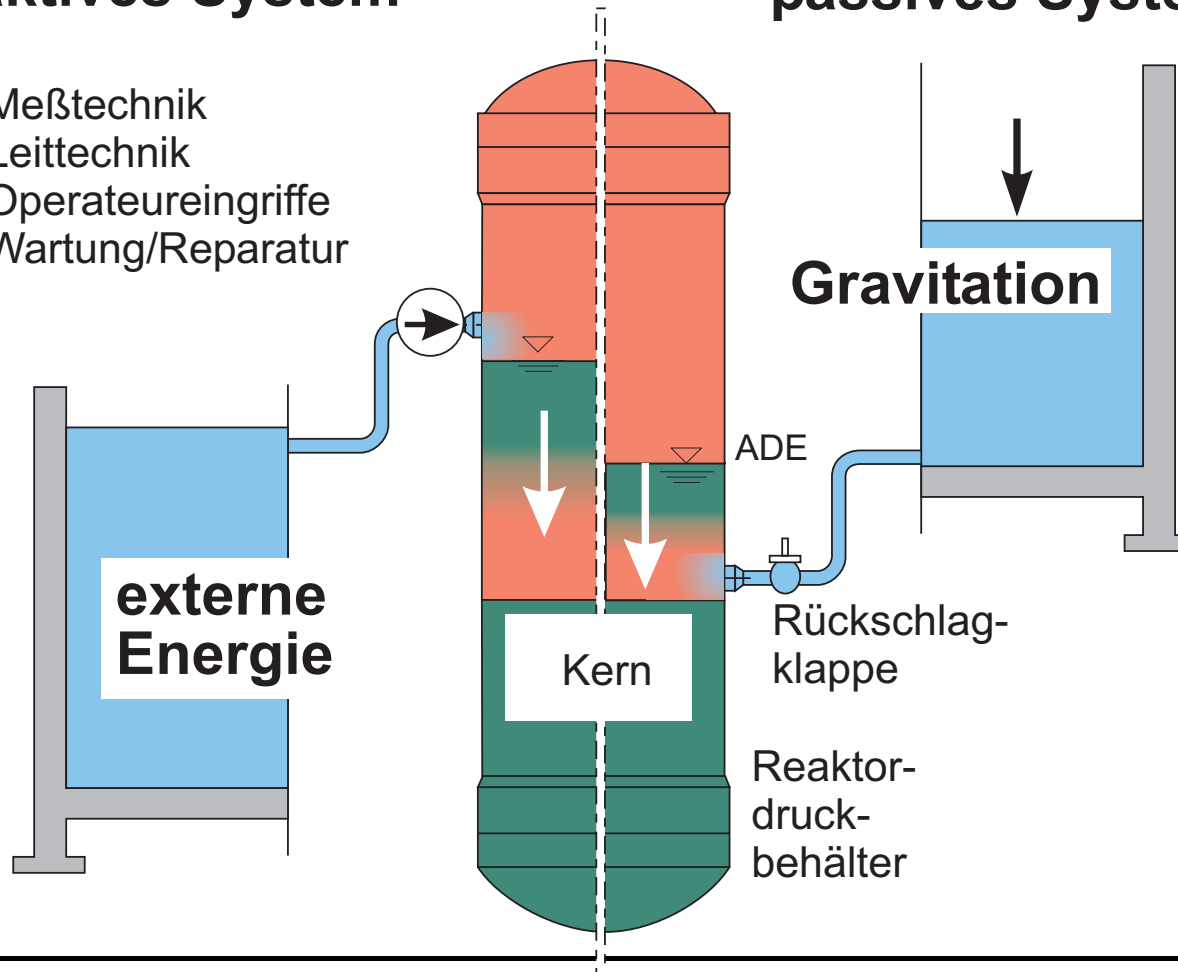
Funktionsweise, Versuchsstand, Testmatrix, Versuchsdurchführung, Auswertung, Ergebnisse, Phänomene, Rechnungen

- **Zusammenfassung und Ausblick**

Gegenüberstellung aktiver und passiver Sicherheitssysteme

aktives System

- Meßtechnik
- Leittechnik
- Operateureingriffe
- Wartung/Reparatur



Änderung der Sicherheitsphilosophie

(bislang) aktive Systeme:

- **n+2 Systemauslegung** ($4 \times 50\%$ oder $3 \times 100\%$), Ausfall eines Systems infolge eines Einzelfehlers sowie aufgrund von Wartungsarbeiten
- Ausfallwahrscheinlichkeit **redundanter Systeme** infolge Gemeinsamkeiten (common mode, common cause failures) liegt in der Größenordnung 10^{-4}

Die derzeit betriebenen Reaktoren erfüllen nicht mehr die Anforderungen des **Artikelgesetzes** (Änderung des Art. 4 des Atomgesetzes – derzeit die weltweit höchsten gesetzlichen Anforderungen an neue Reaktorkonzepte)!

sinngemäß

- Begrenzung der Auswirkungen von Ereignissen über Auslegungstörfälle hinausgehen auf die Anlage
- Verzicht auf Maßnahmen aus dem Bereich des Katastrophenschutzes wie z.B. Evakuierung oder Umsiedlung

Änderung der Sicherheitsphilosophie (Fortsetzung)

Um zukünftig neue Reaktoren bauen zu können, werden **neue Reaktorkonzepte** benötigt!

Reduktion der Eintrittswahrscheinlichkeit von auslegungsüberschreitenden Störfällen auf die gleiche Größenordnung wie Wahrscheinlichkeit kosmischer Katastrophen (d.h. $\approx 10^{-8}$ /Jahr)

1. *Möglichkeit*: **Diversifizierung** (Anstieg der Investitionskosten, sowie des personellen und materieller Aufwandes)

2. *Möglichkeit*: **Ersatz von aktiven Systeme durch passive** oder wo dies nicht möglich ist Kombination von aktiven und passiven Systemen

- Systemvereinfachung
- Verzicht auf Redundanzen (konkurrenzfähig gegenüber Gas- bzw. Kohlekraftwerken)

Klassifizierung passiver Systeme

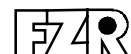
IAEA - TECDOC-626

Safety related terms for advanced NPP

Kriterium	Kategorie			
	A	B	C	D
bewegliche Medien	-	×	×	×
bewegliche Teile	-	-	×	×
Signale	-	-	-	×
externe Energieversorgung	-	-	-	Batterien, Druckspeicher
Beispiel	Rohrleitung	Notkondensator	Rückschla- klappe	RESA

Bewertung passiver Systeme

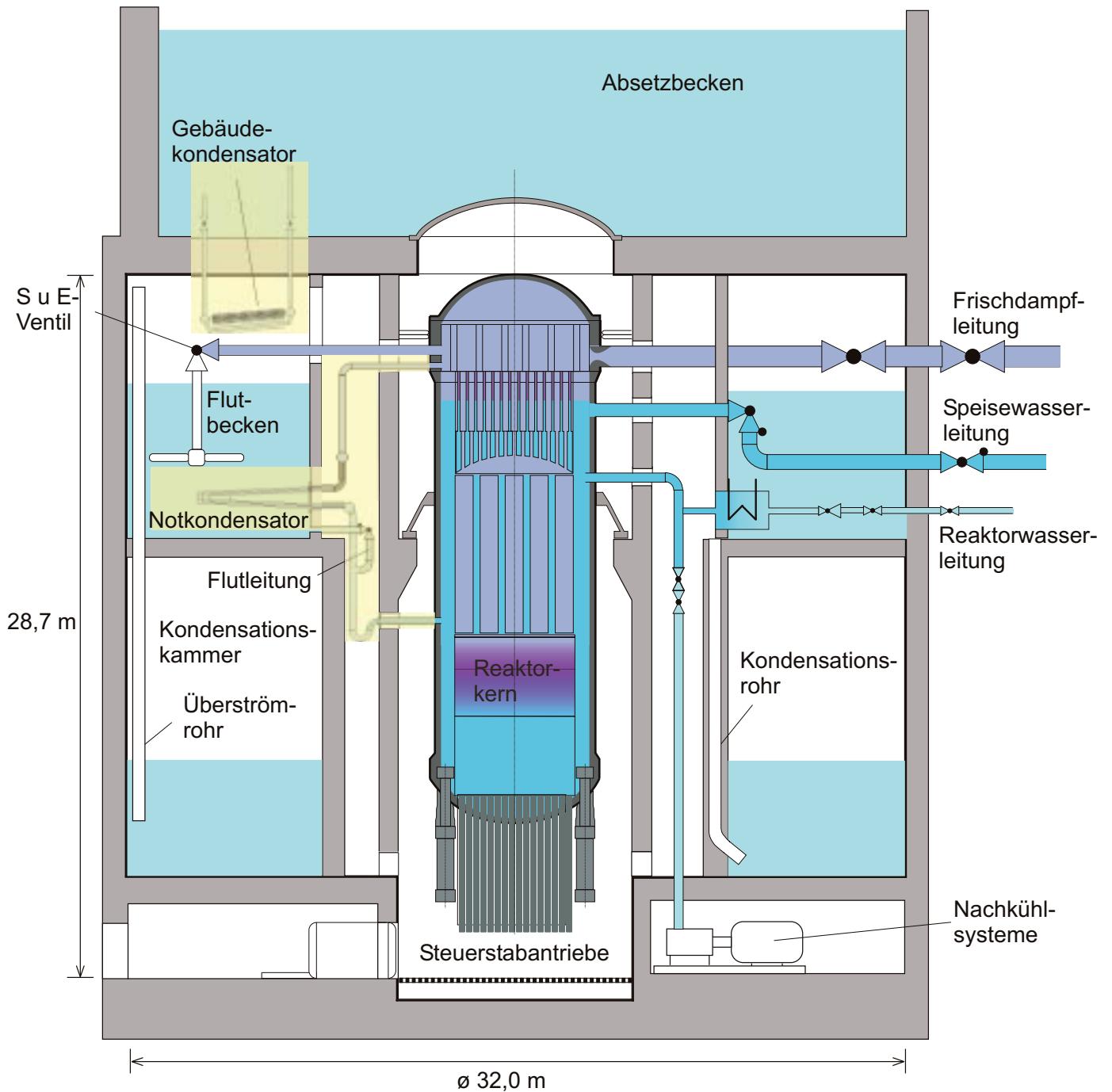
- derzeit gibt es **keine Kriterien zur Bewertung** von passiven Systemen, sowie einer **Gewichtung** der Vor- und Nachteile gegenüber aktiven Systemen
- **Entwicklung der Methodiken** und Diskussion von Kriterien für funktionelle Anforderungen, Testmöglichkeiten, Einzelfehler und Redundanzen, Diversitäten, Quantifizierung der Zuverlässigkeit und die Beeinflussung durch menschliche Handlungen



