



KfK 2684  
Januar 1979

# **Fluiddynamische Untersuchungen an SNR-300 Absorbern der ersten und zweiten Abschalteneinheit**

K. Marten, H. Hoffmann  
Institut für Reaktorbauelemente  
Projekt Schneller Brüter

**Kernforschungszentrum Karlsruhe**

Als Manuskript vervielfältigt  
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE GMBH  
ISSN 0303-4003

K E R N F O R S C H U N G S Z E N T R U M   K A R L S R U H E

Institut für Reaktorbauelemente

Projekt Schneller Brüter

KfK 2684

Fluiddynamische Untersuchungen an SNR-300 Absorbern  
der ersten und zweiten Abschaltseinheit

K. Marten , H. Hoffmann

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe



## Fluiddynamische Untersuchungen an SNR-300 Absorbern der ersten und zweiten Abschaltseinheit

---

### Zusammenfassung:

Für den SNR-300 sind zwei voneinander unabhängig arbeitende und konstruktiv verschieden ausgeführte Abschaltseinheiten vorhanden. Die 1. Abschaltseinheit dient zur Reaktorregelung und Abschaltung. Sie besteht aus einem starren Absorber, der von oben, - in einem Führungsrohr gleitend -, in den Reaktorkern eingefahren wird. Die 2. Abschaltseinheit dient allein zur Reaktorabschaltung bei Ausfall der 1. Abschaltseinheit. Sie ist aus drei flexibel hintereinander gekuppelten Absorbergliedern (Gliederabsorber) aufgebaut und wird von unten in den Reaktorkern hineingezogen.

Für die Absorber beider Abschaltseinheiten wurden die Druckverluste, die Durchsatzverteilungen zwischen den jeweiligen Absorberbündeln und dem vom Absorber und Führungsrohr gebildeten Ringraum sowie die Aufschwimmcharakteristiken in  $H_2O$ -Strömung untersucht. Wesentliche Parameter waren die Massenströme sowie die axialen und radialen Absorberpositionen im Führungsrohr. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Natriumströmung wurde sichergestellt.

Die 1. Abschaltseinheit erfüllt nach mehrmaligen konstruktiven Veränderungen nunmehr die Forderung hinsichtlich Durchsatzaufteilung im Verhältnis 1:1 zwischen Absorber und Ringraum bei allen untersuchten axialen und radialen Absorberlagen im Führungsrohr und bei tolerierbarem Druckabfall. Der Aufschwimmpunkt liegt um einen Faktor 2 über dem Nenndurchsatz und besitzt damit große Sicherheitsreserven.

Die 2. Abschaltseinheit weist in Bereitschaftsposition fast die gleichen Charakteristiken wie die 1. Abschaltseinheit auf. In Abschaltposition nimmt der Absorberdurchsatz bis zu einem Faktor 4 ab. Da der Reaktor dann aber abgeschaltet ist, ist dies zur Kühlung des Absorbers ausreichend. Die Ergebnisse aus zusätzlichen Untersuchungen des Aufschwimmpunktes bei 100 % blockierten Absorberbündeln zeigen, daß in diesem Falle Aufschwimmen bereits im Bereich des Nenndurchsatzes möglich ist.

## Fluiddynamic Investigations with the Absorbers of the First and Second Shut Down Unit of the SNR-300

---

### Abstract:

Two independent shut down systems with different design characteristics will be installed in the SNR-300. The first shut down unit also controls the reactor. It consists of a rigid absorber and operates due to gravity from top downward into the core. The second shut down unit each is composed of three articulated absorbers installed beneath the core and pulled up into the core by acceleration springs.

To support the design of the absorbers of the two shut down units the pressure losses, the mass flow distributions and the floating characteristics have been investigated experimentally in water flow. Beside the mass flow rates the main parameters represent the axial and radial positions of the absorber bundles within the guide tube. The transferability of the results to sodium flow is guaranteed.

The first shut down unit fulfills now the design requirements after various design modifications due to the experimental results. The mass flow split between bundle and guide tube annulus is 1:1 at tolerable pressure losses. The floating of the decoupled absorber needs two times the design flow rate and provides a large safety reserve.

The second shut down unit in its reserve position beneath the core shows characteristics comparable with the first shut down unit. However in its shut down position the mass flow distribution between absorber bundle and guide tube annulus falls down to a value of 1:4. Additional experiments with a fully blocked bundle flow geometry led to floating mass flow rates in the region of the normal operation conditions.

## Inhalt:

1. Einleitung
2. Aufbau und Funktion der Abschaltsysteme
3. Fluidodynamik des Absorbers und Anforderungen
4. Experimentelle Untersuchungen
  - 4.1 Versuchsprogramm
  - 4.2 Versuchsdurchführung
5. Versuchsergebnisse
  - 5.1 Abschalteinheit 1 - Gesamtdruckverlust
    - Durchsatzverteilung
    - Aufschwimmverhalten
  - 5.2 Abschalteinheit 2 - Gesamtdruckverlust
    - Durchsatzverteilung
    - Aufschwimmverhalten
6. Schlußfolgerung
  - Nomenklatur
  - Literatur
  - Abbildungen

# Fluiddynamische Untersuchungen an SNR-300 Absorbern der ersten und zweiten Abschalteinheit

---

## 1. Einleitung

Zur Erhöhung der Sicherheit der Reaktoranlage werden zwei unabhängig voneinander arbeitende Abschaltssysteme gefordert. Jedes von diesen Systemen ist in der Lage, den Reaktor abzuschalten.

Die Abschaltssysteme bestehen aus mehreren Abschalteinheiten (AE), jede Abschalteinheit aus Absorber, Gestänge und Antriebsmechanismen. Um die Zahl ihrer Bauelemente in Grenzen zu halten, wird eines der beiden Abschaltssysteme gleichzeitig zur Reaktorregelung benutzt. Die Abschalteinheiten haben daher folgende Funktion:

1. Abschalteinheit: Abschaltung und Regelung des Reaktors.
2. Abschalteinheit: Abschaltung des Reaktors.

Die einwandfreie Arbeitsweise der Abschalteinheiten ist für die Sicherheit eines Reaktors von entscheidender Bedeutung. Die sichere Arbeitsweise wird gewährleistet durch ausreichende Beweglichkeit der Abschalteinheiten und einwandfreie Kühlbarkeit der Absorber in allen durch die Beweglichkeit gegebenen axialen und radialen Positionen.

Die Ziele dieser Arbeit sind die Kühlbarkeit der Absorber der 1. und 2. Abschalteinheit zu untersuchen, um die Unsicherheiten der thermohydraulischen Auslegungsrechnungen zu reduzieren und die strömungstechnisch günstigste Gestaltung der Absorber zu erreichen.

## 2. Aufbau und Funktion der Abschaltssysteme

Die prinzipielle Anordnung der Abschaltssysteme im SNR-300 ist in Abb. 1 wiedergegeben. Die Absorber der 1. Abschalteinheit bestehen aus je einem starren Bündel, das sich in einem Hüllrohr befindet und an einem beweglichen Gestänge aufgehängt ist. Es wird bei Regelvorgängen über einen Spindel-Antrieb in einem



Führungsrohr von oben in den Kern hinein bzw. aus dem Kern heraus bewegt. Bei Schnellabschaltung wird über einen Scram-Magneten die Bewegung des Absorbers ausgelöst. Er fällt mit dem Gestänge durch die Schwerkraft frei von oben in den Kern und befindet sich dann in Abschaltposition. Die Fallbewegung wird durch Dämpfungskolben im letzten Teil des Fallweges abgebremst.

Die Absorber der 2. Abschalteinheit bestehen aus drei gelenkig miteinander verbundenen Absorbergliedern, die ebenfalls an einem beweglichen Gestänge hängen aber unter dem Kern angeordnet sind (Bereitschaftsposition). Sie werden im Bedarfsfalle über durch Scram-Magnete ausgelöste, vorgespannte Federn gegen die Schwerkraft in den Kern gezogen (Abschaltposition). Auch hier wird die Abschaltbewegung durch Dämpfungskolben abgebremst.

Zum Umladen der Kernelemente müssen die Antriebe, einschließlich Gestänge, von den Absorbern abgekuppelt werden, um die Drehdeckel des Reaktors betätigen zu können. Vor dieser Entkuppelung werden die Absorber der 1. AE in die Führungsrohre voll eingefahren und auf dem Führungsrohrfuß abgesetzt und jene der 2. AE an vorhandene Halterungen im Kopf des Führungsrohres aufgehängt. Nach dem Umladen werden die Absorber über die Spindeltriebe wieder ans Gestänge gekuppelt.

Die Absorber beider Abschaltssysteme bestehen aus 19-Stabbündeln mit hexagonaler Stabanordnung (Abb. 2), welche in einem runden Hüllrohr installiert sind und zur gleichmäßigen Kühlmittelaufteilung im Bündel 12 Füllstäbe in der peripheren Bündelzone enthalten. Die Absorber gleiten in einem runden Führungsrohr, das in einem hexagonalen Mantelrohr montiert ist, welches eine Kernelementposition einnimmt.

Zur gegenseitigen Abstützung der Stäbe im Bündel werden für die Absorber der 1. und 2. AE Stabhüllen mit jeweils 6 integralen Wendelrippen verwendet. Für die Untersuchungen wurde dies nur bei den Absorbern der 1. AE realisiert, während für die Absorber der 2. AE glatte Hüllen mit Stift-Abstandshaltern eingesetzt wurden.

Die wichtigsten Bündel- und Stababmessungen der Experimente sind in Tabelle 1 zusammengefaßt, weitere, die Funktion beschreibende Daten sind aus /1/,/2/ zu entnehmen.

