

KfK 5121
November 1993

Zwangs- und Schwerkraftflutversuche an hexagonalen Stabbündelgeometrien Abschlußbericht

**K. Wiehr, F. Erbacher, W. Just, U. Harten, H. Schmidt
Institut für Angewandte Thermo- und Fluidodynamik
Projekt Nukleare Sicherheitsforschung**

Kernforschungszentrum Karlsruhe

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Institut für Angewandte Thermo- und Fluidodynamik

Projekt Nukleare Sicherheitsforschung

KfK 5121

**Zwangs- und Schwerkraftflutversuche an
hexagonalen Stabbündelgeometrien
Abschlußbericht**

K. Wiehr, F. Erbacher, W. Just, U. Harten, H. Schmidt

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

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

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
Postfach 3640, 76021 Karlsruhe

ISSN 0303-4003

Kurzfassung

Dieser Bericht beschreibt Flutexperimente an zwei Brennstabsimulatorbündeln mit hexagonaler Stabanordnung unterschiedlicher Bündelgeometrie. Die Bündel bestehen aus jeweils 61 Brennstabsimulatoren (BSS) mit einem cosinusförmigen axialen Leistungsprofil, wobei das sehr enge Bündel ($p/d=1,06$) mit Stahlhüllen mit integrierten Wendelrippen als Abstandshalter bestückt ist, das weite Bündel ($p/d=1,24$) mit Zircaloy-Hüllrohren vom DWR-Konvoi-Typ mit Gitterabstandshaltern.

Der Bericht enthält im wesentlichen die erarbeitete experimentelle Datenbasis und soll den Modellierer in die Lage versetzen, Flutcodes für hexagonale Brennelementanordnungen zu überprüfen und zu verbessern (z.B. ATHLET, RELAP). Dies ist von aktuellem Interesse für die hexagonale Brennelementkonfiguration der russischen VVER- und anderer fortgeschrittener Reaktorkonzepte.

Die experimentellen Daten der insgesamt 45 Flutexperimente (überwiegend Zwangs- und einige Schwerkraft-Flutexperimente) sind auf Band bzw. auf Platte der KfK-IBM 3090 abgelegt. Um gezielt die gewünschten Experimente herauszusuchen zu können, enthält der Bericht eine Beschreibung der Versuchsanlage, der Instrumentierung des Bündels und des Testkreislaufes. Die Parameterkombination der Experimente ist in Tabellen wiedergegeben.

Kurvendarstellungen mit Heizstabhüllentemperaturen von 37 BSS des Bündels, der Gesamtdruckverlust über das Bündel sowie axiale Temperaturverläufe erleichtern die Auswahl bevorzugter Experimente.

Eine Handhabungsbeschreibung der experimentellen Daten und entsprechende Kanallisten ermöglichen den Zugriff zu sämtlichen gewünschten Meßwerten des jeweiligen Experimentes.

Für die Modellierung der Brennstabsimulatoren enthält der Anhang die notwendigen Stoffdaten.

Forced and gravity reflood experiments in hexagonal bundle lattices - Final Report

Abstract

This report describes reflooding experiments in two different fuel rod simulator bundles (FRSB) with hexagonal lattices in different bundle geometries and different pitch over diameter (p/d) ratios.

The bundles consist of 61 electrically heated fuel rod simulators with a cosine shaped axial power profile.

The tight bundle (p/d=1,06) has steel claddings with integrated helical fins as spacers, whereas the wider bundle (p/d=1,24) is equipped with grid spacers and with Zircaloy claddings typical of a convoy PWR.

This report delivers mainly the data base for modelers in order to verify and further develop reflooding codes (e.g. ATHLET, RELAP) for hexagonal fuel lattices. Presently this is of immediate interest for the hexagonal fuel elements of russian VVER's and other advanced reactor concepts.

The experimental data of a total of 45 experiments (most of them with forced feed and some of them with gravity feed) are stored on data tapes and data discs of the KfK IBM 3090. To find the proper experiments desired for calculations, this report contains schematic figures of the test loop, the instrumentation of the bundle and the whole test section. The test parameters are listed in tables. To facilitate the identification of the experiments, the cladding temperatures of the inner 37 fuel rod simulators, the axial cladding temperatures and the total pressure drop of the bundle are plotted.

An user description for the experimental data and the corresponding measuring channel list of each experiment enables to find the proper test.

In the appendix the material properties to model the rod simulator are given.

Inhaltsverzeichnis

	Seite	
1.	Einleitung	1
1.1	Allgemeines	1
1.2	Zielsetzung	1
1.2.1	Zielsetzung des Berichtes	2
1.3	Versuchsprogramm	3
1.3.1	Flutversuche in hexagonaler $p/d = 1,06$ - Anordnung	3
1.3.2	Flutversuche in hexagonaler $p/d = 1,24$ - Anordnung	4
2.	Versuchsanlage	6
2.1	Brennstabsimulator	6
2.2	Bündelaufbau	7
2.3	Teststrecke	7
2.4	Instrumentierung	7
2.4.1	Instrumentierung des Bündels	7
2.4.2	Fluid- und Kastenthermoelemente für $p/d = 1,06$ und $p/d = 1,24$	9
2.4.3	Instrumentierung des Testkreislaufs	10
2.4.4	Höhenstandsmessung (N5) im Wasserauswurf-Sammeltank	10
2.4.5	Angaben zur Meßgenauigkeit	12
2.5	Stromversorgung	12
2.6	Leistungsabgleich der Brennstabsimulatoren	12
2.7	Versuchsablauf	12
2.7.1	Zwangsfutversuche	12
2.7.2	Schwerkraftfutversuche	13
2.7.2.1	mit gefülltem Downcomerrohr	13
2.7.2.2	mit leerem Downcomerrohr	14
3.	Ergebnisse	14
3.1	Datenaufnahme und -handhabung	21
3.2	Bandbelegung, Kanalliste und Datenzuordnung	24
3.2.1	Für $p/d = 1,06$ Bündelgeometrie	24
3.2.2	Für $p/d = 1,24$ Bündelgeometrie	32
4.	Literatur	129
5.	Anlage: Stoffdaten	131

Verzeichnis der Abbildungen

	Seite
Abb. 1: FLORESTAN Brennstabsimulator	39
Abb. 2: FLORESTAN Rippenrohr für Testbündel $p/d = 1,06$	40
Abb. 3: FLORESTAN Nennmaße der Brennstabsimulatoren	41
Abb. 4: Bündelführungskasten mit Abstandshalter ($p/d = 1,24$)	42
Abb. 5: Positionierung der Abstandshalter und Fluidthermo- elemente bei FDWR-Bündel $p/d = 1,24$	43
Abb. 10: Radiale Positionierung der Thermoelemente im Bündel $p/d = 1,24$	44
Abb. 6: FLORESTAN Testbündel	45
Abb. 7: Schematische Darstellung der FDWR-Teststrecke	46
Abb. 8: FLORESTAN Versuchskreislauf schematisch	47
Abb. 9: Positionierung der Thermoelemente im Bündel $p/d = 1,06$	48
Abb. 11: Axiale Positionierung der Thermoelemente im Bündel $p/d = 1,24$	49
Abb. 12: Schaltbild der Versuchsanlage mit Temperatur-, Druck-, Differenzdruck-, Mengen- und Niveaumeßstellen	50
Abb. 13: FLORESTAN: Phasenbelegung der Transduktoren	51
Abb. 14: FLORESTAN: Wasserauswurfsammeltank	52
Abb. 15 – 28: 1. Innentemperaturen in axialer Bündelmitte ohne Außenkranz 2. Gesamtdruckverlust (N2) in der Teststrecke 3. Axiale Hüllrohrtemperaturen von Stab 103 für die Versuche FDWR 1.2 – FDWR D5	53 – 66
Abb. 29 – 90: Heizstabtemperaturen in axialer Mitte im Innenbereich des Bündels (37 Stäbe). Heizstabtemperaturen in verschiedenen axialen Höhen des Stabes 143 und Gesamtdruckverlust.	67 – 128

1. Einleitung

1.1 Allgemeines

Der Anreiz, den bewährten Druckwasserreaktor weiter zu entwickeln, liegt in seinem Potential, die Brennstoffausnutzung in einem geschlossenen U-Pu-Kreislauf deutlich zu verbessern. Eine Reihe von Studien /1,2/ haben aufgezeigt, daß dies durch eine Verschiebung des Energiespektrums vom thermischen in den epithermischen Bereich der Neutronen erreicht werden kann. Konstruktiv wird dies durch eine Verringerung des Moderator- zu Brennstoff-Volumenverhältnisses erzielt, und zwar durch eine Änderung der weiten quadratischen Stabanordnung eines DWR in eine engere Dreiecksstabanordnung eines FDWR (Fortschrittlicher Druckwasserreaktor). Im Rahmen der Konzeptstudie wurden dabei verschiedene enge Stabanordnungen diskutiert und zwar für Stabmittenabstands- zu Stabdurchmesser-Verhältnisse (p/d) von 1,06 bis 1,24.

Die engste Stabbündelanordnung mit einem $p/d = 1,06$ repräsentiert den Blanket-Bereich eines heterogenen Reaktorkonzepts, wogegen die weiteste untersuchte Geometrie mit einem $p/d = 1,24$ typisch für ein homogenes Reaktorkonzept ist. Die Arbeiten zum FDWR wurden im Rahmen eines Zusammenarbeitsvertrages gemeinsam von Siemens-KWU, KfK, PSI-Würenlingen und der TU-Braunschweig durchgeführt.

Die im vorliegenden Bericht beschriebenen thermohydraulischen Experimente wurden im Rahmen des FLORESTAN*-Programmes bei KfK durchgeführt.

1.2 Zielsetzung

Eine Fragestellung, die sich bei relativ engen hexagonalen Brennstabanordnungen stellt, ist die der Kernnotkühlung im Falle eines Kühlmittelverluststörfalles (KVS = LOCA).

Im Rahmen des FLORESTAN-Programmes wurden dazu Fragen nach den maximalen Hüllrohrtemperaturen und den Wiederbenetzungszeiten in der Flutphase eines KVS sowie nach der Hüllrohrverformung /3/ bzw. dem Grad der Kühlkanalversperrung untersucht. Da für hexagonale, vor allem enge Bündelgeometrien kaum experimentelle Daten vorliegen, war das Ziel dieser Versuche, eine experi-

*. FLORESTAN = Flut- und Deformationsverhalten von Stabbündeln

mentelle Datenbasis zur Überprüfung und Verbesserung von Rechenprogrammen zu erstellen.

Es wurden daher überwiegend Zwangsflutversuche mit definierten Randbedingungen durchgeführt. Bei Zwangsflutversuchen ist der Kühlmittelmassenstrom sauber meßbar, und die Meßergebnisse sind nicht von Oszillationen der Flüssigkeitssäulen und von Druckschwingungen überlagert.

In dem Bericht werden jedoch auch Ergebnisse von den durchgeführten Schwerkraftflutversuchen, sowohl in der sehr engen als auch der weiteren hexagonalen Geometrie wiedergegeben.