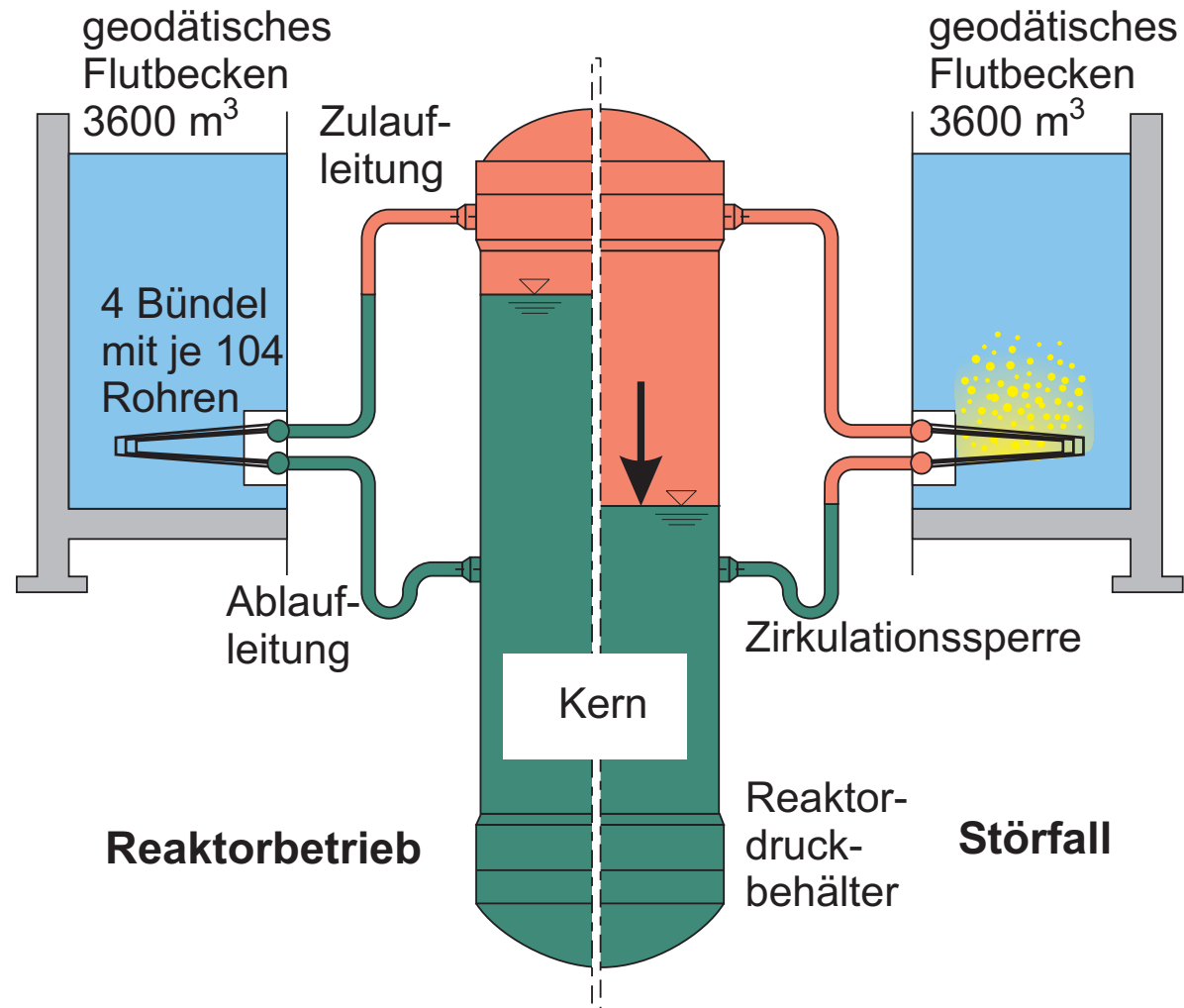
Offene Fragen

- Welche **Anfangs- und Randbedingungen** benötigt ein passives System für seinen Betrieb? Ist davon auszugehen, daß diese Bedingungen stets im Anforderungsfall vorliegen? Wie verhalten sich passive Systeme unter extremen Bedingungen (z.B. bei hohen Drücken, Temperaturen, Inertgaskonzentrationen)?
- Befindet sich das passive System im Anforderungsfall im **intakten Zustand**? Werden **Schäden**, die zum Ausfall von passiven Systemen führen können, **zuverlässig entdeckt** werden?
- Wie werden passive Systeme getestet? Wie ist die Zuverlässigkeit eines passiven Systems zu bewerten, wenn dies nach seinem Einbau weder getestet, inspiziert noch gewartet werden kann?
- Welche Rolle spielt der **Alterungsprozeß** der Materialien für das Betriebsverhalten von passiven Systemen?
- Wie ist ein möglicher Wegfall der Beeinflussung durch **menschliche Handlungen** zu bewerten?
Menschliche Handlungen können den Störfallablauf sowohl negativ als auch positiv (z.B. beim accident management) beeinflussen.
- Benötigt ein passives System Redundanzen?