		1.Abschalteinheit	2.Abschalteinheit
Stabzahl		19	19
Stabdurchmesser D	mm	16,1/15,5 <sup>+</sup> )	16,1
Stabteilung P	mm	16,7	16,7
P/D-Verhältnis	-	1,04/1,08 <sup>+</sup> )	1,04
Äußerer Durchmesser des Bündel-Hüllrohres	mm	86	86
Innerer Durchmesser des Führungsrohres	mm	100	100
Stablänge	mm	1535	3x330
Abstandshalter	-	6 Wendelrippen	Stifte

Tab. 1 Wichtige Absorber-Abmessungen (<sup>+</sup>) Variante V-Seite 7)

### 3. Fluiddynamik des Absorbers und Anforderungen

Zur Abfuhr der in den Absorbern der 1. und 2. AE erzeugten Wärme, tritt Natrium durch den unteren Teil der Abschalteinheit ein und durchströmt die Absorberbündel. Ein Teil des Kühlmittels durchströmt parallel den von Absorber und Führungsrohr gebildeten Ringraum und tritt oberhalb des Führungsrohres in das obere Reaktorplenum aus (Abb. 1,2). Die Kühlmittelmenge wird dabei so gewählt, daß die axiale Aufheizung im Absorber in etwa der mittleren Reaktoraufheizspanne entspricht. Darüberhinaus sind folgende Anforderungen zu realisieren:

- . Die Kühlung der Absorber muß ausreichend sein. Sie darf weder durch die axialen Absorberpositionen (1. AE) noch durch extreme asymmetrische Absorberlagen im Führungsrohr (1. AE und 2. AE) wesentlich beeinflußt werden. Mögliche Absorberlagen der 1. AE und 2. AE im Führungsrohr sind in Abb. 3 und 4 dargestellt. Für die Absorber der 1. AE, deren Funktion ja auch die Reaktorregelung ist, folgt daraus, daß der Gesamtdruckabfall des Absorbers (incl. Kupplung) und die Durchsatzverteilung zwischen Absorberbündel und Ringraum unabhängig von der Einfahrtiefe und der Lage der Absorber sein sollte. Extreme asymmetrische Absorberlagen sind hierbei exzentrische oder schiefe Lagen (Abb. 3).

Für die Absorber der 2. AE ist die extremste Lage die Zick-Zack-Lage der Absorberglieder im Führungsrohr. Dabei ist zu fordern, daß an den Kuppelstellen zwischen den Gliedern die Kühlmittel-Leckagen zum Ringraum die Kühlbarkeit der Bündel der nachgeschalteten Glieder nicht wesentlich beeinträchtigen darf (Abb. 4).

- . Die Absorber müssen so gekühlt werden, daß große radiale Temperaturdifferenzen zwischen Bündel und Ringraum vermieden werden und die Aufheizspanne des Kühlmittels im Absorber derjenigen der benachbarten Kernelemente angeglichen wird. Aus thermohydraulischer Rechnung ergab sich hierbei eine Durchsatzaufteilung zwischen Absorberbündel und Ringraum im Verhältnis 1:1 /3/.
- . Die Absorber der 1. und 2. AE dürfen im entkuppelten Zustand (Umladen der Kernelemente) bei max. möglichem Absorberdurchsatz nicht aufschwimmen. Als Aufschwimmpunkt ist jener Zustand definiert, bei dem ein Absorber aus seiner Absatzposition im Führungsrohr durch die Kühlmittelströmung aufwärts bewegt wird. Bei der 1. AE resultiert daraus eine starke Reaktivitätszunahme des Reaktors, bei der 2. AE eine Reaktivitätsabnahme gleichzeitig jedoch eine starke Erschwernis (u.U. Verhinderung) des Wiederankuppelvorganges dann, wenn Gliederabsorber und Gelenkgestänge soweit aufschwimmen, daß die Kupplungshälfte des Gelenkgestänges aus ihrer Halterung im Führungsrohrkopf gelangt.
- . Die ausreichende radiale Beweglichkeit der Absorber im Führungsrohr muß gewährleistet sein, damit auch bei begrenzt verbogenem Führungsrohr die Absorber nicht verklemmen können und damit axial nicht mehr zu bewegen sind. Diese Forderung wird bei der Konzeption der Absorber der 2. AE besonders beachtet. Diese Abschalteneinheiten müssen dann noch funktionieren, wenn die starren Bündel der 1. AE im Führungsrohr festsitzen sollten.
- . Die Absorber der 1. und 2. AE müssen im Führungsrohr eine stabile radiale Lage einnehmen, d. h. es darf nicht zu strömungsinduzierten Schwingungen mit Wandberührungen kommen. Dies gilt für den Absorber der 1. AE auch für alle seine axialen Positionen.

## 4. Experimentelle Untersuchungen

### 4.1 Versuchsprogramm

Um festzustellen, inwieweit die vorgelegten Absorberausführungen den an sie gestellten Anforderungen entsprechen, wurden an Modellen der 1. und 2. Abschalteinheit ein umfangreiches Versuchsprogramm durchgeführt und folgende zur Auslegung der Absorber notwendige Kenngrößen im Bereich der zu erwartenden Betriebsbedingungen experimentell untersucht:

#### 1. Abschalteinheit:

Der Gesamtdruckverlust des Absorbers (incl. Kupplung) und die Durchsatzverteilung zwischen Absorber und Ringraum in Abhängigkeit vom Gesamtmassendurchsatz der AE. Als Parameter wurden variiert:

- die axialen Einfahrtiefen des Absorbers im Führungsrohr (Hubhöhe)
- die radialen Lagen des Absorbers im Führungsrohr (konzentrisch, schief, exzentrisch)

Der Druckverlust des Absorberbündels in Abhängigkeit vom Bündeldurchsatz:

Der maximal zum Aufschwimmen des entkuppelten Absorbers notwendige Durchsatz als Funktion von

- der Zähigkeit des Fluids und
- der Absorberhubhöhe

#### 2. Abschalteinheit:

Der Gesamtdruckverlust des Gliederabsorbers und die Durchsatzverteilung zwischen den Absorbergliedern und dem Ringraum in Abhängigkeit vom Gesamt-massendurchsatz der AE. Als Parameter wurden variiert:

- die axialen Einfahrtiefen des Gliederabsorbers im Führungsrohr (Bereitschafts- und Abschaltposition)
- die radialen Lagen der Absorberglieder im Führungsrohr (konzentrisch, zick-zack)

Die Leckagen an den Kuppelstellen bei extremer Zick-Zack-Lage der Absorberglieder im Führungsrohr

Der maximal zum Aufschwimmen des Gliederabsorbers mit Gelenkgestänge notwendige Durchsatz als Funktion von

- der Zähigkeit des Fluids
- der Hubhöhe des untersten Absorbergliedes.

Die Versuche wurden im IRB-Wasserkreislauf I durchgeführt (Abb. 5). Die Daten dieses Kreislaufes sind:

Förderleistungen, max. 28 kg/s  
Differenzdruck, max. 14 bar  
Fluidtemperatur, max. 80 °C

Eine drehzahlgeregelte Pumpe förderte das Wasser über einen Kühler in die senkrecht angeordnete Teststrecke. Die Teststrecke wurde von unten nach oben durchströmt. Danach floß das Wasser in einen Behälter zurück, der mit einer elektrischen Heizung versehen war. Durch Veränderungen der Temperatur und damit der Zähigkeit des Fluids konnten die Versuche über einen größeren Reynolds-Zahlenbereich durchgeführt werden, um die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Na-Bedingungen sicherzustellen.

Die durchströmten Räume der verwendeten Absorber-Modelle wurden maßstäblich nachgebildet, ihre Massen und deren Verteilung entsprachen dem Original. Die axialen Absorberpositionen wurden mit einem Elektroaufzug über die Teilgestänge eingestellt. Mit jeweils 3 Zentrierschrauben in verschiedenen Ebenen des Führungsrohres wurden die zu untersuchenden radialen Absorberlagen fixiert.

## 4.2 Versuchsdurchführung

### Allgemeine Bemerkungen

Für die 1. AE wurden verschiedene Ausführungsformen untersucht. Diese insgesamt 5 Varianten lassen die aufgrund der jeweiligen Versuchsergebnisse notwendig gewordenen Modifikationen und damit den Fortschritt der Absorberentwicklung erkennen. Diese Varianten der 1. AE sind in Abb. 6 dargestellt und unterscheiden sich voneinander wie folgt:

Variante I: ohne Ringraumdrosselung  
(P/D = 1,04)

Variante II: mit Ringraumdrosselung durch Kolbenring am Absorberfuß  
(P/D = 1,04)

Variante III: mit federnd befestigter Ringraumdrosselung  
(P/D = 1,04)

Variante IV: mit selbstzentrierender Ringraumdrosselung  
(P/D = 1,04)

Variante V: mit selbstzentrierender Ringraumdrosselung  
(P/D = 1,08) - Bauserienvorläufer -

Zunächst wurden die Varianten I bis IV untersucht. Das Vorgehen war wie folgt: Prüfung der mechanischen Funktionstüchtigkeit (Schwingen, Klappern, Beweglichkeit) bei Auslegungs-Reynoldszahlen. Im Falle festgestellter Unzulänglichkeiten erfolgten Verbesserungen. Danach wurden die fluiddynamischen Untersuchungen durchgeführt und die Ergebnisse mit den Forderungen verglichen. Je nach Soll/Ist-Vergleich wurden weitere konstruktive Verbesserungen der Abschalteinheiten vorgenommen.

Nach diesem Versuchsablauf wurde Variante IV als jene ermittelt, welche die Forderungen nach mechanischer Funktionstüchtigkeit und geforderter Durchsatzverteilung erfüllte. Mit ihr wurden sodann die Parameteruntersuchungen durchgeführt, schiefe und exzentrische Absorberlagen getestet und das Aufschwimmverhalten ermittelt.

Nachdem alle Versuchsdaten ausgewertet und gewichtet waren, wurde das P/D-Verhältnis der Stabbündel von P/D = 1,04 auf P/D = 1,08 erhöht, um die Bündelkühlung zu verbessern und größere Sicherheiten im Hinblick auf das Aufschwimmverhalten zu gewährleisten. Dies führte zu weiteren Untersuchungen der wichtigsten Parameter am sogenannten Bauserienvorläufer, der hier als Variante V bezeichnet wird.

Die Versuchsserien lassen sich im Hinblick auf die Zielgrößen und Parametervariationen wie folgt angeben (durchgeführte Versuche: +):

Variante	Zielgröße			wesentliche Parameter		
	$\Delta p_B$	$\Delta p_{ges}$	$\frac{\dot{m}_B}{\dot{m}_{ges}}$	Aufschwimm- punkt	Exzentrische Bündellagen	Hubhöhe
I	+	+	+	-	-	+
II	-	+	+	-	-	-
III	-	+	+	-	-	+
IV	-	+	+	+	+	+
V	+	+	+	+	-	+

Für die 2. AE wurden 2 Ausführungsformen untersucht. Als Ergebnis von Extremtests bei Interatom mußte der Fuß des Gliederabsorbers so modifiziert werden, daß die Funktionstüchtigkeit dieses Absorbers auch bei stark verbogenem Führungsrohr noch gewährleistet bleibt.

Sämtliche Druckverluste wurden aus Differenzdruckmessungen ermittelt. Die Differenzdrücke wurden mittels U-Rohrmanometern (Sperrflüssigkeit Hg) bestimmt. Es gilt die allgemeine Beziehung:

$$p = \zeta \cdot \frac{1}{2\rho} \left(\frac{\dot{m}}{A}\right)^2 = \Delta H \cdot g (\rho_{Hg} - \rho_{H_2O}) + \frac{\dot{m}^2}{2\rho} \left(\frac{1}{A_1^2} - \frac{1}{A_2^2}\right)$$

Für den Absorber der 1. AE wurden gemessen (Abb. 5):

- Differenzdruck des Absorbers:  $\Delta H_{ges}$  ( $\Delta p_{ges}$ )
- Differenzdruck des Bündels:  $\Delta H_B$  ( $\Delta p_B$ )
- Volumenstrom:  $\dot{v} = \dot{m}/\rho$
- Fluidtemperatur T zur Bestimmung der Stoffgrößen  $\rho$  und  $\nu$  nach /4/.