1.2.1 Zielsetzung des Berichts

Dieser Bericht soll es dem Theoretiker, der Rechenprogramme für das Fluten hexagonaler Bündel testen und verbessern will, ermöglichen, sich die gewünschten Meßdaten der Experimente verfügbar zu machen.

Der Bericht enthält dazu eine Kurzbeschreibung der Versuchsanlage sowie der Instrumentierung des Testbündels und des Testkreislaufs. Die Testmatrix gibt die Parameterkombination für die verschiedenen Experimente wieder. Auf Besonderheiten wird hingewiesen.

Für jedes Experiment sind die Heizstabhülltentemperaturen aller Innenstäbe des Bündels in axialer Stabmitte, d.h. von 37 Stäben dargestellt. Die äußere Stabreihe des 61 Stabbündels bleibt wegen azimuthaler Temperaturdifferenzen auf dem Hüllrohrumfang unberücksichtigt. Diese Abbildungen zeigen die Streubreite der im Bündel gemessenen Temperaturen zwischen Minimal- und Maximalwert und geben gleichzeitig das Streubreitenintervall der Wiederbenetzungszeiten für die axiale Mitte des Bündels wieder. Diese Information über die Streubreiten der Stabtemperaturen und der Wiederbenetzungszeiten ist wichtig für die Vergleichsbewertung der Ergebnisse zwischen Rechnung und Experiment.

Darüber hinaus wird von jedem Experiment der zeitliche Verlauf des Gesamtdruckverlusts (N_2) angegeben.

Eine weitere Information für die Beurteilung eines Flutexperimentes liefert die

Steiggeschwindigkeit der Wiederbenetzungsfront im Bündel, die eine Abbildung mit den axialen Temperaturverläufen oberhalb der Bündelmitte wiedergibt.

Eine Handhabungsbeschreibung der experimentellen Daten auf Band sowie die Beschreibung und Kanaluordnung der Meßdaten, ermöglichen den Zugriff zu sämtlichen Meßwerten des jeweiligen Experimentes.

1.3 Versuchsprogramm

Im Rahmen des Versuchsprogramms FLORESTAN wurden Flutversuche in verschiedenen geometrischen Anordnungen durchgeführt.

1.3.1 Flutversuche in hexagonaler $p/d = 1,06$ Anordnung

Das Versuchsprogramm der sehr engen hexagonalen Anordnung mit einem Stabmittenabstand zu Stabdurchmesser Verhältnis (p/d) von 1,06 mit Hüllrohren aus Edelstahl und 6 wendelförmigen Rippen als Abstandshalter enthielt 9 auswertbare Zwangsflutversuche sowie 5 Versuche mit Schwerkraftfluten. Dabei wurde die Hüllrohrtemperatur in axialer Bündelmitte zwischen 500 und 800°C zu Flutbeginn und die Stableistung mit 1,4 bzw. 2,8 KW/Stab parametrisiert. Der Massenstrom durch das Bündel wurde bei den Zwangsflutversuchen und dem ersten Schwerkraftflutversuch mit 110 g/s festgelegt, was einer kalten Flutrate von 8 cm/s entspricht. Bei den weiteren 4 Schwerkraftflutversuchen wurde die Flutrate so hoch wie möglich gewählt (520 g/s). Das Ziel war, den maximal möglichen Kühlmitteldurchsatz durch das Bündel zu erreichen. Notkühlwasser sollte durch das Ringraumsimulatorrohr in den Containmentsimulator ausgeworfen werden. Da die Vorwärmerleistung nicht ausreichte, konnte das Flutwasser nur auf etwa 110°C erwärmt werden, d.h. etwa 30 K unter Siedetemperatur.

Tabelle I zeigt die Parametervariationen der 9 Zwangs- und der 5 Schwerkraftflutversuche in der engsten Bündelgeometrie ($p/d=1,06$). Die Versuche FDWR 1.2 und FDWR 1.3 weisen in der Tabelle die gleiche Parameterkombination auf. Sie unterscheiden sich nur ganz geringfügig voneinander, und zwar bezüglich der Leistung des Zentralstabes, der über Transduktor 3 getrennt gesteuert werden kann. Die Leistung für den Zentralstab wurde von Versuch FDWR 1.2 zu FDWR 1.3 geringfügig angehoben, wodurch der Zentralstab denselben Temperaturanstieg in der Aufheizphase wie die ihn umgebenden Stäbe erreichte. Der Versuch FDWR 1.3 war als Standardproblem mit blinder Vorausrechnung ausge-

wählt worden. Die Versuche FDWR 8 und FDWR 9 sind identisch und weisen als Besonderheit unterschiedliche Stableistungen zwischen Außenkranz und Innenbereich des Bündels auf. Die Leistung für die 24 Stäbe des Außenkranzen betrug je 1,4 KW/Stab, wogegen die inneren 37 Stäbe mit je 2,8 KW/Stab beaufschlagt waren.

Die Versuche FDWR 1.3 und FDWR D1 sind die vergleichbare Zwangs- und Schwerkraftflutversuchspaarung. Die Versuche FDWR D2-D5 wurden, wie schon erwähnt, mit einer sehr hohen Flutwassereinspeisung durchgeführt, was dazu führte, daß die Kühlung mit Flutbeginn recht intensiv war, und der Dampf-führungskasten rasch wiederbenetzt wurde. Um diesen Effekt zu kompensieren und die warme Umgebung der Brennstäbe im großen Bündel besser zu simulieren, wurde der Kasten beim Versuch FDWR D5 vor Versuchsbeginn auf 500°C vorgeheizt.

1.3.2 Flutversuche in hexagonaler $p/d = 1,24$ Anordnung

Das Versuchsprogramm in der weiteren hexagonalen Anordnung mit einem p/d -Verhältnis von 1,24 mit Zircaloyhüllrohren und Abstandshaltern enthielt 31 auswertbare Flutversuche (Tabelle II.1/II.2). Die überwiegende Anzahl der Experimente waren Zwangsflutversuche, bei denen die Heizstabtemperatur zu Flutbeginn zwischen 400°C und 700°C, die kalte Flutrate mit 4,5 (4,2) und 2,5 cm/s, die Stableistung mit 1,6, 2,3, 3,0, 3,35 und 3,6 KW/Stab, sowie der Systemdruck mit 4,1 und 2,8 bar parametrisiert wurden.

Die Versuche FDWR 13 und FDWR 18 waren (wie FDWR D5) Schwerkraftflutversuche mit gefülltem Downcomerrohr (50 mm i \varnothing) zu Flutbeginn und einer identischen Flutrate wie die Zwangsflutversuche FDWR 11, bzw. FDWR 16. Da trotz der Druck- und Flüssigkeitoszillationen kein Notkühlwasser über den Ringraumsimulator in den Containmentsimulator ausgeworfen wurde, war die Notkühlwassermenge für die vergleichbaren Zwangs- und Schwerkraftflutversuche gleich groß.

Beim Schwerkraftflutversuch FDWR 14 war das Downcomerrohr zu Flutbeginn ungefüllt. Dafür wurde jedoch der Flutwassermassenstrom so weit erhöht, daß für das Auffüllen der Teststrecke und des Downcomersimulatorrohrs ebenfalls eine kalte Flutrate von 4,2 cm/s erreicht wurde.

Bei den Versuchen FDWR 28 bis FDWR 31 handelt es sich ebenfalls um Schwerkraftflutversuche jedoch mit ungefülltem Downcomerrohr zu Flutbeginn. Dabei wurde der für die Anlage größtmögliche Notkühlwassermassenstrom eingestellt mit dem Ziel, Wasser in den Containmentsimulator auszuwerfen. Es zeigte sich, daß das über die Downcomerhöhe zur Verfügung stehende treibende Druckgefälle ausreichte, um in der weiten Geometrie eine ausreichende Notkühlbarkeit zu gewährleisten.

Bei der Umstellung von der engen auf die weite Bündelanordnung wurde für das Bündel ($p/d = 1,24$) ein Sechskantkasten benötigt, der eine Innenschlüsselweite von 94 mm besitzen mußte. Ein vorhandener sechseckiger Bündelführungskasten von 3 mm Wandstärke und einer Innenschlüsselweite von 98,5 mm sollte jedoch verwendet werden können. Die Lösung mit dem geringsten Aufwand sah folgendermaßen aus (s. Abb. 4):

Der vorhandene stabile Präzisionsführungskasten wurde verwendet. Aus Edelstahlblech von 1 mm wurde ein neuer Sechskantkasten mit einer Schlüsselweite von 96 mm gebogen, so daß die Innenschlüsselweite 94 mm betrug. Durch jeweils 12 Nieten wurde jeder Abstandshalter im Innenkasten (1 mm Wand) auf axialer Position gehalten und durch die 1 mm hohen Nietenköpfe außen am Innenkasten wurde dieser am stabilen 3 mm starken Sechskantkasten zentriert. Im Dampfleitungskastenbereich oberhalb der beheizten Länge, d.h. oberhalb der Abstandshalter, hatten die Nieten nur Distanzhaltefunktion. Zwischen den beiden Sechskantkästen befand sich stagnierender Dampf auf Systemdruck. Da die Teststrecke bzw. die Sechskantkästen direkt nicht beheizt wurden, stellte der eingeschobene 1 mm starke Sechskantkasten thermodynamisch eine Verbesserung dar; verbesserte Wärmeisolation nach außen über den Dampfspalt, geringere Wärmekapazität des durch die Außenstäbe aufzuheizenden Kastens und damit insgesamt eine homogenere Temperaturverteilung im Bündel.

Durch die ersten beiden Experimente mit hoher Flutrate (FDWR 01 und FDWR 02) (Thermoschock) entstanden an den Nieten kleine Lecks am inneren Sechskantkasten. Diese Lecks führten zu Flutwasserverlusten und zur Diskrepanz zwischen Flutwassermassenstrom und Flutwassersteiggeschwindigkeit beim Flutvorgang. Durch Entfernen des unteren Teststreckenbodens konnte die Ursache gefunden werden.

Das Bündel wurde ausgebaut und die Niete am inneren Sechskantkasten dichtgeschweißt.

2. Versuchsanlage

2.1 Brennstabsimulator

Voraussetzung für die Durchführung des Versuchsprogramms war die Bereitstellung eines geeigneten Brennstabsimulators. Basierend auf den Erfahrungen bei der Entwicklung der Brennstabsimulatoren (BSS) für das REBEKA-Programm /4/, wurden neue auf FDWR-Verhältnisse abgestimmte Brennstabsimulatoren entwickelt und gefertigt.

Dazu wurde der im BSS integrierte Heizstab mit einem Außendurchmesser von 6 mm \varnothing beibehalten, die beheizte Länge jedoch auf 2024 mm reduziert und der axiale Leistungsfaktor des cosinusförmigen axialen Leistungsprofils von 1,2 auf 1,3 verändert. Die Gesamtlänge des BSS einschließlich des kalten Ende beträgt 5600 mm.