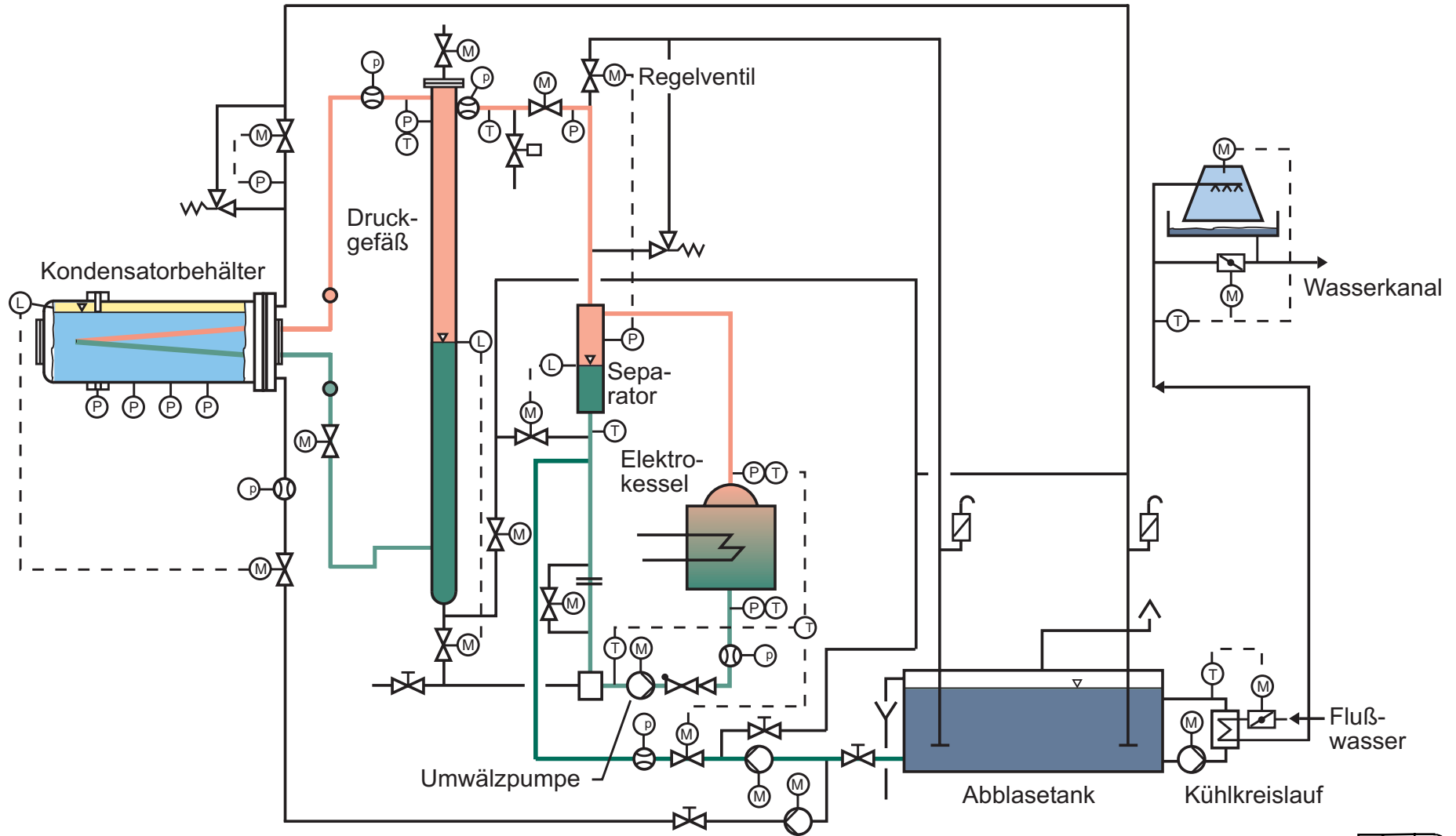
SWR1000



Funktionsweise des Notkondensators



Notkondensator (NOKO) Versuchsanlage (FZ Jülich)



Versuchsdurchführung und Testmatrix

1. Einstellen der Anfangs- und Randbedingungen, Ventil in Rücklaufleitung zu

Test Matrix

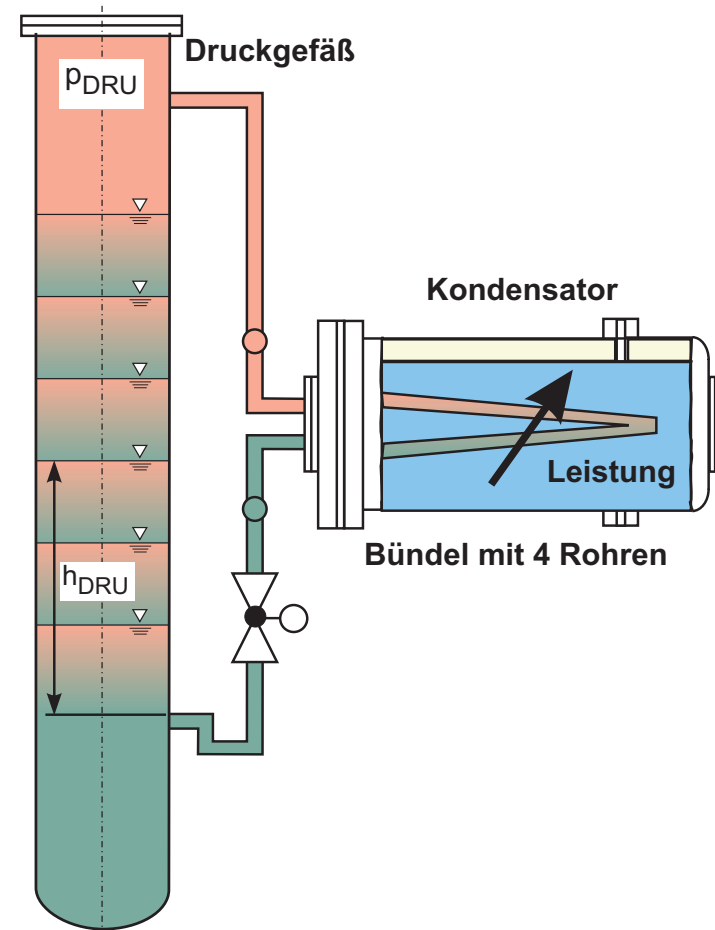
Serie A: Änderung Druck und Füllstand Primärseite

Serie B: Änderung Druck, Füllstand und Anfangstemperaturen Sekundärseite

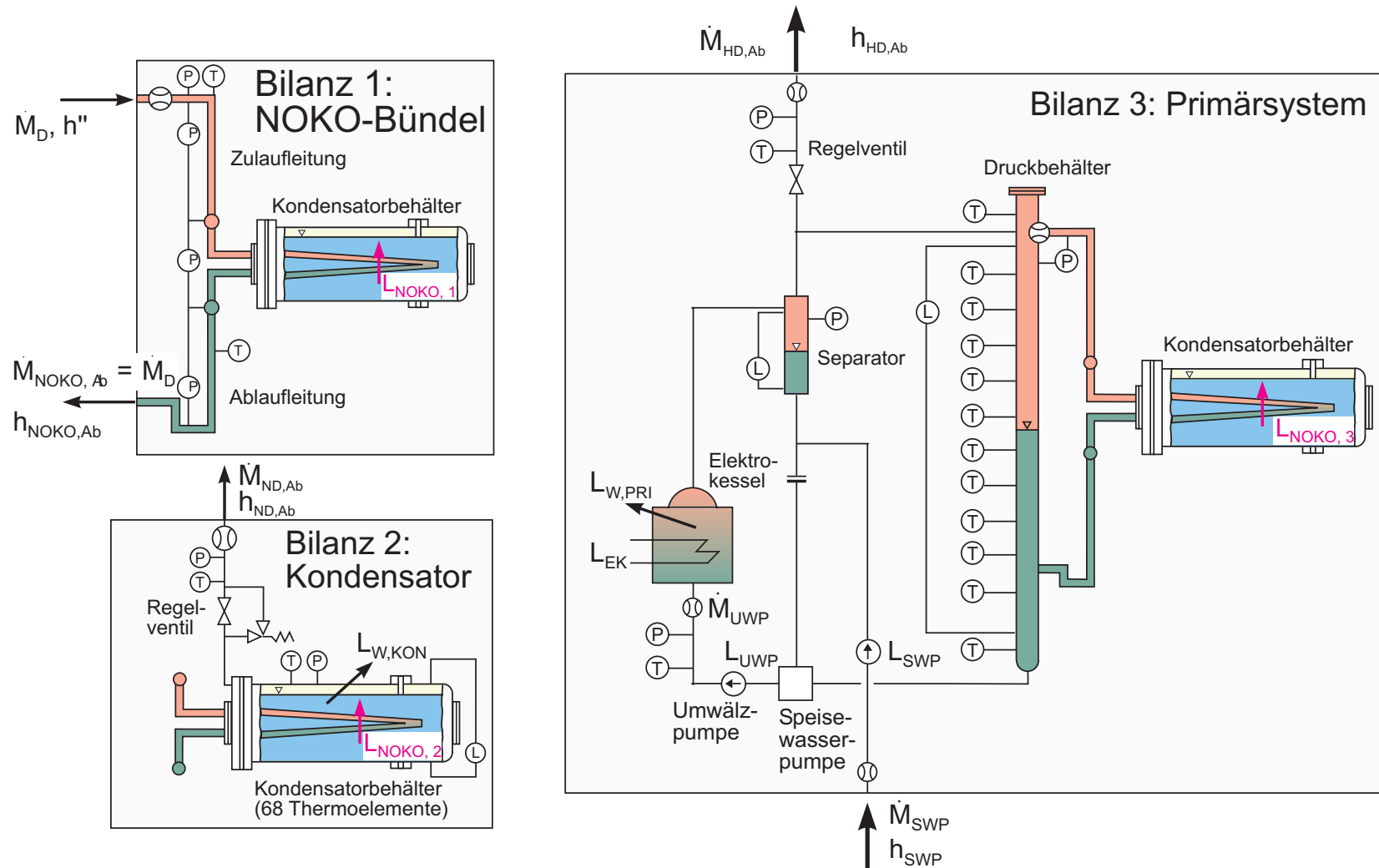
Serien C, D, E: Sonderuntersuchungen

Test-serien	p_{DRU} [MPa]	h_{DRU} [m]	p_{KON} [MPa]	T_{KON} [°C]
A8	7	7.3 - 6.1 - 4.9 - 3.7 - 2.5 - 1.3 - 0.5	0.1	30 - T_S
A16	1	6.0 - 4.8 - 3.7 - 2.5 - 1.3 - 0.5	0.1	
B2	7	7.3 - 6.0 - 4.8 - 3.6 - 2.5 - 1.3 - 0.5	0.5	
B7	7	6.0 - 4.8 - 3.6 - 2.5 - 1.3 - 0.5	0.1	