Für den Absorber der 2. AE wurden gemessen (Abb. 5):

- Differenzdruck des Absorbers:  $\Delta H_{ges}$  ( $\Delta p_{ges}$ )
- Differenzdrücke der Bündel  
der Absorberglieder:  $\Delta H_B$  I-III ( $\Delta p_B$  I-III)
- Volumenstrom:  $\dot{v} = \dot{m}/\rho$
- Fluidtemperatur: T.

Die Versuche wurden für folgende durchströmten Geometrien durchgeführt:

1. AE: Absorberbündel allein durchströmt, Ringraum blockiert  $\rightarrow \dot{m}_B$   
Absorberbündel und Ringraum parallel durchströmt  $\rightarrow \dot{m}_{B+R} = \dot{m}_{ges}$
2. AE: Absorberbündel allein durchströmt, Ringraum und Kuppelstellen blockiert  $\rightarrow \dot{m}_B$   
Absorberbündel und Ringraum parallel durchströmt, Kuppelstellen offen  $\rightarrow \dot{m}_{ges}$

Die Durchsatzanteile des Absorberbündels der 1. AE bzw. der Bündel der Absorberglieder der 2. AE am Gesamtdurchsatz der AE ( $\dot{m}_B/\dot{m}_{ges}$  bzw.  $\dot{m}_{B\ I-III}/\dot{m}_{ges}$ ) ergeben sich aus dem Verhältnis der gemessenen Massenströme bei blockiertem Ringraum und frei durchströmten Absorberbündeln bei jeweils gleichen Druckabfällen der Bündel und konstanter Fluidtemperatur. Die Differenzen der Durchsatzanteile der Bündel der Absorberglieder der 2. AE ergeben die jeweiligen Leckagemengen an den Kuppelstellen.

Zur Ermittlung des Aufschwimmverhaltens wurde die Kupplung mit dem Teilgestänge aus der Teststrecke entfernt. Der Aufschwimmpunkt wurde aus der direkten Beobachtung der Bündelbewegungen ermittelt. Um die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Na-Strömung sicherzustellen, wurde die Zähigkeit des Fluids durch Veränderung seiner Temperatur variiert.

Die stabile Lage der Absorberbündel im Führungsrohr wurde durch Geräuschuntersuchungen ermittelt.

## 5. Versuchsergebnisse

Die Versuchsergebnisse werden im folgenden für die 1. und 2. Abschalteneinheiten getrennt wiedergegeben.

### 5.1 1. Abschalteneinheit: Gesamtdruckverlust, Durchsatzverteilung, Aufschwimmverhalten

Gesamtdruckverlust der Absorber (incl. Kupplung) als Funktion des Gesamtdurchsatzes der Abschalteneinheit:



Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Abb. 7 aufgetragen für die wichtigsten Absorbervarianten und für die wesentlichsten, den Druckverlust beeinflussenden Parameter. Als wichtigste Absorbervarianten werden dabei bezeichnet:

Variante I: Ausgangsentwurf, ohne Ringraumabdrosselung

Variante IV: Fortgeschrittener Entwurf mit selbstzentrierender Ringraumabdrosselung

Variante V: Endgültiger Entwurf - Bauserienvorläufer

und als wesentlichste Parameter die

- axialen Absorberpositionen: eingefahren - ausgefahren
- radialen Absorberpositionen: zentrisch - schief - exzentrisch.

Man erkennt aus Abb. 7 zunächst, daß die Abhängigkeiten des Gesamtdruckabfalles vom Gesamtmassendurchsatz für alle untersuchten Absorbervarianten und Parameter ähnlich sind, d.h. es liegt die zu erwartende Abhängigkeit  $\Delta p \sim m^2$  vor. Im Detail läßt sich folgendes erkennen:

- Bei konstantem Massendurchsatz weist Variante I gegenüber Variante IV und V den geringsten Gesamtdruckabfall auf, was auf der fehlenden Ringraumabdrosselung beruht. Variante IV besitzt einen höheren Druckverlust als Variante V wegen der dichteren Stabpackung (P/D-Verhältnis).
- Die axialen Absorberpositionen aller Varianten beeinflussen den Gesamtdruckabfall. Dieser ist für eine Variante in eingefahrenem Zustand stets höher als im ausgefahrenen, weil dann die Fluid-Austrittsbohrungen sich unterhalb der Engstellen des Führungsrohrkopfes befinden (Abb. 2). Oberhalb des Führungsrohrkopfes ist der Ringraum zwischen Absorber und Zentrierrohr (Abb. 1) wesentlich größer als unterhalb des Kopfes.
- Die radialen Absorberpositionen bestimmen den Gesamtdruckabfall mit. Dies ist aus den Ergebnissen für Variante IV zu entnehmen. Der Druckabfall nimmt bei konstantem Massenstrom ab mit folgender radialer Positionierungsfolge: zentrisch → exzentrisch → schief.
- Die schiefe Absorberlage im eingefahrenen Zustand weist den gleichen Druckabfall auf wie die konzentrische Lage im ausgefahrenen Zustand.

Durchsatzanteil des Absorberbündels am Gesamtmassendurchsatz der 1. AE:

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Abb. 8 wiedergegeben, ebenfalls für die Varianten I, IV und V und deren axialen und radialen Positionen.

Dabei zeigt sich:

- Variante I weist im Vergleich zu Variante IV und V den geringsten Durchsatzanteil des Absorbers am Gesamtmassendurchsatz der AE auf. Dieser Anteil verändert sich sehr stark (Faktor 2) mit der axialen Absorberposition. Die Gründe hierfür liegen einerseits in der nicht vorhandenen Ringraum-drosselung, andererseits in dem mit zunehmender Hubhöhe abnehmendem Druckverlustanteil des Absorbers oberhalb des Führungsrohrkopfes (Abb. 7).
- Varianten IV und V ergeben einen im Vergleich zu Variante I wesentlich höheren Durchsatzanteil des Absorbers am Gesamtmassendurchsatz der AE, der darüberhinaus weder von der axialen noch von der radialen Absorberposition im Führungsrohr merklich beeinflusst wird. Dieser Einfluß liegt innerhalb der Meßunsicherheiten ( $\leq 5\%$ ) und ist durch Schraffur gekennzeichnet.
- Variante V weist einen höheren Durchsatzanteil des Absorbers am Gesamtmassendurchsatz der AE auf als Variante IV. Dies beruht auf dem größeren freien Strömungsquerschnitt im Bündel.

Aufgrund dieser Untersuchungen zum Gesamtdruckabfall und zur Durchsatzverteilung zwischen Absorber und Ringraum erfüllen die Varianten IV und V die Forderungen:

- Durchsatzaufteilung zwischen Absorber und Ringraum etwa im Verhältnis 1:1.
- Unabhängigkeit der Durchsatzverteilung von der axialen und radialen Absorberposition.

Aufschwimmverhalten des Absorbers der 1. AE im Führungsrohr:

Mit den Absorbern der Varianten IV und V wurde das Aufschwimmverhalten im Führungsrohr bestimmt. Dabei sind zwei Punkte von besonderem Interesse, nämlich

- die Versuchsergebnisse aus  $H_2O$ -Untersuchungen sollen auf Na übertragbar sein,
- das Aufschwimmverhalten sollte in Abhängigkeit von der axialen Absorberposition bekannt sein, um die stabile Aufhängung des Absorbers am Gestänge zu ge-

währleisten und um zu prüfen, ob beim Ausfahren des Absorbers bei konstantem Gesamtdruckabfall der AE durch den sich ändernden Gesamtdurchsatz (Abb. 7) eine in Strömungsrichtung wirksame Beschleunigung des Absorbers auftreten kann.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in den Abbn. 9 und 10 wiedergegeben.

- Abb. 9 zeigt den zum Aufschwimmen des Absorbers der Variante IV benötigten Massendurchsatz ( $\dot{m}_A$ ) in Abhängigkeit von der Wasserzähigkeit. Zwei im untersuchten Bereich liegende Na-Temperaturen sind dabei mit angegeben. Es zeigt sich, daß mit zunehmender Zähigkeit des Fluids der zum Aufschwimmen des Absorbers benötigte Massendurchsatz leicht abnimmt.

Der für den Bauserienvorläufer ermittelte Aufschwimmpunkt sowie die Tendenz der Aufschwimmcharakteristik sind mit angegeben. Die für diesen Absorber zum Aufschwimmen benötigte Fluidmenge liegt rund 30 % über jener der Variante IV, was sich leicht mit der lockereren Stabpackung des Bauserienvorläufers erklären läßt.

- Der zum Aufschwimmen des Absorbers benötigte Massendurchsatz in Abhängigkeit von der axialen Absorberposition ist für Variante IV und V in Abb. 10 wiedergegeben. Hier zeigt sich ein von der Hubhöhe H weitgehend unabhängiges Verhalten. Der leichte Anstieg des Aufschwimmpunktes bei  $H \approx 400$  mm ist darauf zurückzuführen, daß in dieser axialen Position die oberen Austrittsöffnungen des Absorberbündels über die Engstellen des Führungsrohrkopfes gelangen.

#### Stabile Lage des Absorbers im Führungsrohr:

Die Untersuchungen ergaben, daß im gesamten untersuchten Re-Zahlenbereich für die Varianten IV und V keine Geräusche, die auf metallische Berührungen zwischen Absorber und Führungsrohr hinweisen würden, festgestellt wurden. Detailmessungen und Analysen wurden daher nicht durchgeführt.

## 5.2 2. Abschaltseinheit: Gesamtdruckverlust, Durchsatzverteilung, Aufschwimmverhalten

Gesamtdruckverlust des Gliederabsorbers als Funktion des Gesamtmassendurchsatzes der AE:

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Abb. 11 dargestellt für die wesentlichsten den Druckabfall beeinflussenden Parameter, nämlich

- axiale Absorberpositionen: ausgefahren - eingefahren (entsprechend der Bereitschafts- und Abschaltposition)
- radiale Absorberpositionen: zentrisch - zick-zack

Die in Abb. 11 wiedergegebenen Ergebnisse zeigen die zu erwartende Abhängigkeit  $\Delta p \sim m^2$  auf. Im Detail läßt sich erkennen:

- Die Gesamtdruckverluste des Gliederabsorbers sind bei gleichem Massendurchsatz in der Bereitschaftsposition wesentlich höher (Faktor 1,0) als in der Abschaltposition, was auf die in der Bereitschaftsposition wirksame Durchsatzabdrosselung im Fuß des Absorbers zurückzuführen ist.
- Die Zick-Zack-Position des Absorbers bestimmt den Druckverlustverlauf mit. Er liegt wegen Veränderungen der Strömungsgeometrien im Fuß und an den Kuppelstellen geringfügig unter dem Verlauf für zentrische Anordnung.
- Die Variante mit geändertem Absorberfuß ergibt eine geringfügige Zunahme des Absorberdruckverlustes.