Abb. 1 zeigt den schematischen Aufbau des BSS. Für die Experimente in der engen p/d-Bündelgeometrie ($p/d=1,06$) konnten die Al_2O_3 -Ringpellets aus der REBEKA-Serie verwendet werden, da der Innendurchmesser des Rippenrohres identisch mit dem der Zircaloy-4-Hüllrohre der Druckwasserreaktorbrennstäbe ist (9,3 mm i \varnothing). Die genaue Geometrie der Rippenrohre ist in Abb. 2 wiedergegeben.

Für die weite hexagonale FDWR-Geometrie war wieder Zircaloy-4 als Hüllrohrmaterial vorgesehen, allerdings ein Hüllrohr, wie es im DWR-Konvoi eingesetzt wird, nämlich mit einem Außendurchmesser von 9,5 mm und einer Wandstärke von 0,6 mm.

Da bei Verwendung dieser Hüllrohre die Al_2O_3 -Ringpellets der DWR-Version nicht mehr verwendet werden konnten und ein Herunterschleifen des Pelletaußendurchmessers von 9,2 auf 8,2 mm bei 6,1 mm Innendurchmesser technische Schwierigkeiten mit sich brachte, wurden Ringpellets aus Stahl verwendet. Die Nennmaße für die Modellierung der Brennstabsimulatoren sind der Abb. 3 zu entnehmen. Die Stoffdaten der verwendeten Materialien sind im Anhang angegeben.

2.2 Bündelaufbau

Bei der engen hexagonalen Bündelgeometrie werden die 61 BSS durch die 6 wendelförmigen Rippen als Abstandshalter in Position gehalten. Die radiale Abstützung der Rippen findet auf Grund der axialen Rippensteigungshöhe von 600 mm alle 100 mm statt.

Das Bündel mit der weiteren hexagonalen Geometrie ($p/d=1,24$) und den Zircaloy-4 Hüllrohren wird durch Wabengitterabstandshalter (Abb. 4) aus Edelstahl (Werkstoff Nr. 4541) in Position gehalten. Der axiale Abstand der Abstandshalter (AH) untereinander beträgt 400 mm; die Abstandshalterhöhe 40 mm. Die Positionierung der Abstandshalter zur beheizten Länge der BSS ist in Abb. 5 wiedergegeben.

Die Bündelgeometrie der beiden Testbündel ist in Abb. 6 dargestellt.

2.3 Teststrecke

Das Bündel ist von einem sechseckigen Bündelführungskasten, der gleichzeitig Strömungsführungskasten ist, umgeben. Das untere beheizte Bündelende befindet sich auf gleicher axialer Höhe wie das untere Ende des Bündelführungskastens. Die für die beiden Bündelgeometrien unterschiedlichen Leerrohrflächen sowie die axialen Längen und ihre Positionierung sind in Abb. 7 angegeben.

Abb. 8 gibt stark vereinfacht den Testkreislauf für die Thermohydraulik- und Hüllrohrverformungsexperimente des FDWR-Programms wieder. Er entspricht in allen wesentlichen Komponenten dem der REBEKA-Bündelexperimente /4/.

2.4 Instrumentierung

2.4.1 Instrumentierung des Bündels

Für die beiden verschiedenen Bündelgeometrien wurden verschiedene Brennstab-simulatoren mit unterschiedlicher Instrumentierung zum Einsatz gebracht. Die Abbildungen 9 bis 11 zeigen die Bündelgeometrie mit Stabdurchmesser und Stabmittenabstand sowie die radiale und axiale Positionierung der Thermoelemente im Bündel.

In den Kreisen der Abb. 9 sind neben den Stabnummern Punkte mit den Zahlen 1, 2 und 3 eingezeichnet, die die azimutale Position der Innenthermoelemente angeben. In der 0,7 mm starken Inconel-600-Hülle des Heizstabs sind 0,36 mm starke Mantelthermoelemente in Nuten eingelegt. Die Thermopaarung ist NiCr/Ni, die Isolierung MgO, die Meßspitze isoliert. Im Bereich der Meßspitze von ca. 30 mm sind die Thermoelemente eingelötet, in der übrigen Nut lediglich verstemmt. Die Normalinstrumentierung sieht drei im Winkel von 120° versetzte Thermoelemente in gleicher axialer Position (Mittellebene) vor.

Die Punkte außen an den Kreisen zeigen Winkelpositionen der Außenthermoelemente an. Zur Messung der Temperaturen der Zircaloyhüllen werden Mantelthermoelemente verwendet, deren vorderes Ende an der Meßspitze mit einer etwa 30 mm langen Platinhülse versehen ist. Es handelt sich dabei ebenfalls um NiCr/Ni-Mantelthermoelemente mit isolierter Meßspitze und einem Außendurchmesser von 0,5 mm, über die jedoch ein Platinröhrchen der Abmessung $0,75 \times 0,12$ mm geschoben und auf einen Enddurchmesser von 0,72 mm heruntergehämmt wird. Dieses Thermoelement wird mit Hilfe einer kleinen Spezialpunktschweißmaschine durch fünf Punktschweißungen im Bereich der Platinhülse auf der Zry-4-Hülle befestigt, wodurch ein enger Kontakt zwischen Brennstabsimulatorhülle, Platinhülse und Thermoelement entsteht. Der Schweißstrom fließt dabei überwiegend durch die Platinhülse ohne das Thermoelement zu beschädigen. Das nach oben bzw. unten aus der Platinhülse austretende Mantelthermoelement wird auf kürzestem Wege in die äußeren Kühlkanäle des Bündels geführt, um zwischen äußerer Stabreihe und der Kastenwand das Bündel zu verlassen.

An Stäben mit nur einem Hüllrohrthermoelement sitzt dieses immer dem Innenthermoelement Ti./1 gegenüber. Die Stäbe Nr. 45, 81 und 103 sind jeweils mit 9 axialen Hüllrohrthermoelementen versehen. Die Winkelzuordnung sowie die axiale Position ist ebenfalls der Abb. 9 zu entnehmen. Das TH 45.5 z.B. sitzt auf dem Stab 45 in Südposition auf der gleichen Mantellinie wie Ti 45.2, jedoch auf der axialen Höhe 1292 mm.

Aus Abb. 10 ist die radiale Positionierung der Thermoelemente des weiteren Bündels ($p/d = 1,24$) zu entnehmen. In diesem Bündel gibt es Heizstäbe mit unterschiedlicher Instrumentierung in den Heizstabhüllen. Der überwiegende Teil der Heizstäbe verfügt über drei um 120° versetzte Innenthermoelemente, die in axialer Mitte angeordnet sind. Die Signale von einem dieser drei Ti's sind auf die Datenerfassung gelegt. Zehn Heizstäbe sind mit sechs Innenthermoelementen verse-

hen, die um 60° versetzt in der Heizstabhülle angeordnet sind. Abb. 10 zeigt die radiale Positionierung. Die axiale Zuordnung ist aus der Abb. 11 zu entnehmen. Sieben Brennstabsimulatoren, ausgestattet mit axial instrumentierten Heizstäben sind mit Hüllrohrthermoelementen versehen, die ebenfalls radial und axial versetzt angeordnet sind. Diese Brennstabsimulatoren sind durch Schraffur gekennzeichnet. Die Winkelposition der TH's zu der der Ti's ist aus Abb. 10 zu entnehmen, und die axiale Anordnung bzw. Bestückung der Brennstabsimulatorhüllen der einzelnen Stäbe ist in Abb. 11 angegeben. Stab 147 besitzt z.B. 6 Ti's und 7 TH's, wobei z.B. TH 147.5 auf der gleichen Winkelposition wie Ti 147.2 zu finden ist und ebenfalls auf der gleichen axialen Höhe von 1212 mm sitzt.

2.4.2 Fluid- und Kastenthermoelemente

2.4.2.1 Fluidthermoelemente im Bündel $p/d = 1,06$

Im sehr engen hexagonalen Bündel mit Rippenrohren befanden sich keine Fluidthermoelemente. Für die Versuche FDWR 6.1, 7.1 und 7.2 wurden jedoch Fluidthermoelemente oberhalb der beheizten Länge des Bündels installiert, da während der ersten Experimente die Dampfaustrittstemperatur aus der Teststrecke (T 2.3) nur Sattdampfwerte zeigte. Zur Klärung der Frage, ob dafür möglicherweise ein Wasserbett oberhalb der beheizten Bündellänge, d.h. an der Querschnittserweiterung vom Rippenrohr auf das 6 mm starke kalte Ende (2345 mm, s. Abb. 7) oder Wärmeverluste im nicht beheizten oberen Ende der Teststrecke verantwortlich sind, wurde das axial tiefste Thermoelement (TF1) 25 mm oberhalb der Strömungsquerschnittserweiterung angebracht. Weitere Fluidthermoelemente TF2 bis TF5 sind an den Fluidifferenzdrucksonden im mittleren Bereich des Bündels an den in der Kanalliste angegebenen axialen Positionen angebracht.

2.4.2.2 Kastenthermoelemente im Bündel $p/d = 1,06$

Der das Bündel umgebende sechseckige Dampfführungskasten (Wandstärke 1 mm, Schlüsselweite 94 mm) ist mit 11 Kastenwandtemperaturen versehen.

Die radiale Anordnung am Bündelkasten ist identisch mit der am Innenkasten der weiten Geometrie (s. Abb. 4).

Im Norden des Bündelkastens befinden sich die Thermoelemente TK1 bis TK4.1 und TK5 bis TK9 auf einer Mantellinie und um 120° versetzt jeweils TK4.2 und

TK4.3. Die axiale Positionierung ist aus der Kanalliste (KAN 216-226) zu entnehmen.

2.4.2.3 Fluidthermoelemente im Bündel $p/d = 1,24$

Fluidthermoelemente mit einem Außendurchmesser von 0,5 mm (Mantelthermoelemente NiCr/Ni mit isolierter Spitze) sind mit Laschen an verschiedenen Abstandshaltern befestigt und zwar an zwei verschiedenen Stabpositionen (Stabposition 145 und 147). Die Anordnung dieser beiden Stabpositionen im Bündel sowie die Positionierung der Fluidthermoelemente an den Gitterabstandshaltern ist aus Abb. 4 zu entnehmen. Abb. 5 zeigt die axiale Anordnung der Fluidthermoelemente. Die Abstandshalter AH3 bis AH6 sind an den angegebenen Stabpositionen mit je 2 Fluidthermoelementen versehen, und zwar 20 mm oberhalb der Abstandshalteroberkante und 20 mm unterhalb der Abstandshalterunterkante. Die Bezeichnung der Fluidthermoelemente lautet z.B. AH4.147u. Das bedeutet, das TE sitzt 20 mm unterhalb des Abstandshalters AH4 (axiale Höhenposition: 1212 mm (s. Abb. 5), auf Stabposition 147, und zwar auf Winkelposition 7 (s. Abb. 4).