2. Öffnen des Ventils in der Rücklaufleitung
3. Einstellen stationärer Bedingungen
4. Start der Datenaufzeichnung (1000 s)
5. Schließen des Ventils in der Rücklaufleitung und Einstellen des nächsten Wasserstandes im Druckgefäß

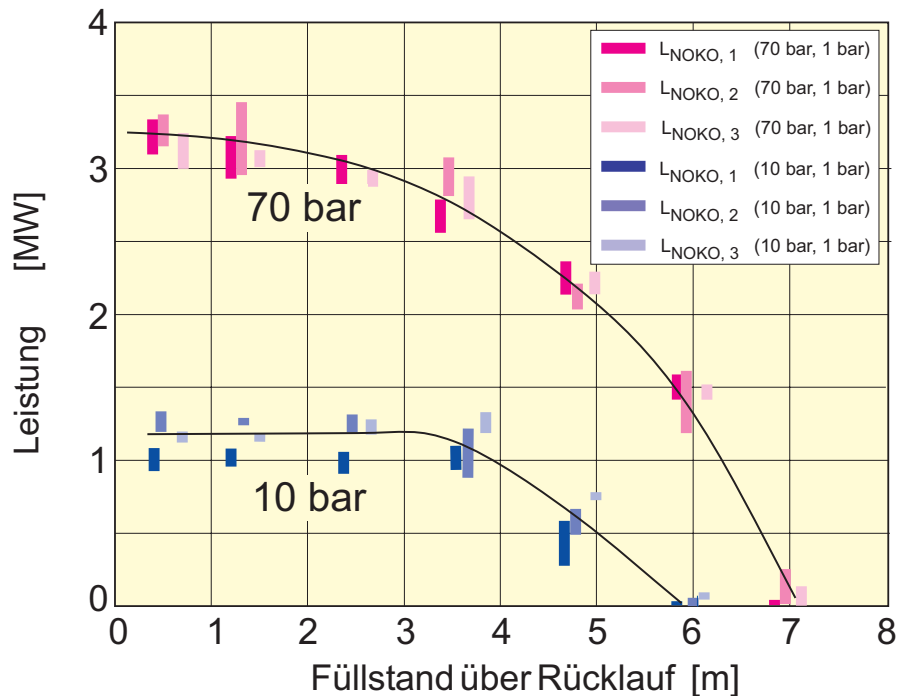


Energiebilanzen zur Bestimmung der Notkondensatorleistung

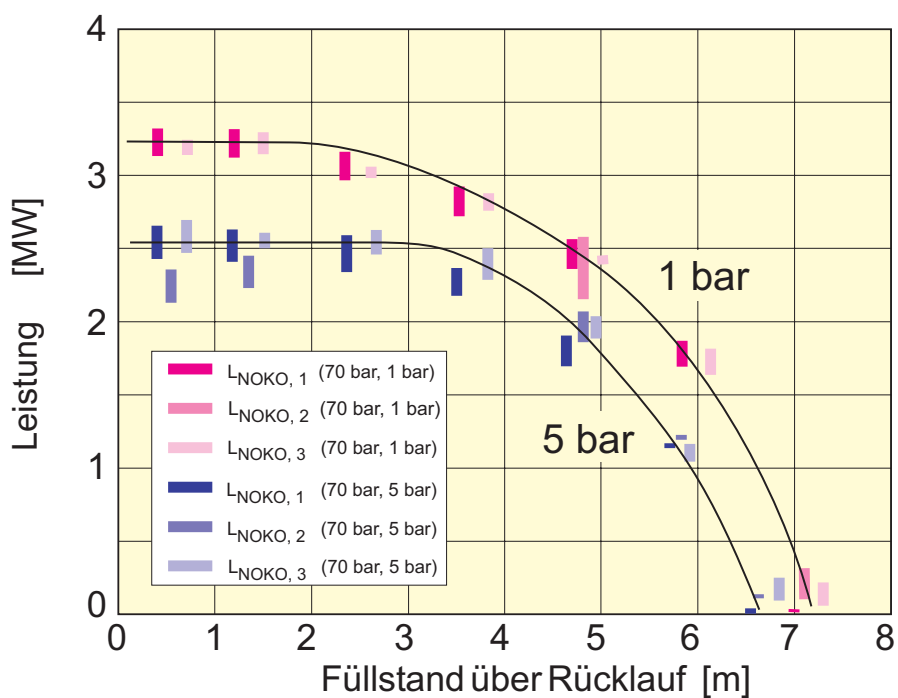


Darstellung der Ergebnisse

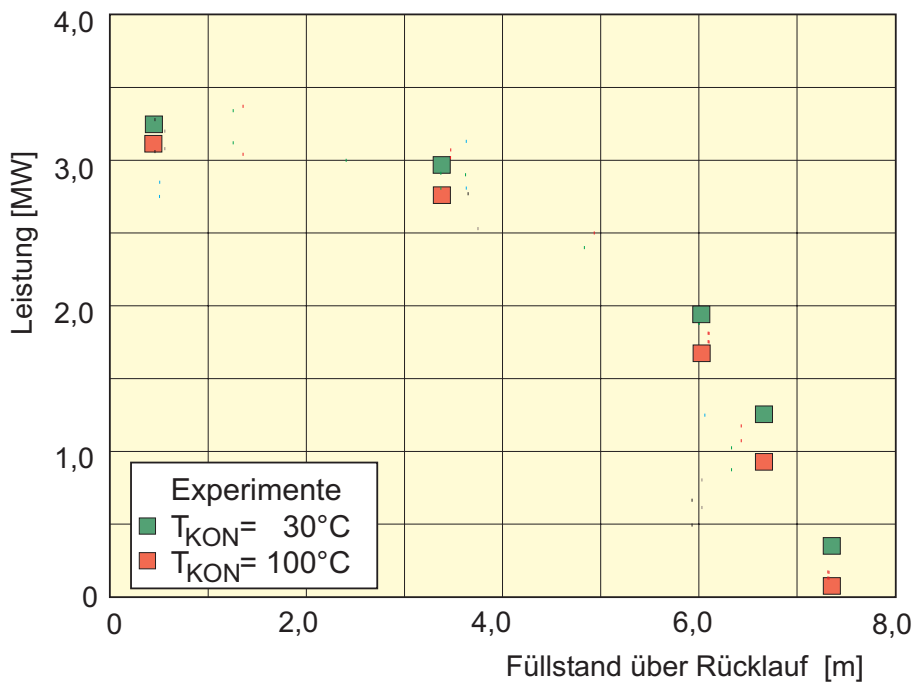
Einfluß des primärseitigen Drucks (A8 - A16)



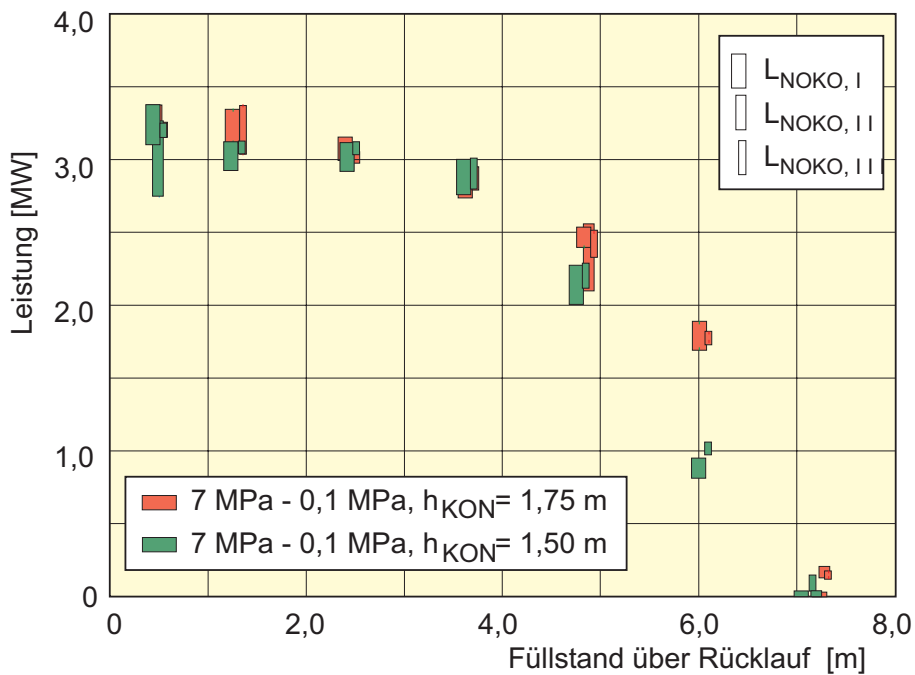
Einfluß des sekundärseitigen Drucks (B2 - B8)