Durchsatzanteile der Bündel der Absorberglieder am Gesamtdurchsatz der AE:

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Abb. 12 aufgetragen und zwar getrennt für die einzelnen Absorberglieder und für die axialen und radialen Absorberpositionen. Dabei läßt sich erkennen:

- Die Durchsatzaufteilung zwischen den Bündeln der Absorberglieder und dem Ringraum ist in der Bereitschaftsposition nur schwach in der Abschaltposition aber stark abhängig vom Gesamtmassendurchsatz der AE. Letzteres beruht auf der nicht vorhandenen Ringraumdrosselung.

- Die Durchsatzaufteilung wird wesentlich beeinflusst durch die axiale Absorberposition. In Bereitschaftsposition ist die Ringraumdrosselung wirksam, der Absorberdurchsatz entspricht damit etwa jenem des Ringraumes. In Abschaltposition ist keine Ringraumdrosselung mehr vorhanden, der Absorberdurchsatzanteil sinkt damit stark ab (Faktor 4-6, je nach Massendurchsatz).
- Die radialen Absorbergliederlagen im Führungsrohr (zick-zack) beeinflussen den Durchsatzanteil der Absorberglieder wesentlich und zwar durch die an den Kuppelstellen in dieser Lage wirksam werdenden Leakage-Strömungen vom Bündelinnern zum Ringraum hin. Diese wirken sich so aus, daß das Absorberglied I (der Drosselstelle im Fuß am nächsten gelegen) in Zick-Zack-Lage einen höheren Durchsatzanteil aufweist, als in der freihängenden, zentrischen Lage, während dieses Verhalten beim Absorberglied III (der Drosselstelle am entferntesten, aber dem Kern am nächsten gelegen) gerade umgekehrt ist. Es wird in der frei hängenden Lage am besten, in der Zick-Zack-Lage dagegen am schlechtesten gekühlt.
- Die Variante mit geänderten Absorberfuß beeinflusst die Durchsatzverteilung nicht. Die ermittelten Durchsatzanteile zwischen den Absorbergliedern und dem Ringraum entsprachen in Bereitschafts- und Abschaltpositionen den Forderungen.

#### Aufschwimmverhalten des Gliederabsorbers im Führungsrohr:

Das Aufschwimmverhalten dieses Absorbers wurde bestimmt. Dabei sind als Versuchspunkte von besonderem Interesse:

- die Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse aus  $H_2O$ -Untersuchungen auf Na-Strömung;
- das Aufschwimmverhalten als Funktion der axialen Hubhöhe des Absorbers, um festzustellen, bei welchem Durchsatz die Kuppelstellen geöffnet werden und wann das Gelenkgestänge mit angehoben wird (erschwerter Wiederankupplungsvorgang!);
- die Ermittlung des Aufschwimmverhaltens bei 100 % blockierter Strömungsgeometrie des untersten Absorbergliedes; dies ist hier von besonderem Interesse wegen der u.U. langen Standzeiten in Bereitschaftsposition bis zur im Notfall geforderten Betätigung.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in den Abbn. 13 und 14 wiedergegeben.

Abb. 13 zeigt das Aufschwimmverhalten des Absorbers als Funktion der Zähigkeit des Fluids für die Fälle:

- Das der Drossel im Absorberuß am nächsten gelegene Absorberglied I schwimmt auf - bei nicht blockiertem und 100 % blockiertem Bündel.
- Der gesamte Absorber, einschließlich Gelenkgestänge schwimmt auf
  - bei nicht blockiertem und 100 % blockiertem Bündel des Absorbergliedes I.

Aus den Versuchsergebnissen ist zu erkennen:

- das Aufschwimmverhalten ist praktisch unabhängig von der Zähigkeit des Fluids, wird aber stark vom Absorberzustand (blockiert/nicht blockiert, mit/ohne Gelenkgestänge) bestimmt;
- die Aufschwimmcharakteristiken des Absorbers mit Gelenkgestänge liegen bei 50 bis 100 % höheren Massendurchsätzen als jene des untersten Absorbergliedes;
- den größten Einfluß auf das Aufschwimmverhalten besitzt eine Bündelblockade. Der Absorber mit Gelenkgestänge schwimmt bei 100 % blockiertem Bündel des untersten Absorbergliedes bei etwa der Hälfte des Massendurchsatzes auf im Vergleich zum nicht blockierten Bündel.

Das Aufschwimmverhalten der beweglichen Teile des Gliederabsorbers ist in Abb. 14 in Abhängigkeit von der axialen Position des unteren Absorberbündels wiedergegeben. Man erkennt:

- die Aufschwimmcharakteristiken der nicht blockierten und der blockierten Bündel sind in ihrer Tendenz ähnlich. Mit zunehmendem Massendurchsatz werden zunehmend mehr aufschwimbare Teile bewegt;
- einen stufenförmigen Verlauf der Aufschwimmcharakteristiken. Dieser beruht darauf, daß die einzeln bewegbaren Teile nach und nach soweit aufschwimmen, bis sie zur Anlage mit den noch stabil liegenden Teilen kommen. Erst zusätzliche Durchsatzsteigerungen ergeben dann gemeinsames Aufschwimmen;

- wenn alle Absorberglieder (I, II, III) und das Teilgestänge (IV) aufschwimmen, nimmt der Durchsatz exponentiell zu, weil sich dabei der Absorberfuß aus der Ringraumdrossel am unteren Ende des Absorbers bewegt.

#### Stabile Lage der Absorberglieder im Führungsrohr:

Es wurden keine auf zyklische Berührungen zwischen Gliederabsorber und Führungsrohr hinweisenden Geräusche festgestellt und daher auch für die 2. AE auf detaillierte Messungen verzichtet.

#### 6. Schlußfolgerung

Im SNR-300 sind zwei voneinander unabhängig arbeitende und konstruktiv verschieden ausgeführte Abschalteinheiten vorhanden. Abschalteinheit 1, bestehend aus einem starren Absorber, dient neben der Reaktorabschaltung auch zur Reaktorregelung und ist oberhalb des Reaktorkerns angeordnet. Abschalteinheit 2 besteht aus je drei flexibel aneinander gekuppelten Absorbergliedern und ist unterhalb des Reaktorkerns angeordnet.

Um die Unsicherheiten der thermohydraulischen Auslegung zu reduzieren und eine strömungstechnisch günstige Gestaltung der Absorber zu ermöglichen, wurde ein umfangreiches fluiddynamisches Versuchsprogramm durchgeführt. Dabei wurden die Druckabfälle, die Durchsatzverteilungen zwischen Absorber und dem von Führungsrohr und Absorber gebildeten Ringraum sowie die Aufschwimmcharakteristiken der Absorber in H<sub>2</sub>O-Strömung experimentell bestimmt. Verschiedene axiale und radiale Absorberpositionen wurden als Parameter untersucht und die Übertragbarkeit der Aufschwimmpunkte auf Na-Strömung sichergestellt. Es zeigte sich:

- . Nach mehrmaligen Modifikationen des Absorbers der 1. Abschalteinheit konnten die an ihn gestellten Forderungen erfüllt werden:
  - die Durchsatzverteilung zwischen Absorber und Ringraum beträgt 1:1, bei tolerierbarem Gesamtdruckverlust des Absorbers, unabhängig von der axialen und radialen Position im Führungsrohr,
  - die Aufschwimmcharakteristik des Absorbers ergibt, daß erst ein Massendurchsatz >4 kg/s zum Aufschwimmen führt. Dieser Durchsatz liegt fast 100 % über dem Nominaldurchsatz,

- die Überprüfung der Lage der Absorber im Führungsrohr ergab, daß im gesamten untersuchten Strömungsbereich die stabile Lage sichergestellt ist.
- . Die Absorber der 2. Abschaltseinheit erfüllen die an sie gestellten Forderungen ebenfalls:
  - sie weisen in der Bereitschaftsposition eine Durchsatzaufteilung zwischen den frei hängenden Absorbergliedern und dem Ringraum von etwa 1:1 auf, bei tolerierbarem Druckverlust, weitgehend unbeeinflusst durch die radialen Positionen der Absorberglieder im Führungsrohr,
  - diese Durchsatzverteilungen sowie der Gesamtdruckverlust ändern sich wesentlich mit der axialen Absorberposition. In der Abschaltposition wird der Gesamtdruckabfall um einen Faktor 10 reduziert und die Durchsatzverteilung erreicht Werte, die um einen Faktor 4 bis 6 unter den für die Bereitschaftsposition ermittelten Daten liegen.
  - die Aufschwimmcharakteristik des Gliederabsorbers liegt bei Werten weit über den Forderungen. Nur bei völlig blockiertem Bündel des untersten Absorbergliedes sind Aufschwimmpunkte im Bereich der Nenndurchsätze möglich,
  - die Überprüfung der Lage der Absorberglieder im Führungsrohr ergab, daß im gesamten untersuchten Strömungsbereich die stabile Lage sichergestellt ist.

Damit kann festgestellt werden, daß die Absorbertypen der 1. und 2. Abschaltseinheit nach verschiedenen konstruktiven Änderungen nunmehr den fluiddynamischen Erfordernissen entsprechen.

---

Wir danken den Herren Fischer und Wiens für Ihre Mitarbeit bei der Vorbereitung und Durchführung der Versuche.