2.4.2.4 Kastenthermoelemente im Bündel $p/d = 1,24$

Die radiale Anordnung der Kastenthermoelemente sowie die Abmessungen und Wandstärken der beiden Sechskantkästen ist in Abb. 4 angegeben. Die axiale Positionierung ist aus der Kanalliste (KAN. 185 – 195) zu entnehmen.

2.4.3 Instrumentierung des Testkreislaufs

Abb. 12 zeigt das Schaltbild des Testkreislaufs mit Temperatur-, Druck-, Niveau- und Durchflußmeßstellen.

2.4.4 Höhenstandsmessung (N5) im Wasserauswurfsammeltank

Bei den Versuchen FDWR01 – FDWR10 ist das Meßsignal der Höhenstandsanzeige im Wasserauswurfsammeltank (Meßstelle N5, Meßkanal 272) von Störspannungen überlagert, so daß eine Auswertung bezüglich des unverdampft durch das Bündel ausgeworfenen Wassers schwer möglich ist. Die Ursache konnte auch trotz intensiver Nachforschungen nicht gefunden werden. Ab Versuch FDWR 11 bis FDWR 31 ist die Aufzeichnung dieses Meßsignals wieder völlig in Ordnung.

Grundsätzlich muß jedoch auf eine Schwierigkeit hingewiesen werden, die bei allen FDWR-Versuchen auftritt, nämlich die unverdampft durch das Bündel ausgeworfene Wassermasse (carry over water) richtig zu bestimmen.

Im Falle des weiten hexagonalen Bündels ($p/d = 1,24$) sieht die Situation folgendermaßen aus:

Das Bündel ist von einem sechskantigen Dampfführungskasten mit einer Schlüsselweite von 96 mm und einer Wandstärke von 1 mm umgeben. Im beheizten Bereich haben die Brennstabsimulatoren einen Außendurchmesser von 9,5 mm, woraus sich eine freie Strömungsfläche von 33,36 cm² ergibt. Im unbeheizten oberen Teil der Brennstabsimulatoren reduziert sich der Stabdurchmesser auf 6 mm Außendurchmesser, wodurch sich der freie Strömungsquerschnitt auf 59,35 cm², also um den Faktor 1,78 erweitert. Das bedeutet, daß die Dampfgeschwindigkeit auf 56% zurückgeht und größere Tropfen nicht weiter nach oben ausgetragen werden. Diese können je nach Versuchsrandbedingungen ein Wasserbett im Bereich der Querschnittserweiterung bilden. Da die Dampftemperatur am Austritt aus der beheizten Zone noch deutliche Überhitzung zeigt (etwa 300 – 400 K) findet eine Nachverdampfung von Wasser aus dem Wasserbett statt, bzw. kleinere Tropfen verdampfen auf dem Weg durch den unbeheizten Teil des Bündels weiter. Dies bedeutet, daß die gemessene ausgeworfene Wassermenge auf jeden Fall kleiner ist als die, die am oberen beheizten Bündelende tatsächlich als unverdampft aus dem Bündel ausgeworfenes Wasser ankommt. Um wieviel kleiner, ist jedoch nur sehr schwer abzuschätzen, da neben den kalten Stabenden von 6 mm Ø etwa 200 Stück 0,36 mm starke Mantelthermoelemente nach oben aus der Teststrecke herausgeführt werden. Im beheizten Bereich sind diese Thermolemente in der Heizstabhülle eingebettet, also im Brennstabsimulator geführt und bringen keinerlei thermische oder thermodynamische Beeinflussung. Oberhalb der beheizten Zone tragen sie jedoch zu einer Vergrößerung der Wärmeaustauschoberfläche bei, d.h. zur Nachverdampfung des aus dem Bündel ausgeworfenes Flutwasser.

Tropfen, die schließlich im Teststreckenkopf ankommen, werden auf zweierlei Wegen abgeschieden und gesammelt. Größere Tropfen durch Schwerkraft im Teststreckenkopf, kleine Tropfen durch Fliehkraft im Zyklonabscheider des Wasserauswurfsammeltanks (s. Abb. 14). Die Gesamtquerschnittsfläche von 395,9 cm² des zu füllenden Sammelbehälters setzt sich aus der Behälterquerschnittsfläche selbst sowie den Flächen des Wasserstandsanzeigers (2.1) und des schrägen Zulaufrohres (2.2) zusammen.

2.4.5 Angaben zur Meßgenauigkeit

Die Angaben zur Meßgenauigkeit können dem REBEKA-Abschlußbericht /4/ entnommen werden.

Die im FLORESTAN-Experiment verwendete Meßtechnik ist weitestgehend identisch mit der der REBEKA-Experimente.

2.5 Stromversorgung

Die Stromversorgung erfolgt ebenfalls wie bei REBEKA durch 3 Leistungstransduktoren, zwei dreiphasige 600 KVA- sowie einen kleineren einphasigen 200 KVA-Transduktor.

Bei Transduktor I ist jede Phase mit je 8 Stäben des Außenkranzes und bei Transduktor II mit je 12 Stäben des Innenbereiches belastet. Der Zentralstab wird vom Transduktor III gespeist. Abb. 13 zeigt die Beschaltung der einzelnen Transduktorphasen.

2.6 Leistungsabgleich der Brennstabsimulatoren

Der Leistungsabgleich der einzelnen Stäbe des 61 Stab-Bündels erfolgte analog der Beschreibung in /4/, und zwar waren dabei 3 Iterationsschritte notwendig, bis die Innentemperaturen bei 550°C eine Abweichung von weniger als ± 3 K zeigten. Die Abgleiche fanden in stagnierender Wasserdampfatmosfera statt.

2.7 Versuchsablauf

2.7.1 Zwangsflutversuche

Ventil 7.2 in Abb. 8, welches die Teststrecke (1) und den Containmentsimulator (3) über das Ringraumsimulatorrohr miteinander verbindet, ist geschlossen. Der Dampfkessel (10) hält die Versuchsanlage auf einem Systemdruck von 0.4 MPa bei einer Dampftemperatur von etwa 150°C. Die dick ausgezogenen Striche, mit dem Symbol ⊕ markiert, geben die Dampfströmung in der Wiederauffüllphase des unteren Plenums (=Aufheizphase) an. In einem Wasserkreislauf (dünn gezogene Linie) wird das Notkühlwasser dem Kondensator (6) bzw. dem Speisewasserbehälter (7) entnommen und auf die gewünschte Flutwassertemperatur (Vorwärmer (9)) gebracht. Die Flutwassermenge wird durch Ventil 6.1 eingestellt. Ventil

7.4 wird nun so eingeregelt, daß der Wasserstand in der Teststrecke am unteren Ende des zu beheizenden Bündels konstant steht und zusätzlich ein geringer Dampfstrom, der das Bündel von oben nach unten durchströmt, die Teststrecke wieder verlassen kann. Der Dampfstrom soll während der Testvorbereitungsphase Wärmeverluste über die unbeheizte Teststreckenwand kompensieren, so daß in der Teststrecke selbst eine nahezu stagnierende Dampfatmosphäre herrscht. Sobald in der Anlage thermischer Gleichgewichtszustand herrscht, wird die Leistung auf das Bündel zugeschaltet. Bei Erreichen einer gewünschten Hüllrohrtemperatur in axialer Bündelmitte, wird das Ventil 7.4 geschlossen und das Flutwasser dringt nun in das heiße Bündel ein. Die Heizleistung bleibt konstant und wird erst nach Wiederbenetzen des oberen Bündelendes abgeschaltet. Die Dampfblasenproduktion bricht zusammen und das Bündel wird nun geflutet. Der Versuch ist damit beendet und die Datenerfassung wird abgeschaltet.

2.7.2 Schwerkraftflutversuche

Für die FLORESTAN-Experimente mit Schwerkraftfluten wurde ein Ringraum-simulator (RRS) (Rohr 50 mm i Ø) parallel zur Bündelteststrecke installiert. Im RRS kann sich eine Wassersäule von bis zu etwa 5 m Höhe als treibendes Druckgefälle für die Bündeleinspeisung aufbauen mit der Möglichkeit von Flüssigkeitsoszillationen zwischen RRS und Teststrecke. Abhängig von den sich im Bündel einstellenden zweiphasigen Strömungsdruckverlusten und der Dynamik der Oszillationen kann Notkühlwasser sowohl über den RRS in den Containmentsimulator als auch durch das Bündel hindurch in den Wassersammeltank ausgeworfen werden. Diese Wassermengen stehen dann für die Kühlung der Brennstabsimulatoren nicht zur Verfügung.

2.7.2.1 mit gefülltem Downcomerrohr (RRS)

Für den unmittelbaren Vergleich zwischen Zwangs- und Schwerkraftflutversuchen wurden die gleichen maximalen Hüllrohrtemperaturen zu Flutbeginn und die gleichen Flutwassermassenströme gewählt. Bei dieser Art von Schwerkraftflutversuchen wurde der RRS jedoch vor Versuchsbeginn mit heißem Flutwasser bis zur Höhe des Teststreckenüberlaufs aufgefüllt und Ventil 7.2 geschlossen.

Die übrigen Versuchsvorbereitungen sind identisch mit denen beim Zwangsfluten. Lediglich zu Flutbeginn wird gleichzeitig mit dem Schließen des Flutventils

7.4 das Ventil 7.2 geöffnet und damit die Teststrecke mit dem Ringraumsimulator zu einem System "kommunizierender Röhren" verbunden.

2.7.2.2 mit leerem Downcomerrohr (RRS)

Schwerkraftflutversuche mit wesentlich höherer Flutwassereinspeiserate von bis zu 520 g/s dienten dem Ziel, das maximal mögliche, treibende Druckgefälle für den Kühlmitteldurchsatz durch das Bündel zu erreichen, d.h. der RRS sollte sich bis zum Überlauf in den Containmentsimulator innerhalb von 50 - 100 Sekunden auffüllen. Der Versuch wurde daher mit leerem RSS gestartet. Der einzige Unterschied zu den Zwangsflutversuchen bestand im offenen Ventil 7.2 während des gesamten Versuchsablaufs, auch während der Testvorbereitungsphase.

3. Ergebnisse

Wie in der Zielsetzung des Berichts angegeben, sollen die hier mitgeteilten Ergebnisse lediglich dazu dienen, dem Theoretiker, der experimentelle Daten für das Testen und Verbessern von Rechenprogrammen zum Fluten in hexagonalen Bündelanordnungen benötigt, rasch geeignete Experimente herauszufinden.

Dazu dienen die Tabellen I und II sowie die Kurvendarstellungen der Innentemperaturen in axialer Bündelmitte ohne Stäbe des Außenkranzes, die Kurvendarstellung des Verlaufs des Gesamtdruckverlusts über das Testbündel sowie des zeitlichen Verlaufs der axialen Hüllrohrtemperaturen.

Ergebnisdiskussionen sowie vergleichende Bewertungen von Experimenten mit unterschiedlicher Bündelgeometrie und Zwangs- bzw. Schwerkraftfluten liegen in einer Anzahl von Veröffentlichungen vor /5/ bis /16/.