Einfluß der Unterkühlung des Wassers im Kondensatorbehälter



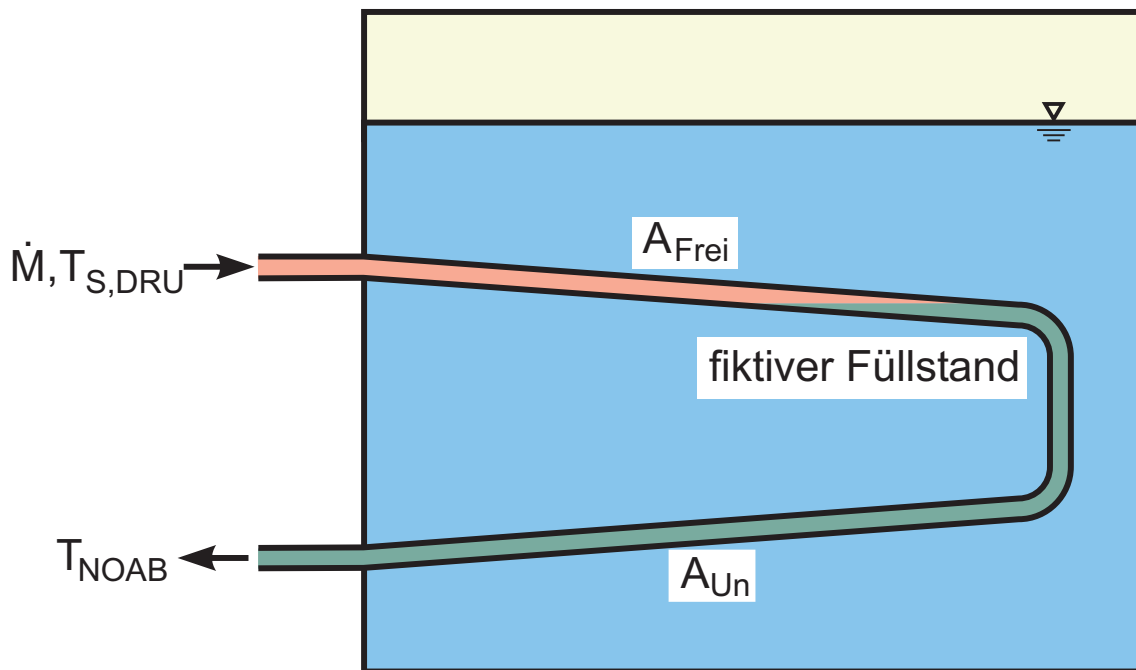
Variation des Füllstandes im Druckgefäß bei konstantem Druck und gesättigter Sekundärseite



Thermische Bedingung

$$L_{\text{NOKO}} = \dot{M} h_v + \dot{M} c_p (T_{\text{S,DRU}} - T_{\text{NOAB}})$$

Kondensa-
tion (Kon)
Unterkühlung (Un)



Kondensationsleistung

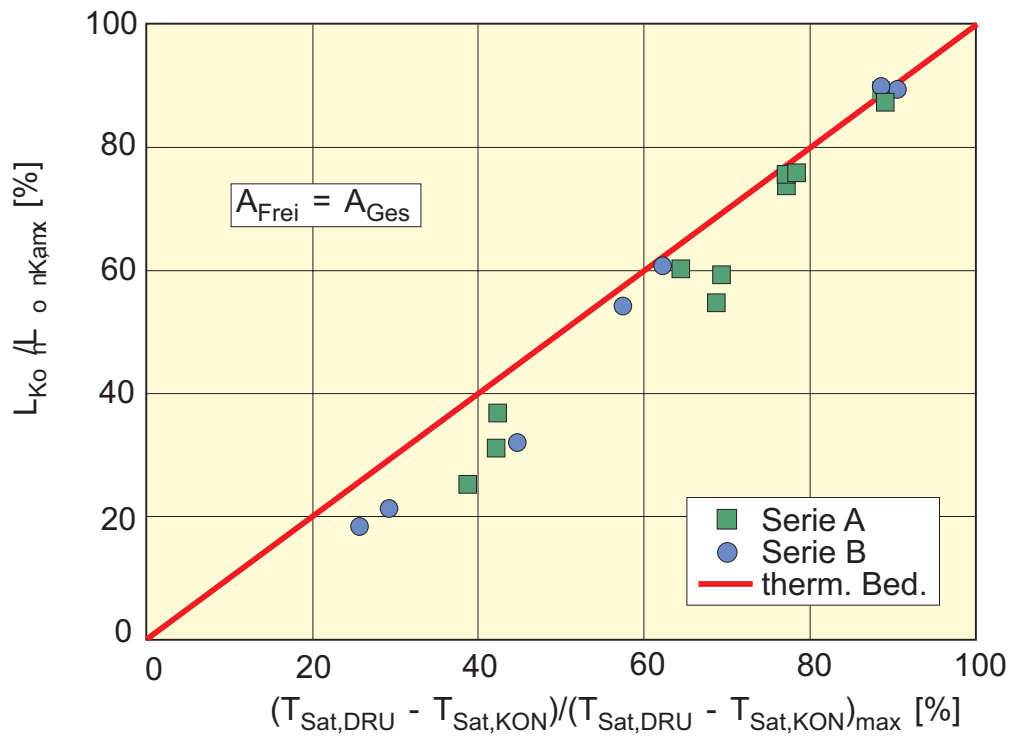
$$L_{\text{Kon}} = L_{\text{Kon,max}} \cdot F_T \cdot A_{\text{Frei}} / A_{\text{Ges}}$$

Maximum
bei $F_T = 1$,
 $A_{\text{Frei}} = A_{\text{Ges}}$

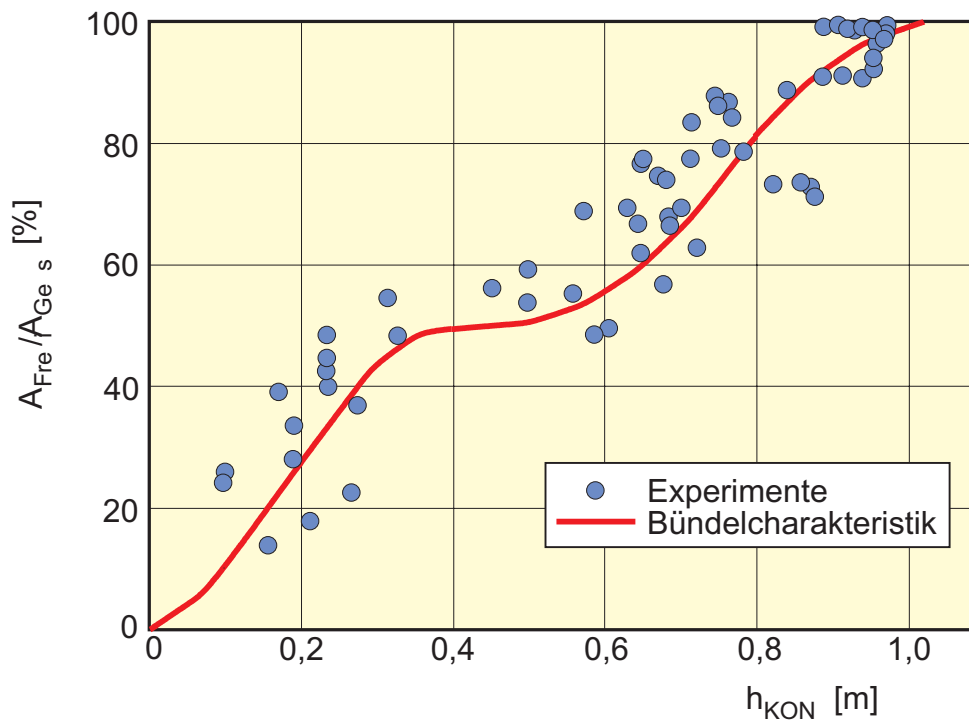
normierte
treibende
Tempera-
turdifferenz

Bündel-
freilegung

Normierte treibende Temperaturdifferenz



Bündelfreilegung



$$L_{\text{NOKO}} = \dot{M} h_V + \dot{M} c_p (T_{\text{S,DRU}} - T_{\text{NOAB}})$$