Nomenklatur:

A	Fläche	$\zeta$	Widerstandsbeiwert
D	Stabdurchmesser	$\nu$	Zähigkeit
g	Erdbeschleunigung	$\rho$	Dichte
H	Hubhöhe		
$\Delta H$	gem. Differenzdruckhöhe	<u>Indices:</u>	
$\dot{m}$	Massendurchsatz	A	Aufschwimmen
P	Stabmittenabstand	B	Bündel
$\Delta p$	Druckverlust	ges	Gesamt (Ringraum und Bündel)
Re	Reynoldszahl	Hg	Quecksilber
T	Temperatur	H <sub>2</sub> O	Wasser
U	benetzter Umfang	R	Ringraum
$\dot{V}$	Volumendurchsatz	1,2	Lage der Meßquerschnitte in Strömungsrichtung

Literatur:

- /1/ K. Marten; Experimentelle Untersuchungen des Druckabfalls, der Durchsatzverteilung und des Aufschwimmverhaltens am Absorbermodell des SNR-300.  
DATF-KTG-Reaktortagung 1974, Berlin, April 1974, Seite 227-230
- /2/ H.W. Glinsky, F. Mehren, P. Voy, H. Hoffmann, K. Marten;  
The Shut-Down-Systems of KNK and SNR-300.  
IAEA-SM-225/28; Bologna, April 1978
- /3/ D. Coors; Besonderheiten der thermohydraulischen Auslegung von Regeltrimm- und Zweitabschaltelementen des SNR-300.  
DATF-KTG-Reaktortagung 1978, Hannover, April 1978, Seite 118-121
- /4/ VDI - Wasserdampftafel 7. Auflage, 1968

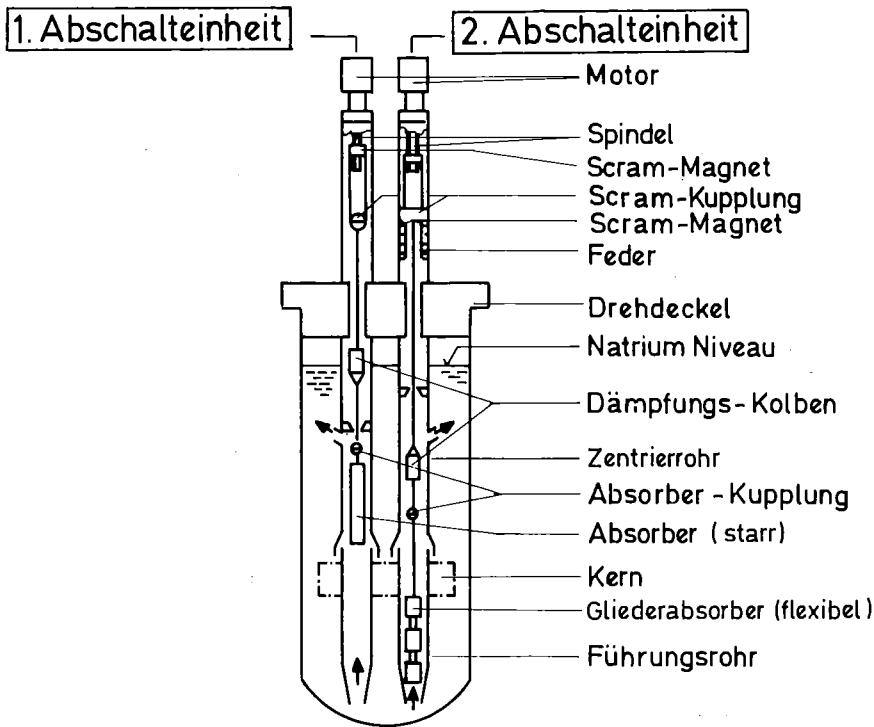


ABB. 1: ANORDNUNG DER SNR-300 ABSCHALTSYSTEME

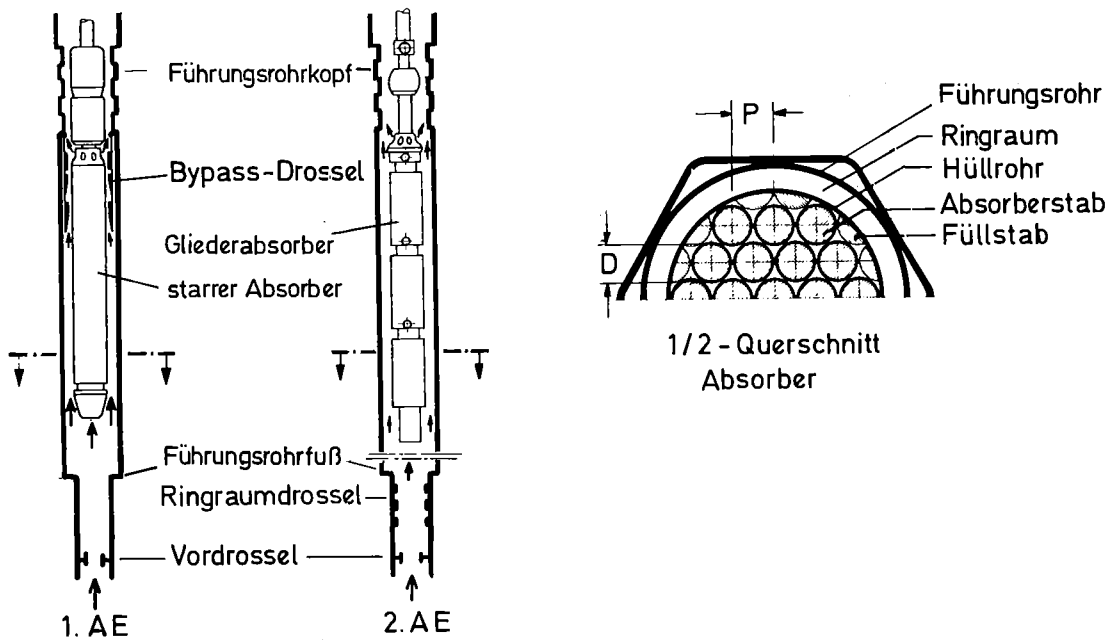


ABB. 2: SNR-300 ABSORBER IN ABSCHALTPOSITION

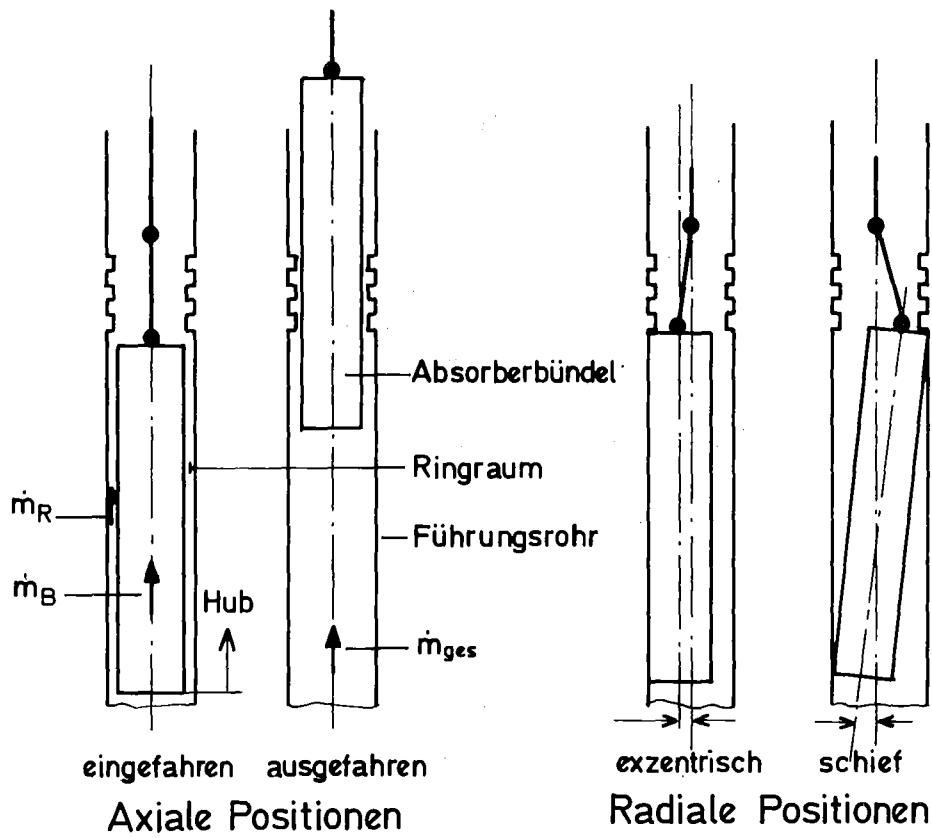


ABB. 3: ABSORBERLAGEN IM FÜHRUNGSROHR (1. AE)

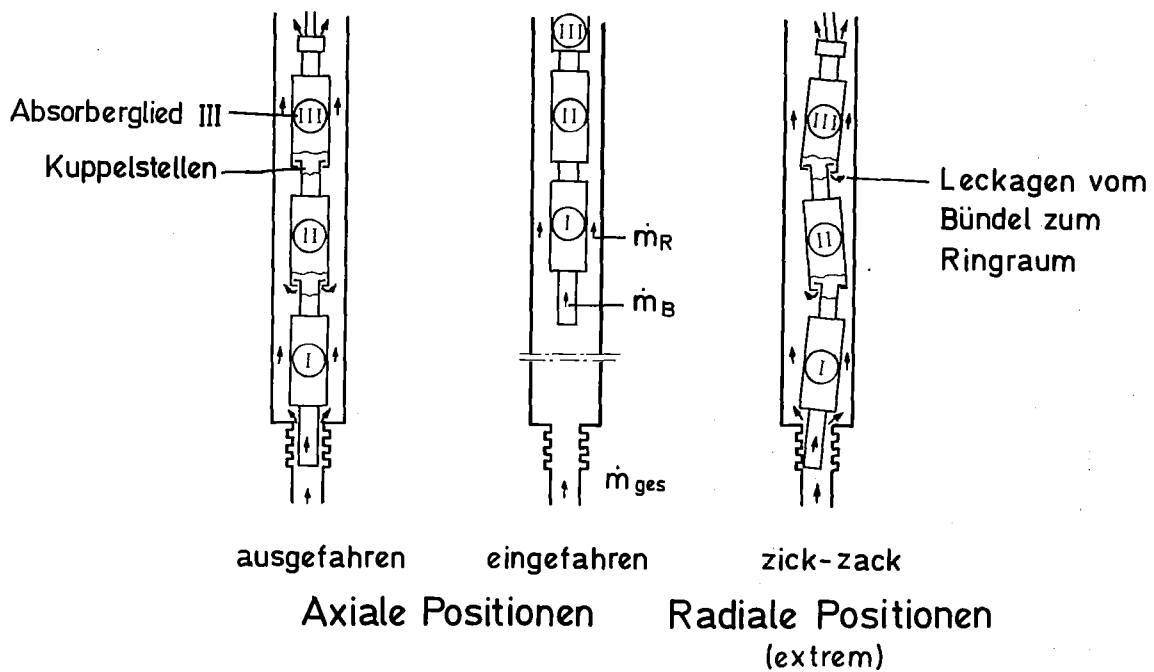


ABB. 4: ABSORBERLAGEN IM FÜHRUNGSROHR (2. AE)