Die Abbildungen 15 bis 28 zeigen Ergebnisse der engen Bündelgeometrie $p/d = 1,06$.

Die Abbildungen 29 bis 90 zeigen Ergebnisse der weiten Bündelgeometrie $p/d = 1,24$.

Tabelle I: FLORESTAN-Flutversuche $p/d=1,06$

Versuchs-Nr.	Heizstabtemperatur zu Flutbeginn °C	kalte Flutrate cm/s	Flutwasser-massenstrom g/s	Stableistung kW/St.	Systemdruck bar	Aufzeichnungsdauer s	Flutbeginn s ¹⁾	Bemerkungen
FDWR 1.2	500	8,1	110	2,8	4,1	>420	70	Zwangsflutversuche freie Strömungsflächen im Bündel: 14,52 cm ² Wassertemperatur: 130°C
FDWR 1.3	500	8,1	110	2,8	4,1	>420	70	
FDWR 2.1	600	8,1	110	2,8	4,1	>420	77	
FDWR 3.1	700	8,1	110	2,8	4,1	>420	110	
FDWR 4.1	700	8,1	110	1,4	4,1	>420	214	
FDWR 5.1	800	8,1	110	1,4	4,1	>540	256	
FDWR 6.1	800	8,1	110	2,8	4,1	>523	132	
FDWR 7.1	800	8,1	110	1,4/2,8	4,1	>523	134	
FDWR 7.2	800	8,1	110	1,4/2,8	4,1	>523	132	
FDWR D1	500	16,0	110	2,8	4,1	950	62	Schwerkraftfluten mit gefülltem Downcomerrohr Wassertemperatur: 130°C
FDWR D2	500	16,0	520	2,8	4,1	330	65	Schwerkraftfluten mit leerem Downcomerrohr zu Flutbeginn
FDWR D3	600	16,0	520	2,8	4,1	485	89	Freie Strömungsfläche im Bündel mit Downcomerrohr:
FDWR D4	700	16,0	520	2,8	4,1	580	108	14,52 + 19,63 = 34,15 cm ²
FDWR D5	600*	16,0	520	2,8	4,1	640	9,6	Wassertemperatur: 110°C

*Kasten auf 500°C vorgewärmt

- 1) Versuchsbeginn (= Leistungszuschaltung) ist auf Zeitskala auf 0 gesetzt.
Flutbeginn bei Versuch FDWR 1.2: 70 s (Zeit von Versuchsbeginn (nicht Beginn der Datenaufzeichnung) bis Flutbeginn)

Tabelle II.1: FLORESTAN-Flutversuche $p/d = 1,24$

Versuchs-Nr.	Heizstabtemperatur zu Flutbeginn °C	kalte Flutrate cm/s	Flutwassermassenstrom g/s	Stableistung kW/St. 1)	Systemdruck bar	Aufzeichnungsdauer s	Flutbeginn s 2)	Bemerkungen
								Flutwassertemperatur bei 4,1 bar Systemdruck: 130°C
FDWR 01	500	8,1	252	2,3	4,1	393	84,1	Vergleich zur engeren Geometrie $p/d = 1,06$ über hohe Flutrate: 8,1 cm/s
FDWR 02	600	8,1	255	2,3	4,1	409	109,6	"
FDWR 03	500	4,2	140 3)	1,6	4,0	484	119,2	vorgesehene kalte Flutrate: 4,5 cm/s 2)
FDWR 04	500	4,2	140 3)	1,6	4,0	403	122,0	Wiederholung von 03, da abwärtsgerichtete Dampfströmung bei 03 etwas zu hoch. Ergebnisse sind jedoch nahezu identisch.
FDWR 05	500	4,2	140 3)	2,3	4,1	480	89,5	
FDWR 06	400	4,2	140 3)	3,6	4,1	382	53	
FDWR 07	500	4,5	150 4)	2,3	4,1	418	83	Vorausrechnungen wurden mit 4,5 cm/s kalter Flutrate durchgeführt (sonst wie FDWR 05)
FDWR 08	500	4,5	150 4)	3,6	4,1	468	58,8	"
FDWR 09	500	4,5	150 4)	3,6	2,8	640	66,0	Systemdruckeinfluß 2,8 bar (120°C Flutwassertemperatur)
FDWR 10	600	4,5	150 4)	3,6	4,1	556	87,3	
FDWR 11	500	4,2	140	3,0	4,1	435	64,4	Vers. 11-15 mit 3 KW/Stab zur Vergleichsmöglichkeit mit REBEKA
FDWR 12	600	4,2	140	3,0	4,1	493	76,7	
FDWR 13	500	4,2	140	3,0	4,1	450	64,2	Schwerkraftfluten: mit gefülltem Downcomerrohr zu Flutbeginn. Direkter Vergleich zu Versuch FDWR 11 (Zwangsfaluten)
FDWR 14	500	4,2	218	3,0	4,1	351	58,5	Downcomerrohr leer zu Flutbeginn. Um 4,2 cm/s zu erreichen, wurden 218 g/s Flutwassermassenstrom benötigt

Tabelle II.2: FLORESTAN-Flutversuche $p/d = 1,24$

Versuchs-Nr.	Heizstabtemperatur zu Flutbeginn °C	kalte Flutrate cm/s	Flutwassermassenstrom g/s	Stableistung kW/St.	Systemdruck bar	Aufzeichnungsdauer s	Flutbeginn s	Bemerkungen
FDWR 15	500	4,2	146 5)	3,0	4,1	412	60,0	146 g/s wurden benötigt, um 4,2 cm/s kalte Flutrate zu erhalten. Ursache wird gesucht und behoben
FDWR 16	600	4,4	135	3,35	4,1	507	82,0	Vergleichsversuche zur engeren Geometrie $p/d = 1,06$ auf Basis gleicher Corevolumenleistung
FDWR 17	500	4,5	135	3,35	4,1	469	65,7	"
FDWR 18	500	4,5	140	3,35	4,0	497	59,4	wie FDWR17, jedoch <u>Schwerkraftflutversuch</u> mit gefülltem Downcomerrohr
FDWR 19	500	2,5	78	1,6	4,1	602	128,0	niedrige kalte Flutrate
FDWR 20	600	2,5	78	1,6	4,1	631	139,2	"
FDWR 21	700	2,5	78	1,6	4,1	607	166,9	"
FDWR 22	400	2,5	78	2,3	4,1	471	66,3	"
FDWR 23	500	2,5	78	2,3	4,1	671	85,4	"
FDWR 24	600	2,5	78	2,3	4,1	839	107,7	"
FDWR 25	500	2,5	78	1,6	4,1	469	112,6	Wiederholung von Versuch 19
FDWR 26	500	2,5	78	1,6	2,8	442	116,3	Systemdruckeinfluß 2,8 bar (120°C Flutwassertemperatur)
FDWR 27	500	2,5	78	2,3	2,8	870	87,9	"
FDWR 28	500	5,8	280	3,0	4,1	474	68,2	Schwerkraftflutversuche mit leerem Downcomerrohr und maximal möglichem Flutwassermassenstrom
FDWR 29	600	4,5	280	3,0	4,1	368	82,7	"
FDWR 30	600	4,5	280	3,0	4,1	348	86,7	"
FDWR 31	700	5,8	280	3,0	4,1	379	102,6	"

Kommentare zu Tabelle II

- 1) Die in der Tabelle II angegebenen Stableistungen sind in der Rechnung zugrunde zu legen. Sie stimmen nicht mit den Meßwerten auf den Leistungskanälen L1 – L7 (Kan. 273 – 279) überein.

Die Kanäle 273, 274 und 275 geben die Leistung der Phasen 1, 2 und 3 des Transduktors I an. Jede Phase ist mit 8 Stäben des Außenkranzes belegt (s. Abb. 13).

Die Kanäle 276, 277 und 278 geben die Leistung der Phasen 1, 2 und 3 des Transduktors II an. Jede Phase ist mit 12 Stäben belegt.

Kanal 279 zeigt die Leistung des Zentralstabes.

Da die Innenwiderstände der 61 Heizstäbe nicht völlig identisch sind, erfolgt vor Beginn einer Versuchsreihe ein sog. Leistungsabgleich [4]. Dabei werden die einzelnen Stäbe mit Vorwiderständen versehen, damit die Leistung der einzelnen Stäbe untereinander gleich wird. Dies bedeutet, daß die Leistungskanäle Bruttoleistungen anzeigen, die sich aus der Nettostableistung (maßgeblich für die Rechnung), der Leistung des kalten Stabendes sowie der Leistung des Abgleichswiderstandes zusammensetzen und zwar jeweils als Summe der Bruttoleistungen von 8 bzw. 12 Brennstabsimulatoren. Zusätzlich werden die Außenstäbe mit einer geringfügig höheren Leistung beaufschlagt, um Wärmeverluste an den nicht beheizten Bündelführungskasten und die Teststrecke zu kompensieren.

Der Unterschied zwischen Brutto- und Nettogleistung ist abhängig von der Stabposition im Bündel und der Höhe der Nettogleistung, z.B.:

Beispiel 1:

	Außenstäbe	Innenstäbe	Zentralstab
Nettleistung	3,6 KW/St	3,6 KW/St	3,6 KW
Wärmeverluste	0,2 KW/St	--	--
Abgleichs- widerstand	0,15 KW/St	0,15 KW/St	--
Bruttolleistung	3,95 KW/St	3,75 KW/St	3,6 KW

Beispiel 2:

	Außenstäbe	Innenstäbe	Zentralstab
Nettleistung	2,3 KW/St	2,3 KW/St	2,3 KW
Wärmeverluste	0,2 KW/St	--	--
Abgleichs- widerstand	0,1 KW/St	0,1 KW/St	--
Bruttolleistung	2,6 KW/St	2,4 KW/St	2,3 KW

Die angegebenen Stableistungskorrekturen für Wärmeverluste und Abgleichswiderstände sind Mittelwerte und können von Stab zu Stab voneinander abweichen. Wichtig ist nur, daß die Aufheizrampe der einzelnen Stäbe im Bündel möglichst gleich groß ist, so daß zum Flutbeginn mindestens im heißen Bereich eine homogene Temperaturverteilung im Bündel vorherrscht.

- 2) In den Datensätzen auf der IBM-Platte ist die Zeitskala verschoben. Der Flutbeginn der einzelnen Experimente ist auf 0 Sekunden gesetzt; z.B. Flutbeginn bei Versuch FDWR01: 84,1 s (=Zeit von Datenaufzeichnungsbeginn bis Flutbeginn).