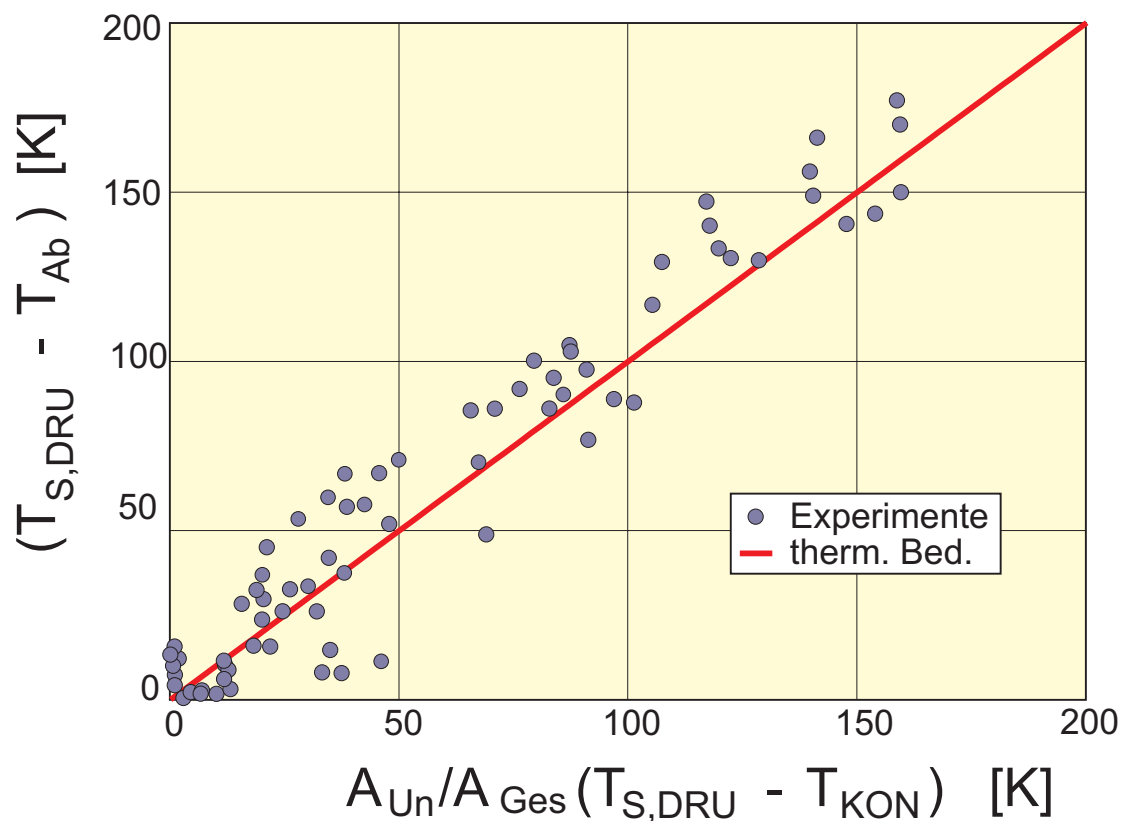
Kondensa-
tion (Kon)

Unterkühlung (Un)

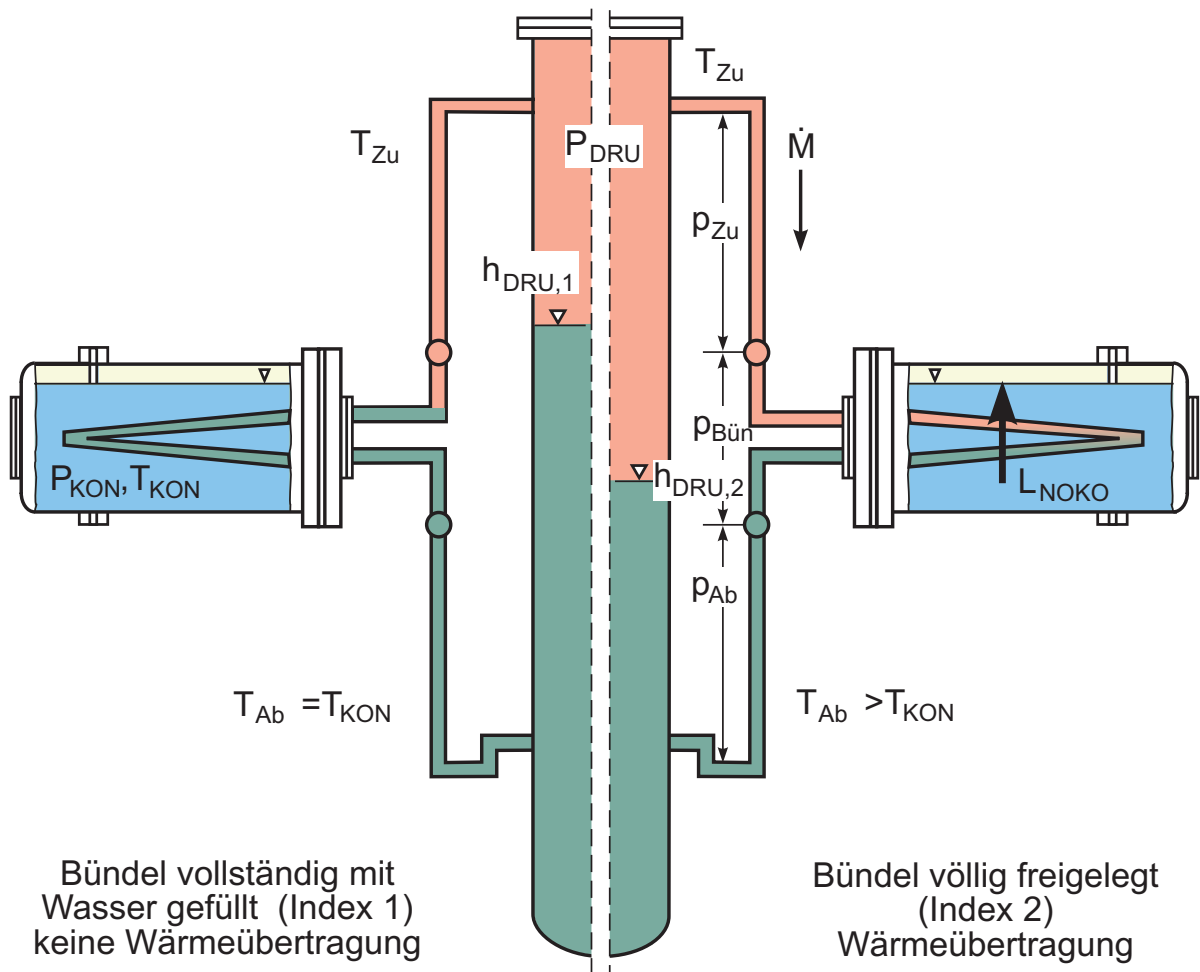
Unterkühlungsleistung

$$(T_{\text{S,DRU}} - T_{\text{Ab}}) = A_{\text{Un}}/A_{\text{Ges}} (T_{\text{S,DRU}} - T_{\text{KON}})$$