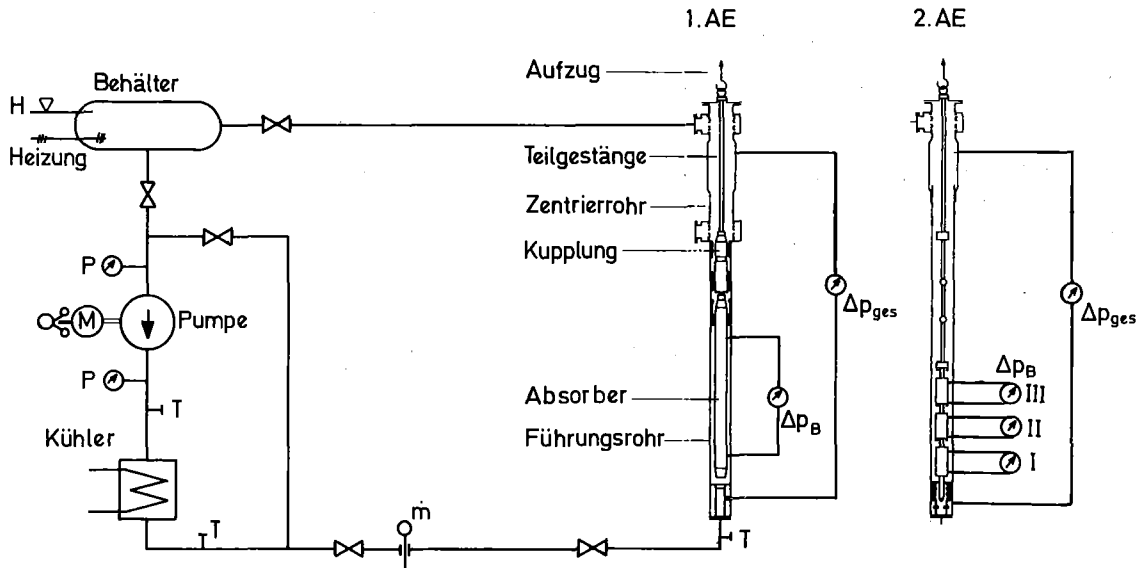


ABB. 5: WASSERKREISLAUF MIT TESTSTRECKEN (1. AE/2.AE)

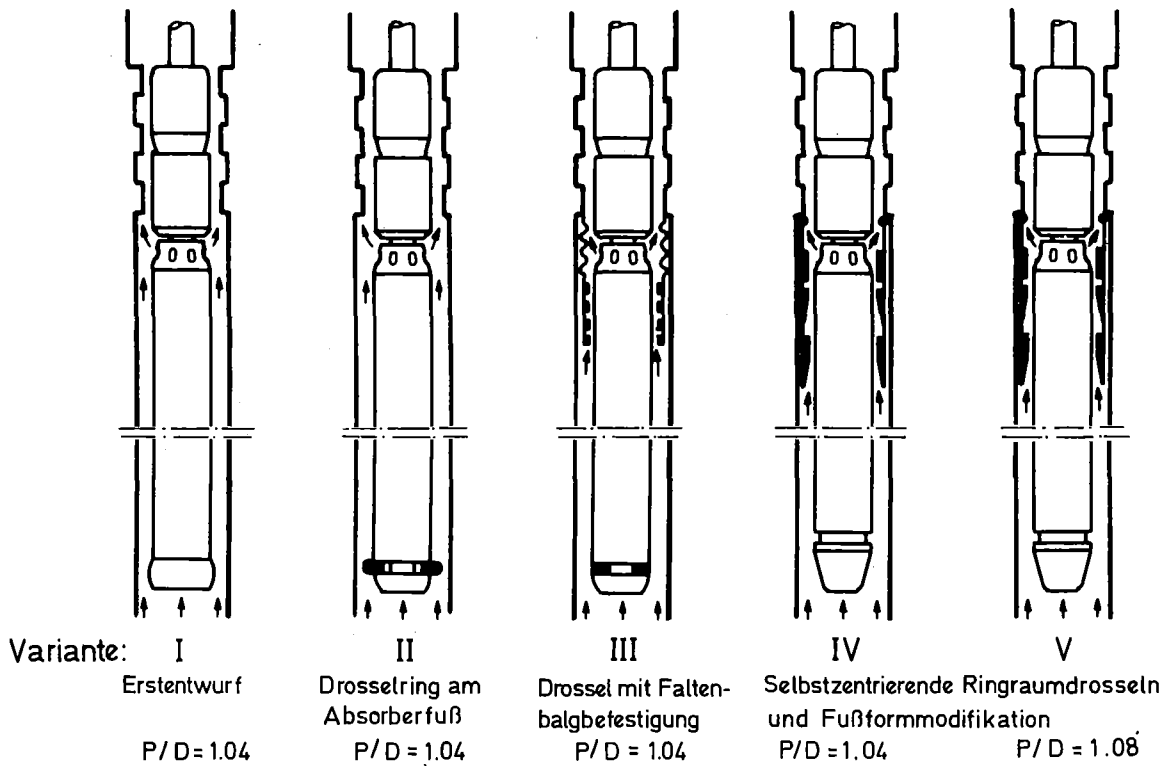


ABB. 6: ENTWICKLUNGSSTUFEN DER ABSORBER DER 1. AE (VARIANTEN I-V)

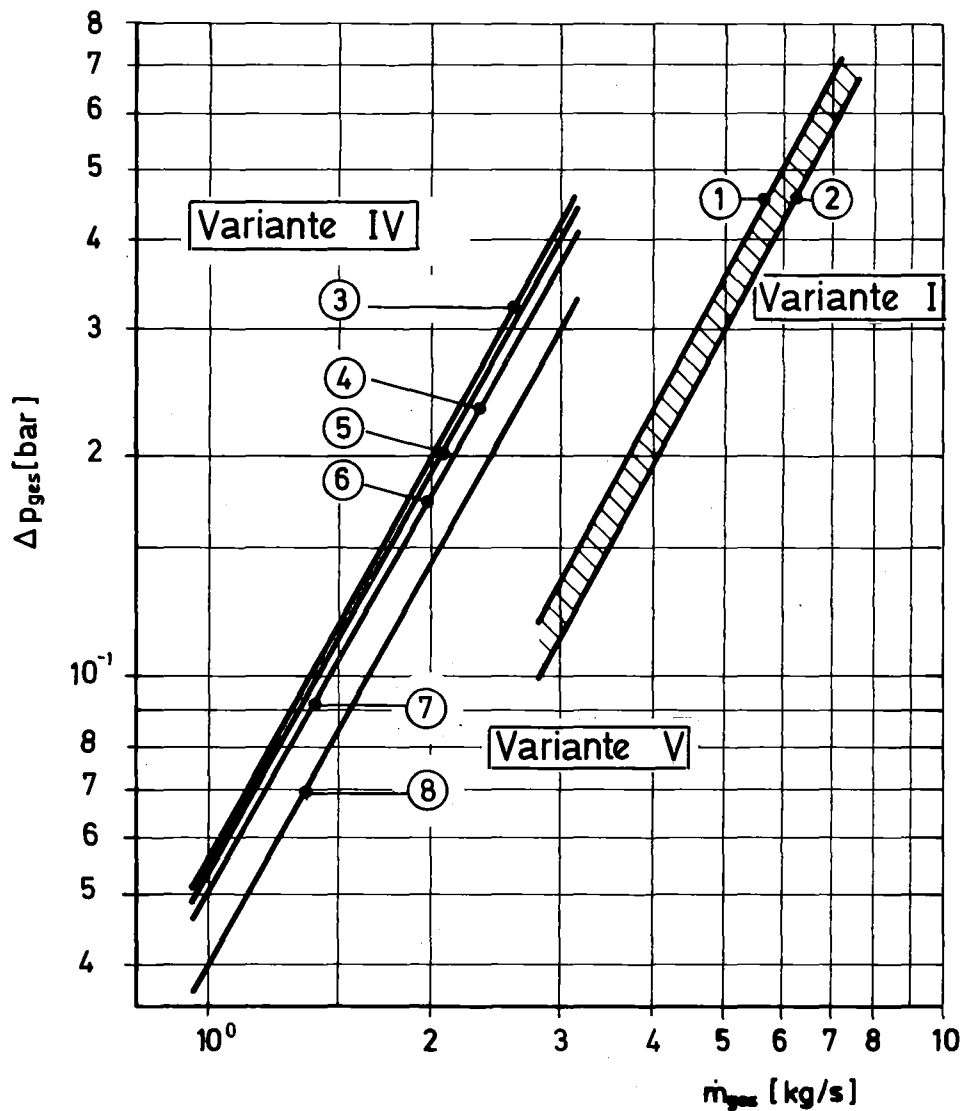
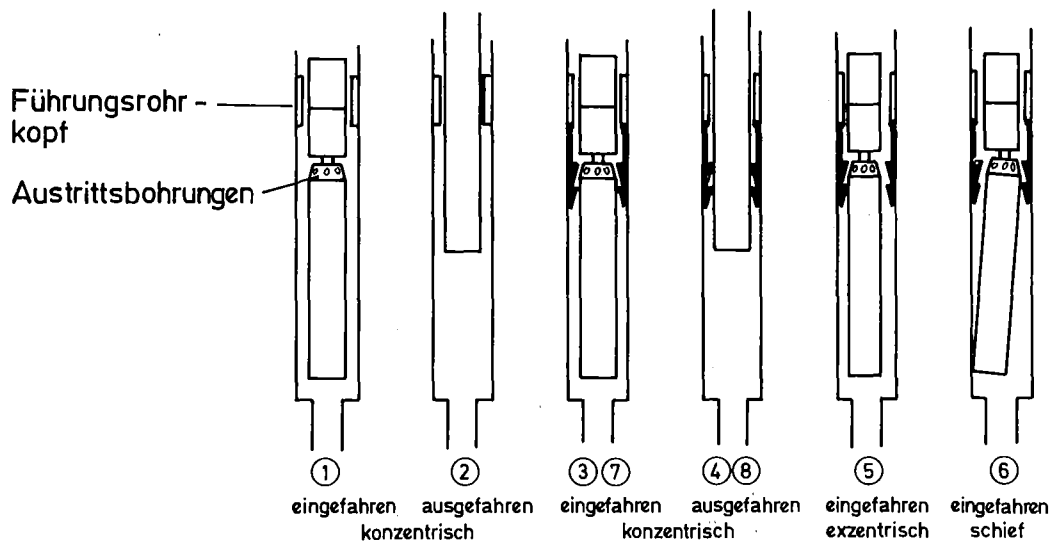


ABB. 7: GESAMTDURCKVERLUST DES ABSORBERS DER 1. AE ALS FUNKTION DES GESAMTMASSENDURCHSATZES FÜR VERSCHIEDENE ABSORBER-POSITIONEN