Anmerkung:

Für die Experimente FDWR 03 – FDWR 14 ist der Flutwassermassenstrom mit 0.9344 zu korrigieren. Bei einer freien Strömungsfläche von 33,33 cm² im Bündel ergibt sich mit dem korrigierten Flutwassermassenstrom die angegebene kalte Flutrate, z.B:

$$w \text{ [cm/s]} = \frac{m_w \text{ [g/s]} \cdot 0,9344 \cdot \rho \text{ [cm}^3\text{/g]}}{F \text{ [cm}^2\text{]}}$$

$$w = \frac{140 \cdot 0,9344 \cdot 1,07}{33,33} = 4,2 \text{ cm/s} .$$

d.h., wenn im Rechenprogramm der Flutwassermassenstrom und der freie Strömungsquerschnitt eingegeben werden, muß der Flutwassermassenstrom mit 0,9344 multipliziert werden. Bei Eingabe der kalten Flutrate ist der angegebene Wert der Tabelle einzusetzen.

Für die Experimente FDWR 03 bis FDWR 14 ergab sich für den Massenstrom ein konstanter Verlustfaktor von 0,9344. Dies wurde durch die Bestimmung der kalten Flutrate, wie unter 3 angegeben, festgestellt. Beim Einsetzen des Flutwassermassenstroms ergeben sich mit der oben angegebenen Korrektur die korrekten Flutbedingungen.

- 3) Die eingestellte Flutwassermenge von 140 g/s bei 4 bar und 130°C Flutwassertemperatur ergibt bei einem freien Strömungsquerschnitt von 33,33 cm² im Bündel rechnerisch eine kalte Flutwassersteiggeschwindigkeit von 4,5 cm/s (kalt heißt: Bündelstäbe sind nicht beheizt).

Kalte Flutrate: Vor jedem Experiment wird das kalte Bündel ($\approx 150^\circ\text{C}$ bei 4 bar) mit Notkühlwasser geflutet (130°C, 4 bar $\rightarrow \rho = 1,07 \text{ cm}^3/\text{g}$). Dabei wird mit der Datenerfassung der Flutwassermassenstrom (D6) sowie der steigende Wasserspiegel im Bündel gemessen (N2).

Der aus dieser Messung bestimmte Wert der kalten Flutrate betrug jedoch nur 4,2 cm/s, war jedoch genau reproduzierbar und konstant.

- 4) Die Experimente FDWR 07 bis FDWR 10 wurden vorausberechnet, wobei ein Wert von 4,5 cm/s für die kalte Flutwassersteiggeschwindigkeit in die Rechnung eingegeben war.
- 5) Bei der Bestimmung der kalten Flutrate für Versuch FDWR 15, der eine Duplizierung des Versuchs FDWR 11 sein sollte, wurde eine erhöhte Flutwassermenge von 146 g/s benötigt, um die gewünschten 4,2 cm/s zu erreichen.

Dies bedeutete, daß ein bisher unbekanntes, vorhandenes, aber konstantes Leck größer geworden war. Die Ursache wurde gesucht, gefunden und beseitigt.

3.1 Datenaufnahme und -handhabung

a) Meßdatenaufnahme

Die Übertragungskette für die von den Meßfühlern (Thermoelemente, Druckgeber, etc.) gelieferten Werte sieht wie folgt aus:



Die Meßwerte werden von dem Programm NEFF mit einer Taktfrequenz von 10 Hz abgefragt und auf eine Platte geschrieben. Die Meßdaten sind auf der Platte in Form von 2 byte Worte à 8 bit als integer-Daten abgelegt, wobei maximal 15 bit für die Zahlendarstellung verwendet werden können.

b) Meßdatenverarbeitung

Die Weiterverarbeitung dieser Meßdaten erfolgt in zwei weiteren Schritten.

Im ersten Schritt werden die Daten von der PDP 11-Platte ausgelesen und mittels des Programmes DKSIBM in IBM-kompatibler Form unformatiert auf ein Magnetband kopiert.

Auf diesem IBM-Band stehen die Meßdaten in folgender Form:

Tabelle III

Name	Datentyp	Bezeichnung	Anzahl Worte	Anmerkung
NKAN	integer	Anzahl der Meßkanäle	1	mit Wert 0 belegt
NSCN	"	Anzahl der Scan's	1	
NBLK	"	Anzahl der Datenblöcke	1	
NVR	"	Versuchsnummer	1	
NLFD	"	laufende Versuchsnummer	1	
ITAG	"	Datum: Tag	1	
IMNT	"	Datum: Monat	1	
IJAR	"	Datum: Jahr	1	
TEXT	real	Kennzeichnungstext des Versuches	4	} Leerwort
ZEIT	real	Meßzeit	1	} NSCN-mal
WERT	real-array	Meßwerte (wie in NKAN angegeben) z.Zeitpunkt ZEIT	NKAN	

Die Größen ZEIT und WERT (NKAN-mal) stehen NSCN-mal hintereinander auf dem IBM-Band.

In einem zweiten Verarbeitungsschritt werden die auf dem IBM-Band in der oben beschriebenen Form gespeicherten Daten auf den Plattenspeicher des IBM-Rechners übertragen.

Dazu wird das Programmsystem DAS.FORT und zwar das darin enthaltene Unterprogramm PLATTE eingesetzt. Das Unterprogramm PLATTE liest das IBM-Band und schreibt die Werte in den Plattenspeicher des IBM-Rechners.

Auf der Platte sind nun die Daten mit folgenden 'qualifier' abgespeichert, wie das Beispiel in Tabelle IV zeigt.

Tabelle IV:

DATA SET NAME: IRB229.FDWR1D.DATA

GENERAL DATA:		CURRENT ALLOCATION:	
Volume serial:	IRB001	Allocated Cylinders	16
Device type:	3390	Allocated extents:	1
Organization:	PS		
Record format:	VBS		
Record length:	32768		
Block size:	19069	CURRENT UTILIZATION:	
Ist extent Cylinders:	16	Used Cylinders;	16
Secondary Cylinders:	1	Used Extents:	1
Creation data:	1988/03/24		
Expiration date:	**NONE**		

Die Versuchsdaten können nun mit entsprechenden Programmen weiterverarbeitet werden.

Für den Fall, daß der Benutzer der Meßwerte eine andere Datenstruktur benötigt wie sie in Tabelle III dargestellt ist, so kann er dieses durch den Aufruf eines Wandlerprogrammes IRB229.TRANSPI.FORT erreichen.

3.2 Bandbelegung, Kanalliste und Datenzuordnung

3.2.1 Für $p/d = 1,06$ -Bündelgeometrie

Bandbelegung und Datensatznamen für die FDWR-Flutversuche $p/d = 1,06$

Bandbezeichnung	File Nr.	Versuchsbezeichnung	Name des Datensatzes im IBM-Speicher	Speicherplatzbedarf (Plattenspuren)
229FD1	3	FDWR 1.2	IRB229.FDWR1B.DATA	132
"	4	FDWR 1.3	IRB229.FDWR1C.DATA	158
"	5	FDWR 2.1	IRB229.FDWR2A.DATA	130
229FD2	2	FDWR 4.1	IRB229.FDWR4A.DATA	163
"	4	FDWR 5.1	IRB229.FDWR5A.DATA	190
229FD3	1	FDWR 3.1	IRB229.FDWR3A.DATA	126
"	2	FDWR 6.1	IRB229.FDWR6A.DATA	182
"	3	FDWR 7.1	IRB229.FDWR7A.DATA	178
"	4	FDWR 7.2	IRB229.FDWR7B.DATA	161
229FD6	1	FDWR D1	IRB229.FDWR1D.DATA	240
"	2	FDWR D2	IRB229.FDWR2D.DATA	84
"	3	FDWR D3	IRB229.FDWR3D.DATA	123
"	4	FDWR D4	IRB229.FDWR4D.DATA	124
229FD5	1	FDWR D5	IRB229.FDWR5D.DATA	162

Kanalliste und Datenzuordnung für die FDWR-Flutversuche $p/d = 1,06$

Kanal Nr.	Bezeichnung	Datenzuordnung und Meßstellenangaben	Einheit	Anmerkung
24	TV/3	Vergleichstemperatur Kupferplatte	°C	
25	T2.1	Temperatur unteres Teststreckenplenum	°C	
26	T2.2W	Temperatur oberes Teststreckenplenum West	°C	
27	T2.2N	Temperatur oberes Teststreckenplenum Nord	°C	
28	T2.3	Dampfaustrittstemperatur Teststrecke	°C	
29	T6	Temperatur Flutwasser	°C	
30	Ti9.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 9	°C	
31	Ti9.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 9	°C	
32	Ti9.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 9	°C	
33	TH9	Hüllrohrtemperatur Stab 9 bei 1012 mm	°C	
34	Ti10.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 10	°C	
35	Ti15.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 15	°C	
36	Ti18.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 18	°C	
37	Ti26.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 26	°C	
38	Ti34.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 34	°C	
39	Ti36.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 36	°C	
40	Ti36.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 36	°C	
41	Ti36.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 36	°C	
42	TH36	Hüllrohrtemperatur Stab 36 bei 1012 mm	°C	
43	Ti37.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 37	°C	
44	Ti39.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 39	°C	
45	Ti43.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 43	°C	
46	Ti50.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 50	°C	
47	Ti51.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 51	°C	
48	Ti76.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 76	°C	
49	Ti79.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 79	°C	
50	Ti80.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 80	°C	
51	Ti82.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 82	°C	
52	Ti83.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 83	°C	
53	Ti83.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 83	°C	
54	Ti83.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 83	°C	
55	TH83	Hüllrohrtemperatur Stab 83 bei 1012 mm	°C	
56	Ti84.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 84	°C	
57	Ti85.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 85	°C	
58	Ti95.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 95	°C	
59	Ti96.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 96	°C	
60	Ti96.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 96	°C	
61	Ti96.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 96	°C	
62	TH96	Hüllrohrtemperatur Stab 96 bei 1012 mm	°C	
63	Ti97.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 97	°C	

Kanalliste und Datenzuordnung für die FDWR-Flutversuche $p/d = 1,06$

Kanal Nr.	Bezeichnung	Datenzuordnung und Meßstellenangaben	Einheit	Anmerkung
64	Ti98.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 98	°C	
65	Ti98.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 98	°C	
66	Ti98.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 98	°C	
67	TH98	Hüllrohrtemperatur Stab 98 bei 1012 mm	°C	
68	Ti99.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 99	°C	
69	Ti7.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 7	°C	
70	Ti7.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 7	°C	
71	Ti7.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 7	°C	
72	TH7	Hüllrohrtemperatur Stab 7 bei 1012 mm	°C	
73	Ti14.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 14	°C	
74	Ti14.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 14	°C	
75	Ti14.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 14	°C	
76	Ti17.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 17	°C	
77	Ti17.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 17	°C	
78	Ti17.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 17	°C	
79	Ti25.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 25	°C	
80	Ti25.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 25	°C	
81	Ti25.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 25	°C	
82	Ti27.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 27	°C	1)
83	Ti27.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 27	°C	
84	Ti27.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 27	°C	
85	Ti29.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 29	°C	
86	Ti29.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 29	°C	
87	Ti29.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 29	°C	
88	Ti33.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 33	°C	
89	Ti33.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 33	°C	
90	Ti33.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 33	°C	
91	Ti100.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 100	°C	
92	Ti100.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 100	°C	
93	Ti100.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 100	°C	
94	TH100	Hüllrohrtemperatur Stab 100 bei 1012 mm	°C	
95	Ti44.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 44	°C	
96	Ti44.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 44	°C	
97	Ti44.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 44	°C	
98	Ti45.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 45	°C	
99	Ti45.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 45	°C	
100	Ti45.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 45	°C	
101	TH45.1	Hüllrohrtemperatur Stab 45 bei 12 mm	°C	
102	TH45.2	Hüllrohrtemperatur Stab 45 bei 612 mm	°C	
103	TH45.3	Hüllrohrtemperatur Stab 45 bei 812 mm	°C	