mit $A_{\text{Un}} = A_{\text{Ges}} - A_{\text{Frei}}$

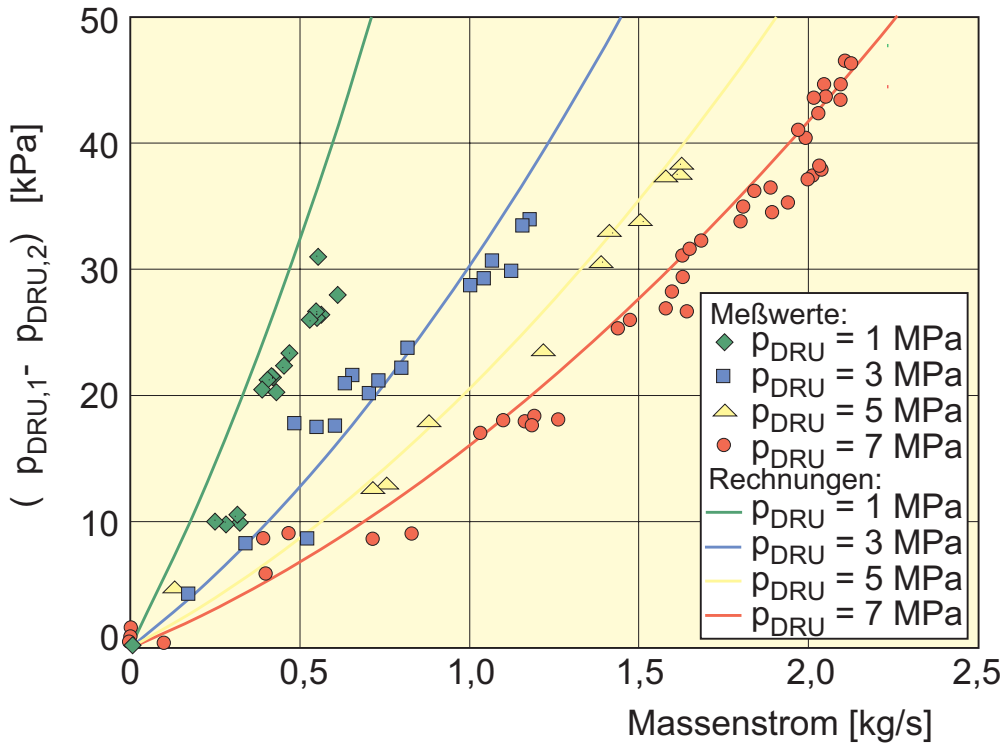


NOKO-Model

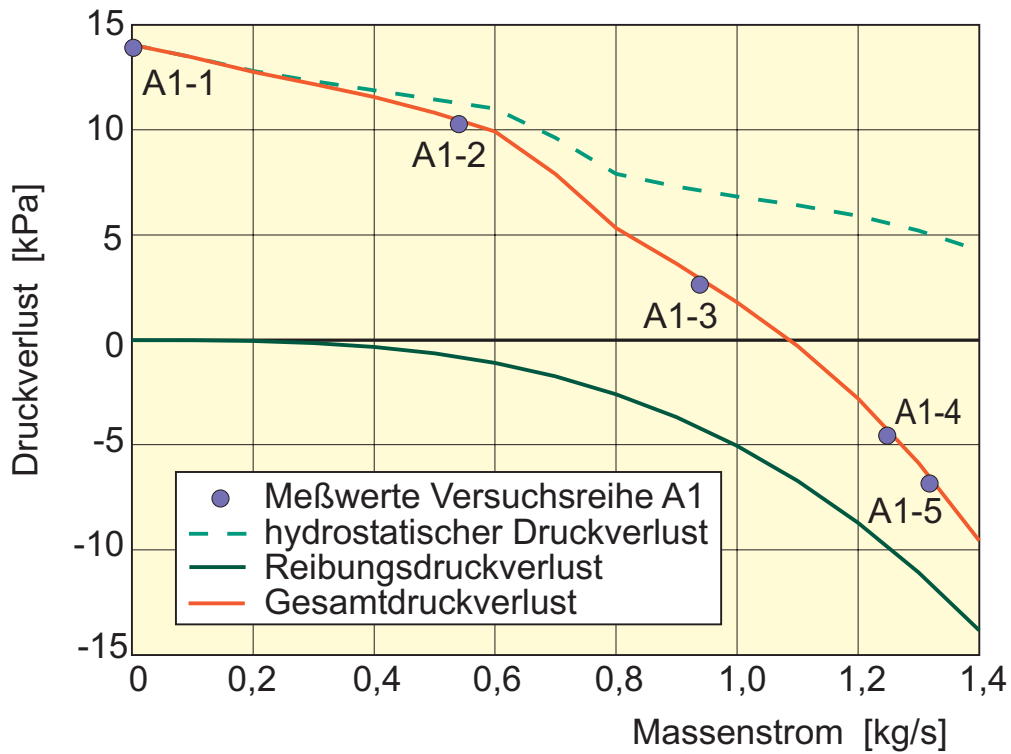


hydraulische Bedingung:
$$p_{Geo,DRU} = (p_{Geo} + p_{Reib} + p_{Form} + p_{Besch})_{NOKO}$$

Hydraulische Bedingung

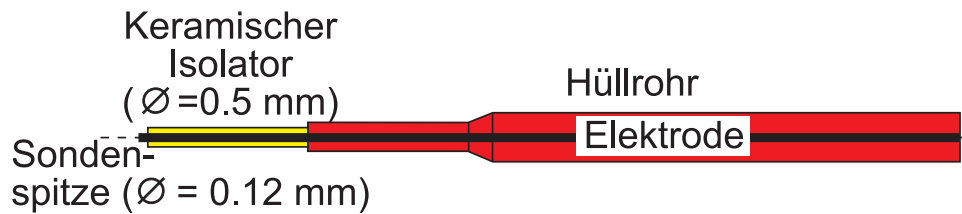


Druckverluste über dem Bündel

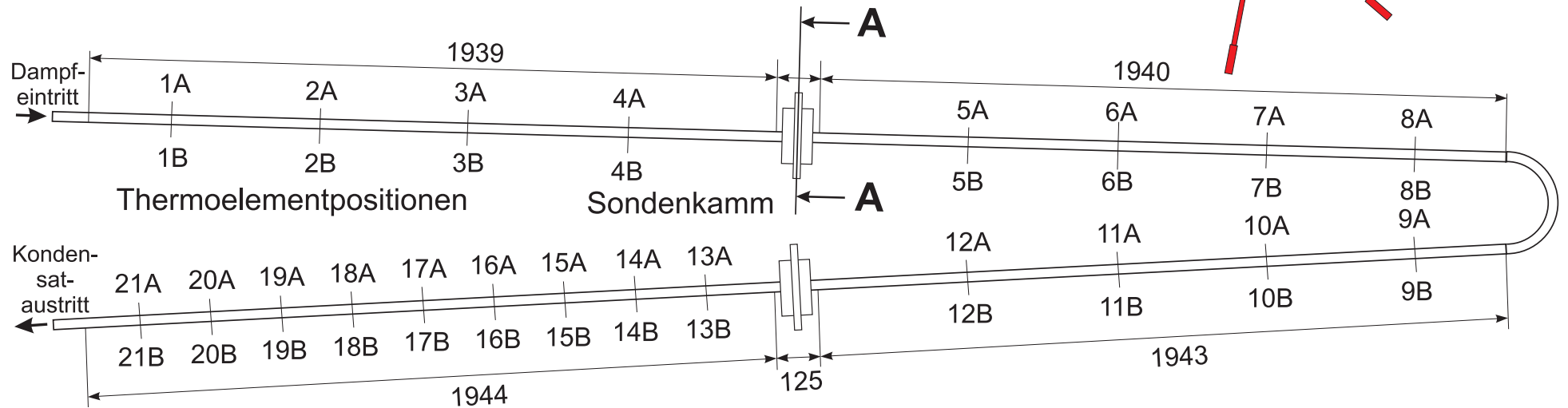
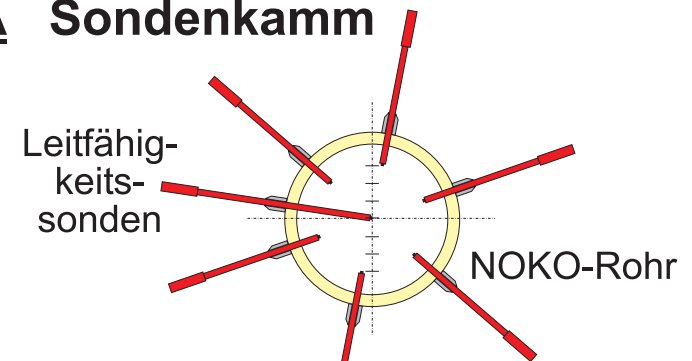