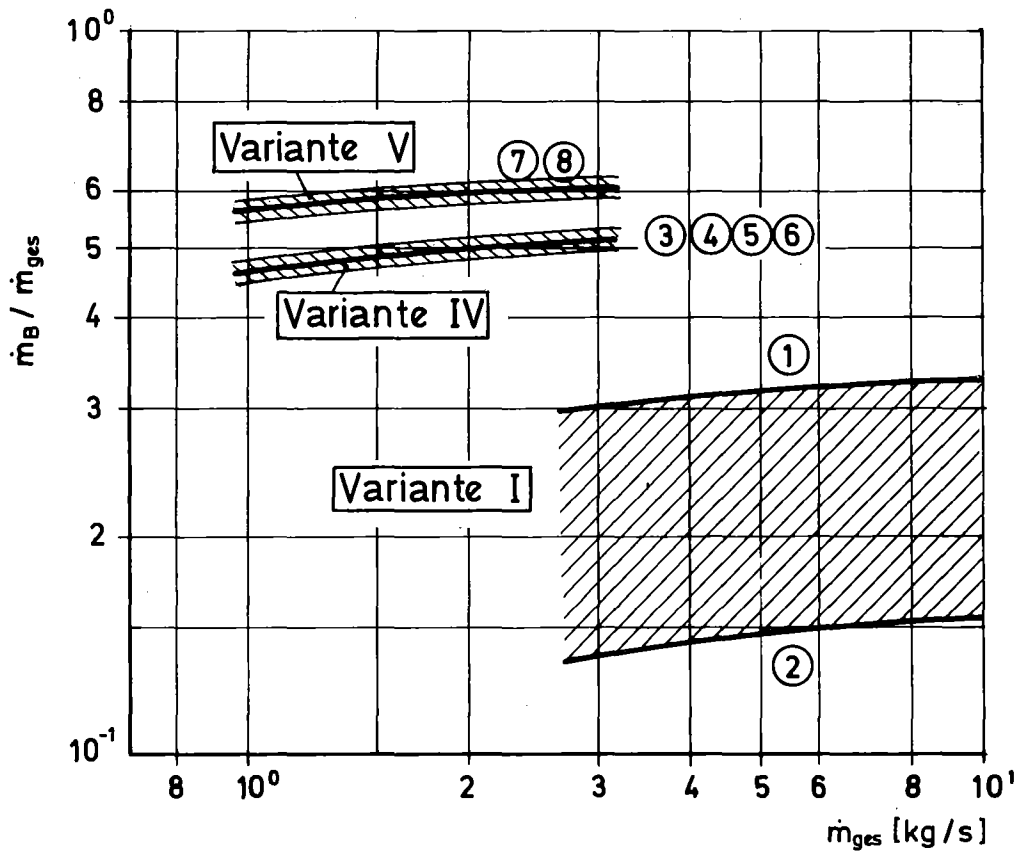
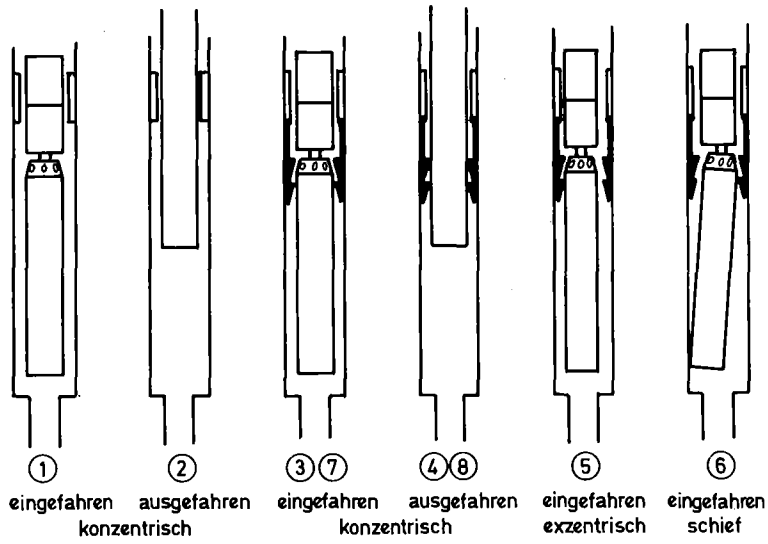


ABB. 8: DURCHSATZANTEIL DER BÜNDEL DER 1. AE ALS FUNKTION DES GESAMTMASSENDURCHSATZES FÜR VERSCHIEDENE ABSORBER-POSITIONEN

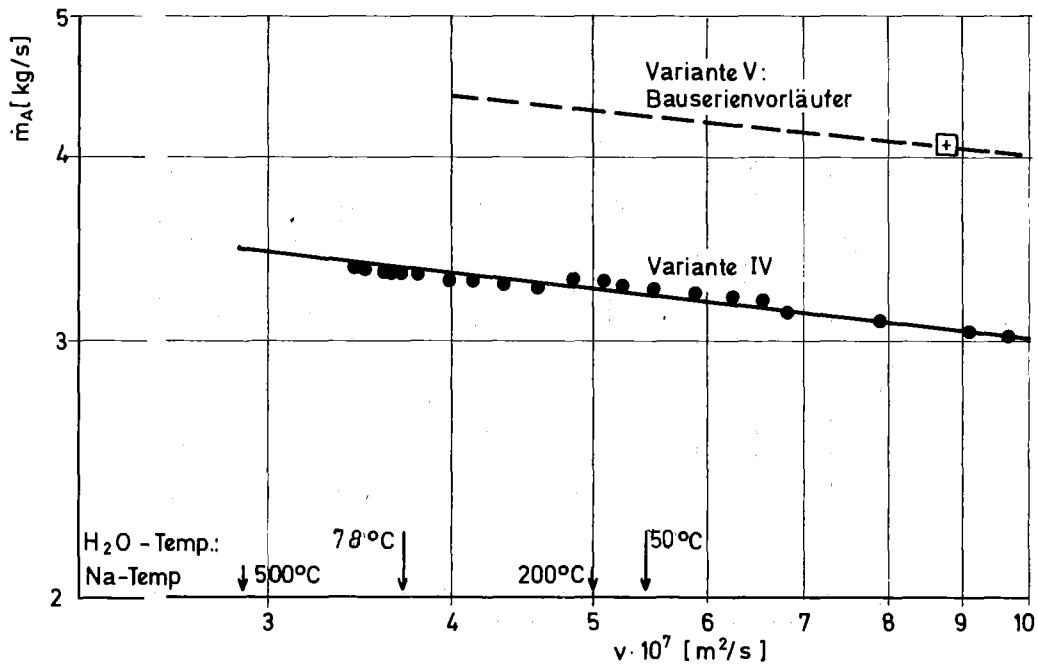


ABB. 9: MASSENDURCHSATZ BEIM AUFSCHWIMMEN DES ABSORBERS DER 1. AE ALS FUNKTION DER ZÄHIGKEIT DES FLUIDS

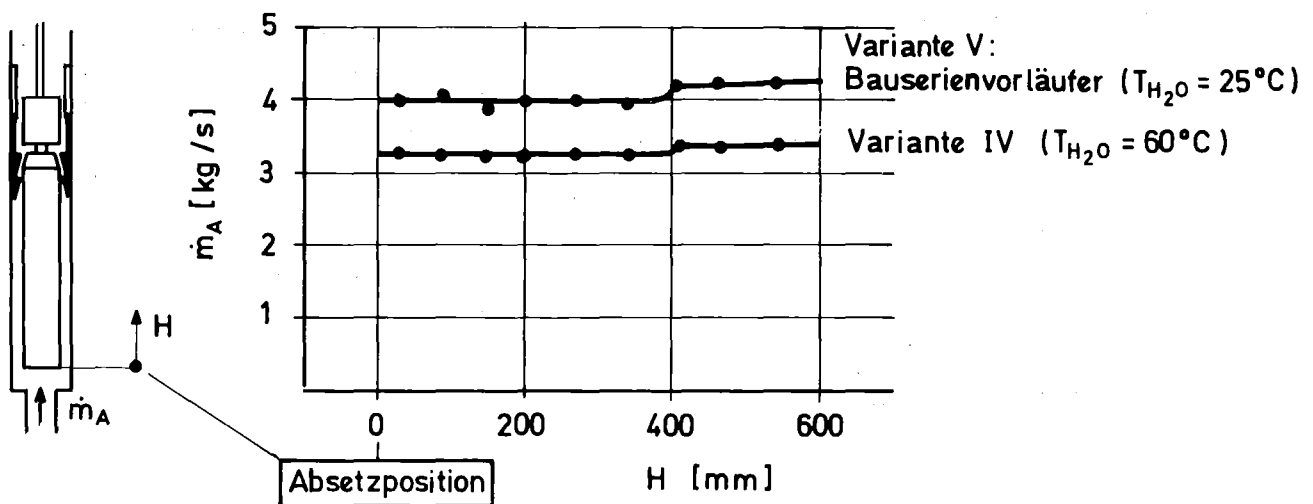


ABB. 10: MASSENDURCHSATZ BEIM AUFSCHWIMMEN DES ABSORBERS DER 1. AE ALS FUNKTION DER HUBHÖHE

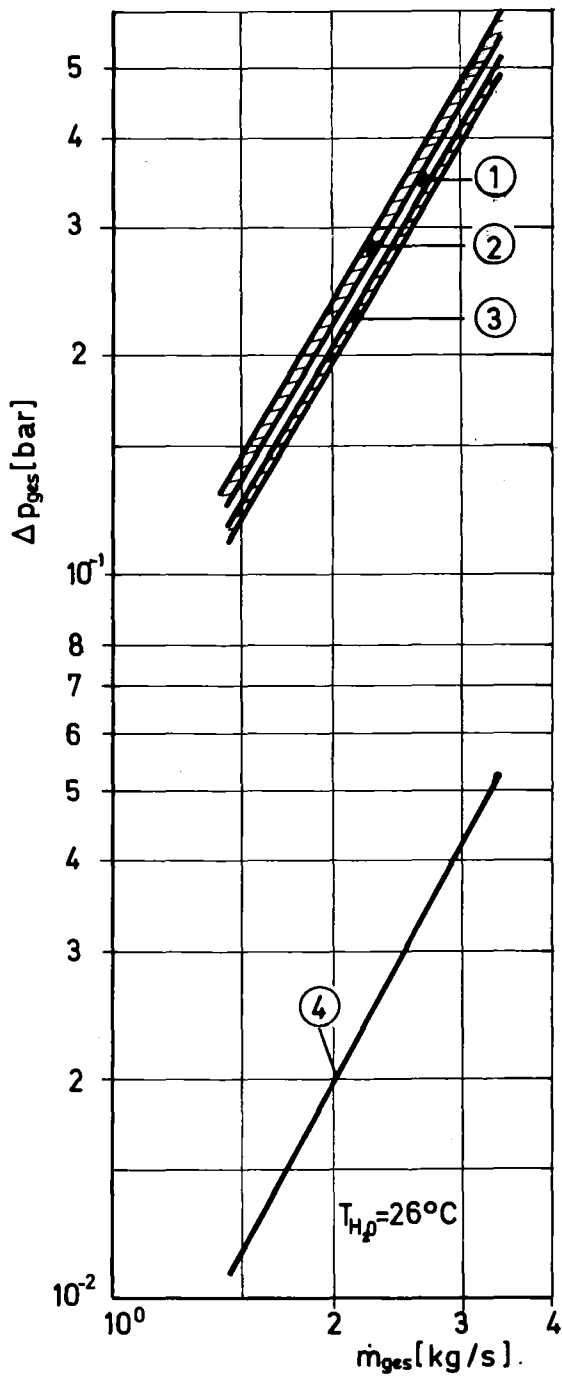


ABB. 11: GESAMTDRUCKVERLUST DES GLIEDERABSORBERS DER 2. AE ALS FUNKTION DES GESAMTMASSEN-DURCHSATZES FÜR VERSCHIEDENE ABSORBER-POSITIONEN