Kanalliste und Datenzuordnung für die FDWR-Flutversuche $p/d = 1,06$

Kanal Nr.	Bezeichnung	Datenzuordnung und Meßstellenangaben	Einheit	Anmerkung
104	TH45.4	Hüllrohrtemperatur Stab 45 bei 1012 mm	°C	
105	TH45.5	Hüllrohrtemperatur Stab 45 bei 1212 mm	°C	
106	TH45.6	Hüllrohrtemperatur Stab 45 bei 1412 mm	°C	
107	TH45.7	Hüllrohrtemperatur Stab 45 bei 1612 mm	°C	
108	TH45.8	Hüllrohrtemperatur Stab 45 bei 2012 mm	°C	
109	TH45.9	Hüllrohrtemperatur Stab 45 bei 3200 mm	°C	
110	Ti47.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 47	°C	
111	Ti47.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 47	°C	
112	Ti47.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 47	°C	
113	Ti48.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 48	°C	
114	Ti48.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 48	°C	
115	Ti48.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 48	°C	
116	Ti49.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 49	°C	
117	Ti49.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 49	°C	
118	Ti49.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 49	°C	
119	Ti52.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 52	°C	
120	Ti52.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 52	°C	
121	Ti52.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 52	°C	
122	Ti54.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 54	°C	
123	Ti54.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 54	°C	
124	Ti54.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 54	°C	3)
125	Ti56.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 56	°C	
126	Ti56.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 56	°C	
127	Ti56.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 56	°C	
128	TH56	Hüllrohrtemperatur Stab 56 bei 1012 mm	°C	
129	Ti58.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 58	°C	
1030	Ti58.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 58	°C	
131	Ti58.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 58	°C	
132	Ti59.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 59	°C	3)
133	Ti59.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 59	°C	
134	Ti59.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 59	°C	
135	Ti60.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 60	°C	
136	Ti60.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 60	°C	
137	Ti60.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 60	°C	
138	TH60	Hüllrohrtemperatur Stab 60 bei 1012 mm	°C	
139	Ti64.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 64	°C	
140	Ti64.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 64	°C	
141	Ti64.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 64	°C	
142	Ti65.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 65	°C	
143	Ti65.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 65	°C	

Kanalliste und Datenzuordnung für die FDWR-Flutversuche $p/d = 1,06$

Kanal Nr.	Bezeichnung	Datenzuordnung und Meßstellenangaben	Einheit	Anmerkung
144	Ti65.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 65	°C	2)
145	Ti69.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 69	°C	
146	Ti69.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 69	°C	
147	Ti69.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 69	°C	
148	TH69	Hüllrohrtemperatur Stab 69 bei 1012 mm	°C	
149	Ti70.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 70	°C	
150	Ti70.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 70	°C	
151	Ti70.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 70	°C	
152	Ti72.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 72	°C	
153	Ti72.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 72	°C	
154	Ti72.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 72	°C	
155	Ti77.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 77	°C	
156	Ti77.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 77	°C	
157	Ti77.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 77	°C	
158	Ti78.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 78	°C	
159	Ti78.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 78	°C	
160	Ti78.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 78	°C	
161	Ti81.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 81	°C	
162	Ti81.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 81	°C	
163	Ti81.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 81	°C	
164	TH81.1	Hüllrohrtemperatur Stab 81 bei 12 mm	°C	
165	TH81.2	Hüllrohrtemperatur Stab 81 bei 612 mm	°C	
166	TH81.3	Hüllrohrtemperatur Stab 81 bei 812 mm	°C	
167	TH81.4	Hüllrohrtemperatur Stab 81 bei 1012 mm	°C	
168	TH81.5	Hüllrohrtemperatur Stab 81 bei 1212 mm	°C	
169	TH81.6	Hüllrohrtemperatur Stab 81 bei 1412 mm	°C	
170	TH81.7	Hüllrohrtemperatur Stab 81 bei 1612 mm	°C	
171	TH81.8	Hüllrohrtemperatur Stab 81 bei 2012 mm	°C	
172	TH81.9	Hüllrohrtemperatur Stab 81 bei 3200 mm	°C	
173	Ti86.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 86	°C	
174	Ti86.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 86	°C	
175	Ti86.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 86	°C	
176	Ti88.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 88	°C	
177	Ti88.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 88	°C	
178	Ti88.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 88	°C	
179	TH88	Hüllrohrtemperatur Stab 88 bei 1012 mm	°C	
180	Ti89.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 89	°C	
181	Ti89.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 89	°C	
182	Ti89.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 89	°C	
183	Ti91.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 91	°C	

Kanalliste und Datenzuordnung für die FDWR-Flutversuche $p/d = 1,06$

Kanal Nr.	Bezeichnung	Datenzuordnung und Meßstellenangaben	Einheit	Anmerkung
184	Ti91.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 91	°C	4)
185	Ti91.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 91	°C	
186	TH91	Hüllrohrtemperatur Stab 91 bei 1012 mm	°C	
187	Ti92.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 92	°C	
188	Ti92.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 92	°C	
189	Ti92.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 92	°C	
190	Ti94.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 94	°C	
191	Ti94.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 94	°C	
192	Ti94.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 94	°C	
193	Ti103.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 103	°C	
194	Ti103.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 103	°C	2)
195	Ti103.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 103	°C	
196	TH103.1	Hüllrohrtemperatur Stab 103 bei 12 mm	°C	
197	TH103.2	Hüllrohrtemperatur Stab 103 bei 612 mm	°C	
198	TH103.3	Hüllrohrtemperatur Stab 103 bei 812 mm	°C	
199	TH103.4	Hüllrohrtemperatur Stab 103 bei 1012 mm	°C	
200	TH103.5	Hüllrohrtemperatur Stab 103 bei 1212 mm	°C	
201	TH103.6	Hüllrohrtemperatur Stab 103 bei 1412 mm	°C	
202	TH103.7	Hüllrohrtemperatur Stab 103 bei 1612 mm	°C	
203	TH103.8	Hüllrohrtemperatur Stab 103 bei 2012 mm	°C	
204	TH103.9	Hüllrohrtemperatur Stab 103 bei 3200 mm	°C	3)
205	Ti108.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 108	°C	
206	Ti108.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 108	°C	
207	Ti108.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 108	°C	
208	Ti111.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 111	°C	
209	TH111.2	Hüllrohrtemperatur Stab 111 bei 1012 mm	°C	
210	Ti111.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 111	°C	
211	TH111	Hüllrohrtemperatur Stab 111 bei 1012 mm	°C	
212	Ti112.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 112	°C	
213	Ti112.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 112	°C	
214	Ti112.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 112	°C	
215	TH112	Hüllrohrtemperatur Stab 112 bei 1012 mm	°C	
216	TK1	Kastenwandtemperatur bei 150 mm	°C	
217	TK2	Kastenwandtemperatur bei 612 mm	°C	
218	TK3	Kastenwandtemperatur bei 812 mm	°C	
219	TK4/1	Kastenwandtemperatur bei 1012 mm	°C	
220	TK4/2	Kastenwandtemperatur bei 1012 mm	°C	
221	TK4/3	Kastenwandtemperatur bei 1012 mm	°C	
222	TK5	Kastenwandtemperatur bei 1412 mm	°C	
223	TK6	Kastenwandtemperatur bei 1612 mm	°C	

Kanalliste und Datenzuordnung für die FDWR-Flutversuche $p/d = 1,06$

Kanal Nr.	Bezeichnung	Datenzuordnung und Meßstellenangaben	Einheit	Anmerkung
224	TK7	Kastenwandtemperatur bei 2012 mm	°C	
225	TK8	Kastenwandtemperatur bei 2512 mm	°C	
226	TK9	Kastenwandtemperatur bei 3200 mm	°C	
227	St1	Temperatur Strahlungsschutzrohr bei 150 mm	°C	5)
228	St2	Temperatur Strahlungsschutzrohr bei 612 mm	°C	5)
229	St3.1	Temperatur Strahlungsschutzrohr bei 1012 mm	°C	5)
230	St3.2	Temperatur Strahlungsschutzrohr bei 1012 mm	°C	5)
231	St3.3	Temperatur Strahlungsschutzrohr bei 1012 mm	°C	5)
232	St4	Temperatur Strahlungsschutzrohr bei 1412 mm	°C	5)
233	St5	Temperatur Strahlungsschutzrohr bei 2012 mm	°C	5)
234	T.Löt1	Überwachungstemperatur Lötstelle 1	°C	
235	T.Löt2	Überwachungstemperatur Lötstelle 2	°C	
236	Dr4	Temperatur Druckrohr (2340 mm)	°C	
237	TD2	Temperatur an Meßblende 2	°C	6)
238	TD1	Dampftemperatur Meßblende 1	°C	
239	T3	Dampftemperatur Meßblende 3	°C	
240-255		nicht belegt		
256	N4	Höhenstand Containmentsimulator	mm WS	6)
257	$\Delta p_{2.4}$	Differenzdruck oberhalb Bündel zwischen 2820 und 3320 mm	mm WS	7)
258	$\Delta p_{2.3}$	Differenzdruck oberhalb Bündel zwischen 2820 und 4700 mm	mm WS	7)
259	$\Delta p_{2.2}$	Differenzdruck oberhalb Bündel zwischen 0 und 1820 mm	mm WS	7)
260	N3	Höhenstand im Downcomer	mm WS	7)
261	PJ1-61	Stabinnendruck von Stab 1 – 61	bar	
262	PD1	Dampfdruck an Meßblende 1	bar	
263	P2.1	Druck im unteren Plenum der Teststrecke	bar	
264	P2.2	Druck im oberen Plenum der Teststrecke	bar	
265	P3.2	Dampfdruck an Meßblende 3	bar	
266	P6	Druck Flutwasser	bar	
267	D1	Meßblende 1 Menge	kg/s	
268	D3	Meßblende 3 Menge	kg/s	
269	D6	Meßblende 6 Menge	kg/s	
270	N2	Gesamtdruckverlust in Teststrecke	mm WS	
271		nicht belegt		
272	N5	Höhenstand Wasserauswurfbehälter	mm WS	
273	L1	El. Phasenleistung Transduktor 1, Phase 1	kW	
274	L2	El. Phasenleistung Transduktor 1, Phase 2	kW	
275	L3	El. Phasenleistung Transduktor 1, Phase 3	kW	
276	L4	El. Phasenleistung Transduktor 2, Phase 1	kW	
277	L5	El. Phasenleistung Transduktor 2, Phase 2	kW	
278	L6	El. Phasenleistung Transduktor 2, Phase 3	kW	
279	L7	El. Phasenleistung Transduktor 3, Phase 1	kW	