Instrumentierung des NOKO Einzelrohres

Leitfähigkeitssonde



A-A Sondenkamm

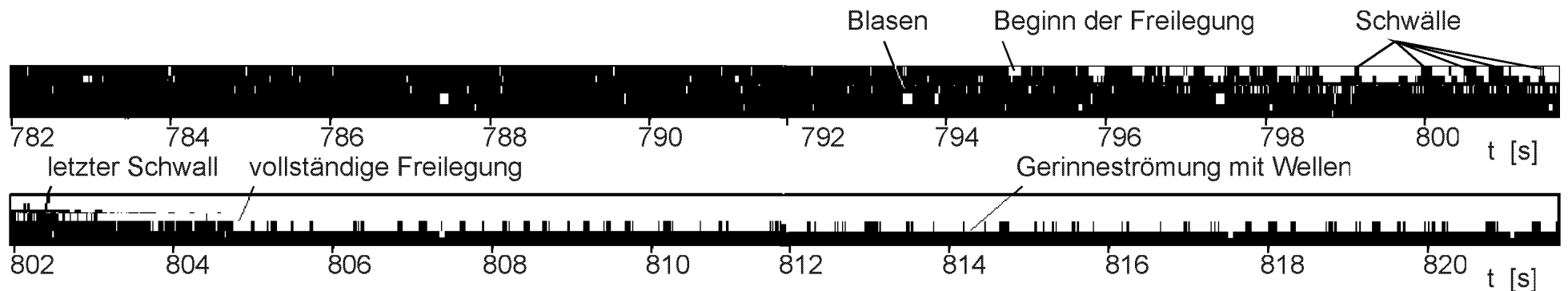


Visualisierung der Sondensignale - oberes Sondenfeld



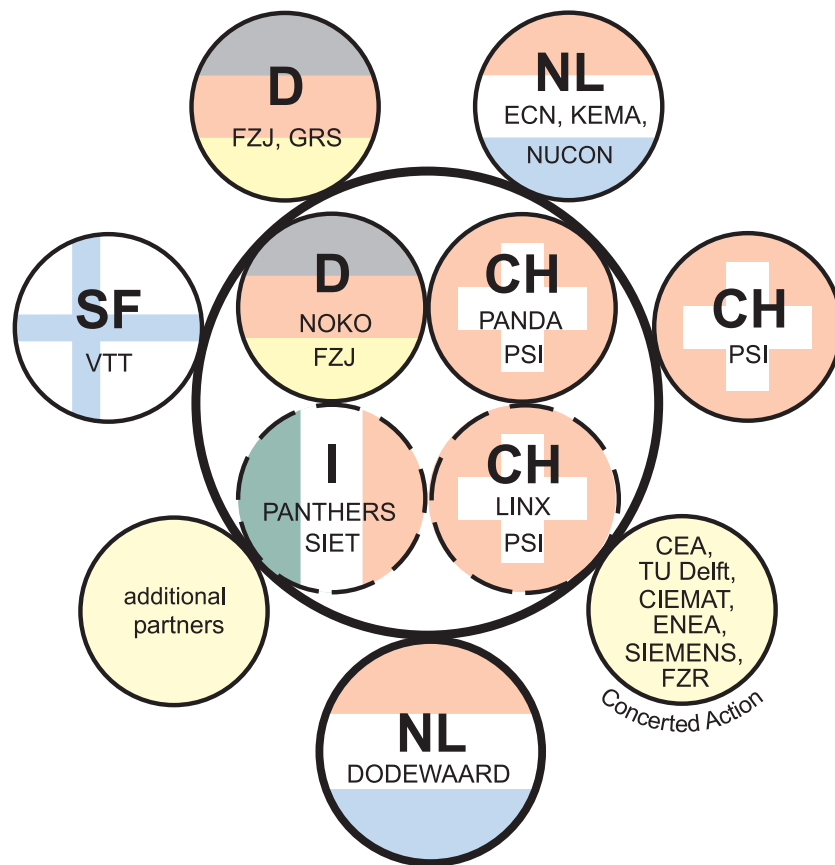
Sonden werden der Reihe nach freigelegt, ausgeprägte Schichtenströmung mit glatter Phasenoberfläche, untere Nadelsonde verbleibt im Kondensat (d.h. Gerinnehöhe ca. 7 mm)

Visualisierung der Sondensignale - unteres Sondenfeld



unruhiger Durchgang des Flüssigkeitsspiegels, wellige Phasengrenzfläche, Detektion von Blasen und Schwällen (allerdings nicht in der vorausgesagten Zeitdauer), Beobachtung einer welligen Schichtenströmung (Gerinnehöhe größer 8 mm)

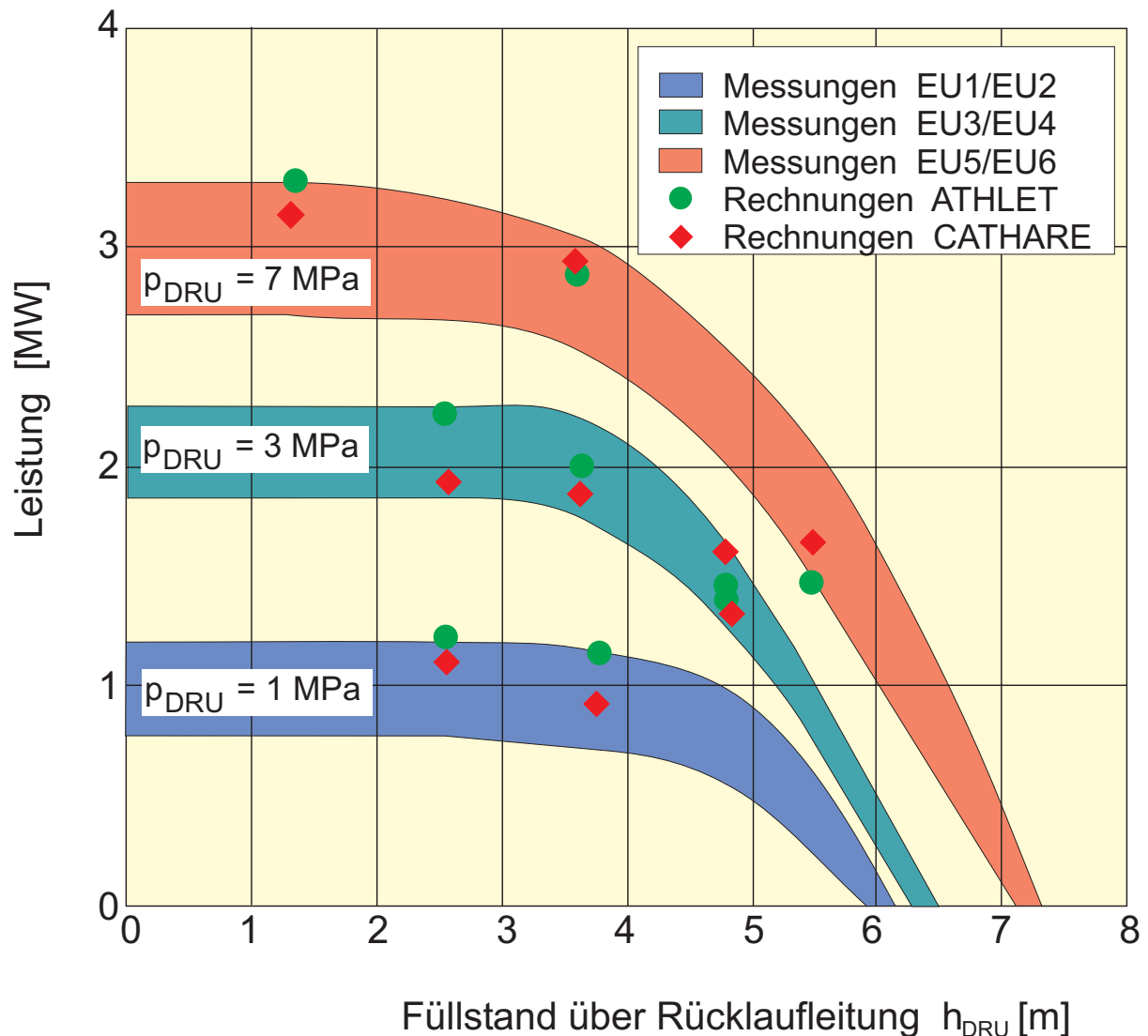
European BWR R&D Cluster for Innovative Passive Safety Systems (1996-98)



BWR Physics and Thermohydraulic Complementary Action (1997)

- WP 1: "Thermal Valve" Modellierung und Bewertung
- WP2: Theoretische Begleitung und Unterstützung der NOKO-Experimente
- WP3: Plattenkondensator und Gebäudekondensator
- WP4: SWR Coredynamik und Thermohydraulik

Vergleich von Experimenten und Rechnungen



- Erweiterung/Modifizierung der Kondensationsmodelle
- gute Übereinstimmung ATHLET - CATHARE
Abweichungen der globalen Parameter (L , \dot{M} , T_{Ab} , dp) liegen in der Schwankungsbereite der Meßwerte
- Unterschiede bei lokalen Parametern (WÜK, Void, Geschwindigkeiten, etc), Experimente mit speziell instrumentiertem Einzelrohr wünschenswert

Zusammenfassung

- **Passive Sicherheitssysteme**

Vergleich aktiver und passiver Systeme, Änderung der Sicherheitsphilosophie, Klassifizierung, Bewertung und offene Fragen

- **SWR1000 und Notkondensator**

- **Testen Notkondensator**

NOKO Versuchsstand (FZ Jülich), Testmatrix, Auswertung, Ergebnisse

der Notkondensators ist sehr effektiv (max. Leistung pro Rohr ≈ 800 kW, Wärmestromdichte ≈ 1 MW/m²)

Phänomene (Betriebsbedingungen und Strömungsformen), Rechnungen

Ausblick

- Optimierung - weitere Tests mit einem neuen Bündel (Remanit, Verringerung der Wandstärke und des Widerstandes) im 5. EU Rahmenprogramm
- weitere Codevalidierung anhand Einzelrohrexperimente mit ausgefeilter Instrumentierung
- Rechnungen Sekundärseite mit CFX (FZR)

Temperaturverteilung im geodätischen Flutbecken