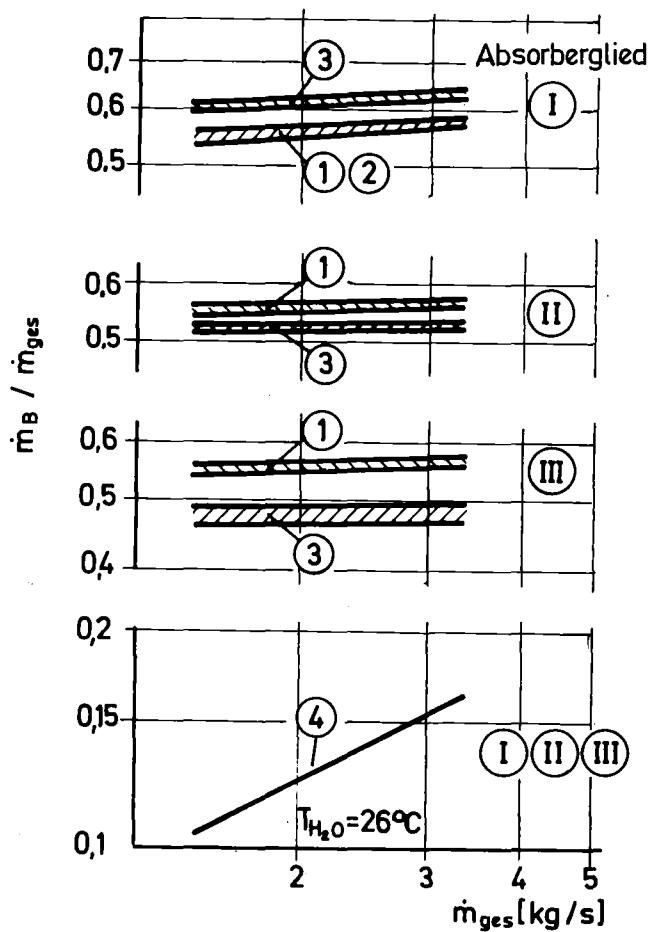
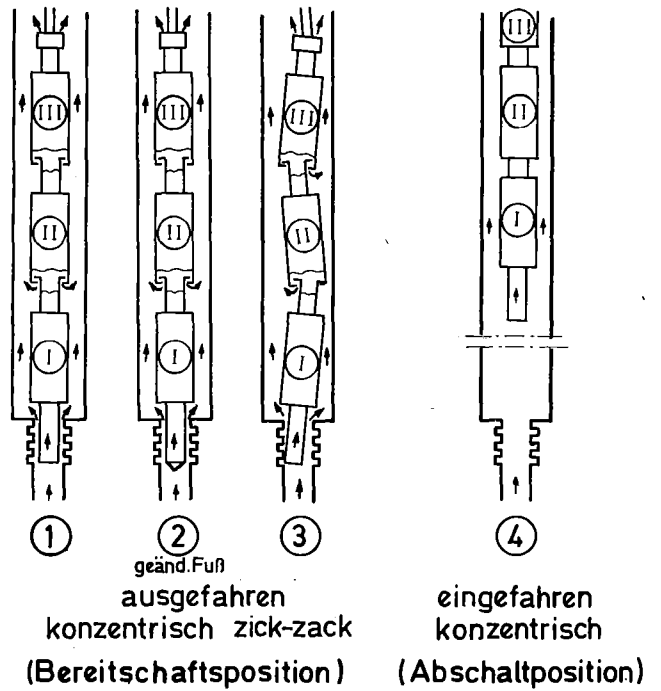


ABB. 12: DURCHSATZANTEIL DER ABSORBERGLIEDER DER 2. AE ALS FUNKTION DES GESAMTMASSEN-DURCHSATZES FÜR VERSCHIEDENE ABSORBER-POSITIONEN



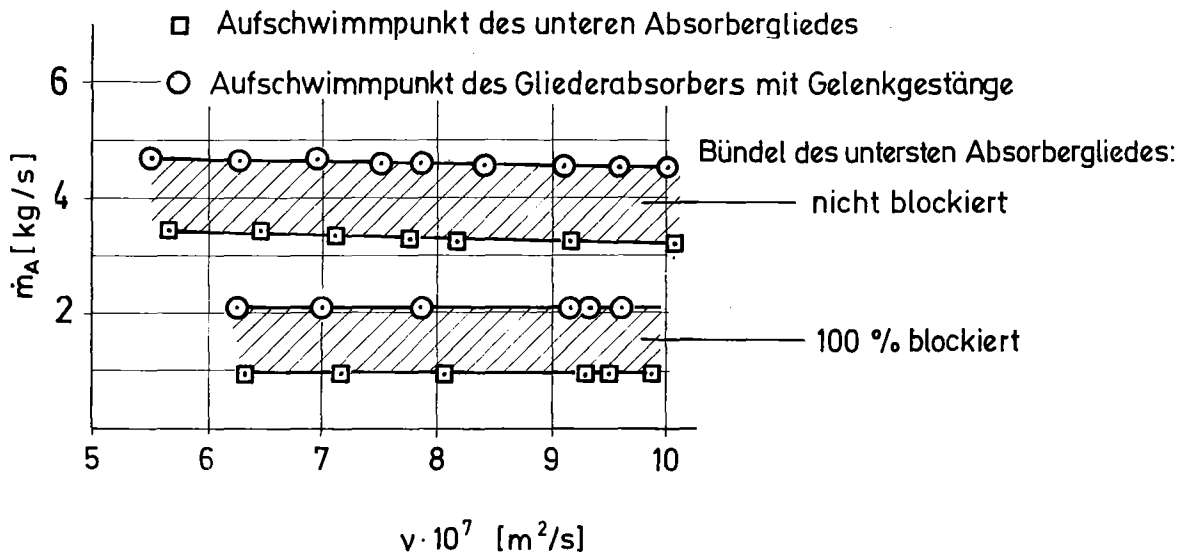


ABB. 13: MASSENDURCHSATZ BEIM AUFSCHWIMMEN DER TEILE DER 2. AE ALS FUNKTION DER ZÄHIGKEIT DES FLUIDS

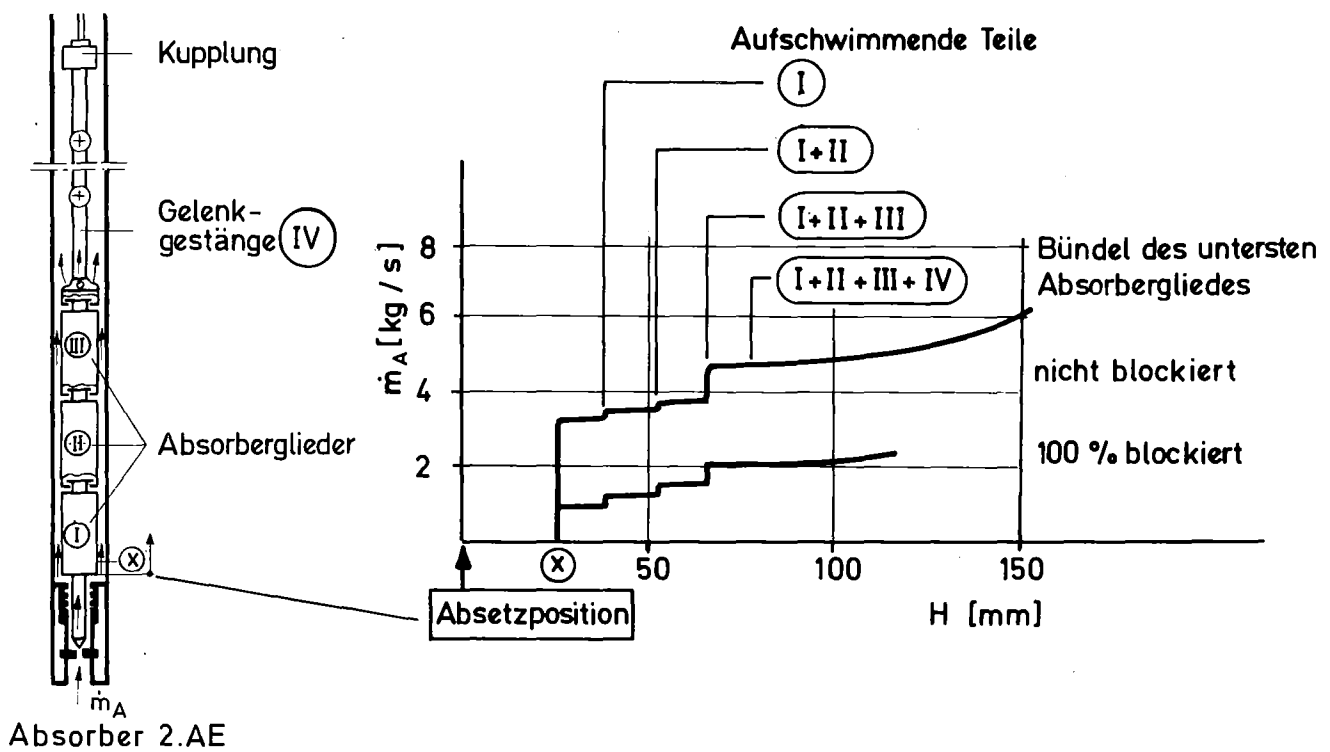


ABB. 14: MASSENDURCHSATZ BEIM AUFSCHWIMMEN DER TEILE DER 2. AE ALS FUNKTION DER HUBHÖHE VON ABSORBERGLIED I