Anmerkungen:

- 1) Kanal 82: Ti 27/1 ab Versuch FDWR 1.2 defekt
- 2) Kanal 144: Ti 69/1 ab Versuch FDWR 6.1 defekt
Kanal 183: Ti 91/1 ab Versuch FDWR 6.1 defekt
Kanal 200: TH 103/5 ab Versuch FDWR 6.1 defekt
- 3) Kanal 125: Ti 56/1 ab Versuch FDWR D1 defekt
Kanal 132: Ti 59/1 ab Versuch FDWR D1 defekt
Kanal 208: Ti 111/1 ab Versuch FDWR D1 defekt
- 4) Kanal 188: Ti 92/2 ab Versuch FDWR D5 defekt
- 5) Kanal 227-233 für Versuche FDWR 6.1, FDWR 7.1, FDWR 7.2 wie folgt belegt:

227	TF1	Fluidtemp. a.d. Fluidsonde ob. Bündel bei 2370 mm	°C
228	TF2	Fluidtemp. a.d. Fluidsonde ob. Bündel bei 2720 mm	°C
229	TF3	Fluidtemp. a.d. Fluidsonde ob. Bündel bei 3070 mm	°C
230	TF4	Fluidtemp. a.d. Fluidsonde ob. Bündel bei 3420 mm	°C
231	TF5	Fluidtemp. a.d. Fluidsonde ob. Bündel bei 3770 mm	°C
232	St3/1	Temperatur Strahlungsschutzrohr bei 1012 mm	°C
233	St4	Temperatur Strahlungsschutzrohr bei 1412 mm	°C

- 6) Kanal 256: N4, Höhenstand im Containmentsimulator ab Versuch FDWR D1 - FDWR D5 belegt.
Kanal 237: TN3, Temperatur im Downcomerkopf ab Versuch FDWR D1 - FDWR D5 belegt.
- 7) Kanal 257-260 ab Versuch FDWR D1 - FDWR D5 belegt
Der Kanal 130 ist der Zeitkanal.

3.2.2 Für $p/d = 1,24$ BündelgeometrieBandbelegung und Datensatznamen für die FDWR-Flutversuche $p/d = 1,24$

Bandbezeichnung	File Nr.	Versuchsbezeichnung	Name des Datensatzes im IBM-Speicher	Speicherplatzbedarf (Plattenspuren)
229FD7	1	FDWR 1	IRB229.FDWR01.DATA	88
"	2	FDWR 2	IRB229.FDWR02.DATA	91
"	3	FDWR 3	IRB229.FDWR03.DATA	108
	4	FDWR 4	IRB229.FDWR04.DATA	90
	5	FDWR 5	IRB229.FDWR05.DATA	107
	6	FDWR 6	IRB229.FDWR06.DATA	85
	7	FDWR 7	IRB229.FDWR07.DATA	93
	8	FDWR 8	IRB229.FDWR08.DATA	104
229FD4	1	FDWR 9	IRB229.FDWR09.DATA	143
"	2	FDWR 10	IRB229.FDWR10.DATA	124
	3	FDWR 11	IRB229.FDWR11.DATA	97
	4	FDWR 12	IRB229.FDWR12.DATA	110
	5	FDWR 13	IRB229.FDWR13.DATA	100
	6	FDWR 14	IRB229.FDWR14.DATA	78
	7	FDWR 15	IRB229.FDWR15.DATA	92
229FD8	1	FDWR 16	IRB229.FDWR16.DATA	113
"	2	FDWR 17	IRB229.FDWR17.DATA	104
"	3	FDWR 18	IRB229.FDWR18.DATA	111
229FD9	1	FDWR 19	IRB229.FDWR19.DATA	137
"	2	FDWR 20	IRB229.FDWR20.DATA	143
"	3	FDWR 21	IRB229.FDWR21.DATA	138
"	4	FDWR 22	IRB229.FDWR22.DATA	107
	5	FDWR 23	IRB229.FDWR23.DATA	152
	6	FDWR 24	IRB229.FDWR24.DATA	190
229FD10	1	FDWR 25	IRB229.FDWR25.DATA	106
	2	FDWR 26	IRB229.FDWR26.DATA	100
	3	FDWR 27	IRB229.FDWR27.DATA	197
	4	FDWR 28	IRB229.FDWR28.DATA	108
	5	FDWR 29	IRB229.FDWR29.DATA	84
	6	FDWR 30	IRB229.FDWR30.DATA	79
	7	FDWR 31	IRB229.FDWR31.DATA	86

Kanalliste und Datenzuordnung für die FDWR-Flutversuche $p/d = 1,24$

Kanal Nr.	Bezeichnung	Datenzuordnung und Meßstellenangaben	Einheit	Anmerkung
24	TV/3	Vergleichstemperatur Kupferplatte	°C	
25	T2.1	Temperatur unteres Teststreckenplenum	°C	
26	T2.2W	Temperatur oberes Teststreckenplenum West	°C	
27	T2.2N	Temperatur oberes Teststreckenplenum Nord	°C	
28	T2.3	Dampfaustrittstemperatur Teststrecke	°C	
29	T6	Temperatur Flutwasser	°C	
30	Ti11.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 11	°C	
31	Ti12.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 12	°C	
32	Ti13.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 13	°C	
33	Ti16.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 16	°C	
34	Ti21.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 21	°C	
35	Ti24.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 24	°C	
36	Ti31.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 31	°C	
37	Ti42.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 42	°C	
38	Ti57.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 57	°C	
39	Ti61.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 61	°C	
40	Ti63.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 63	°C	
41	Ti66.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 66	°C	
42	Ti67.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 67	°C	
43	Ti71.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 71	°C	
44	Ti75.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 75	°C	
45	Ti90.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 90	°C	
46	Ti116.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 116	°C	
47	Ti117.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 117	°C	
48	Ti119.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 119	°C	
49	Ti120.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 120	°C	
50	Ti121.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 121	°C	
51	Ti123.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 123	°C	
52	Ti124.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 124	°C	
53	Ti125.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 125	°C	
54	Ti115.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 115	°C	
55	Ti115.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 115	°C	
56	Ti115.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 115	°C	
57	Ti115.4	Temperatur Heizstabhülle von Stab 115	°C	
58	Ti115.5	Temperatur Heizstabhülle von Stab 115	°C	
59	Ti115.6	Temperatur Heizstabhülle von Stab 115	°C	
60	Ti126.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 126	°C	
61	Ti127.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 127	°C	
62	Ti129.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 129	°C	
63	Ti130.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 130	°C	

Kanalliste und Datenzuordnung für die FDWR-Flutversuche $p/d = 1,24$

Kanal Nr.	Bezeichnung	Datenzuordnung und Meßstellenangaben	Einheit	Anmerkung
64	Ti131.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 131	°C	
65	Ti122.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 122	°C	
66	Ti122.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 122	°C	
67	Ti122.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 122	°C	
68	Ti122.4	Temperatur Heizstabhülle von Stab 122	°C	
69	Ti122.5	Temperatur Heizstabhülle von Stab 122	°C	
70	Ti122.6	Temperatur Heizstabhülle von Stab 122	°C	
71	Ti133.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 133	°C	
72	Ti134.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 134	°C	
73	Ti135.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 135	°C	
74	Ti136.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 136	°C	
75	Ti137.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 137	°C	
76	Ti138.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 138	°C	
77	Ti143.1	liegt auf Kanal 212		1)
78	Ti143.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 143	°C	
79	Ti143.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 143	°C	
80	Ti143.4	Temperatur Heizstabhülle von Stab 143	°C	
81	Ti143.5	Temperatur Heizstabhülle von Stab 143	°C	
82	Ti143.6	Temperatur Heizstabhülle von Stab 143	°C	
83	Ti139.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 139	°C	
84	Ti140.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 140	°C	
85	Ti141.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 141	°C	
86	Ti142.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 142	°C	
87	Ti145.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 145	°C	
88	Ti145.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 145	°C	
89	Ti145.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 145	°C	
90	Ti145.4	Temperatur Heizstabhülle von Stab 145	°C	
91	Ti145.5	Temperatur Heizstabhülle von Stab 145	°C	
92	Ti145.6	Temperatur Heizstabhülle von Stab 145	°C	
93	Ti144.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 144	°C	
94	Ti146.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 146	°C	
95	Ti148.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 148	°C	
96	Ti147.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 147	°C	
97	Ti147.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 147	°C	
98	Ti147.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 147	°C	
99	Ti147.4	Temperatur Heizstabhülle von Stab 147	°C	
100	Ti147.5	Temperatur Heizstabhülle von Stab 147	°C	
101	Ti147.6	Temperatur Heizstabhülle von Stab 147	°C	
102	Ti149.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 149	°C	
103	Ti151.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 151	°C	

Kanalliste und Datenzuordnung für die FDWR-Flutversuche $p/d = 1,24$

Kanal Nr.	Bezeichnung	Datenzuordnung und Meßstellenangaben	Einheit	Anmerkung
104	Ti151.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 151	°C	
105	Ti151.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 151	°C	
106	Ti151.4	Temperatur Heizstabhülle von Stab 151	°C	
107	Ti151.5	Temperatur Heizstabhülle von Stab 151	°C	
108	Ti151.6	Temperatur Heizstabhülle von Stab 151	°C	
109	Ti150.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 150	°C	
110	Ti152.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 152	°C	
111	Ti154.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 154	°C	
112	Ti154.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 154	°C	
113	Ti154.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 154	°C	
114	Ti154.4	Temperatur Heizstabhülle von Stab 154	°C	1)
115	Ti154.5	liegt auf Kanal 199		
116	Ti154.6	Temperatur Heizstabhülle von Stab 154	°C	
117	Ti153.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 153	°C	
118	Ti156.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 156	°C	
119	Ti158.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 158	°C	
120	Ti158.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 158	°C	
121	Ti158.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 158	°C	
122	Ti158.4	Temperatur Heizstabhülle von Stab 158	°C	
123	Ti158.5	Temperatur Heizstabhülle von Stab 158	°C	
124	Ti158.6	Temperatur Heizstabhülle von Stab 158	°C	2)
125	Ti157.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 157	°C	
126	Ti159.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 159	°C	
127	Ti160.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 160	°C	
128	Ti163.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 163	°C	
129	Ti161.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 161	°C	
1030	Ti161.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 161	°C	
131	Ti161.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 161	°C	
132	Ti161.4	Temperatur Heizstabhülle von Stab 161	°C	
133	Ti161.5	liegt auf Kanal 200	°C	
134	Ti161.6	Temperatur Heizstabhülle von Stab 161	°C	1)
135	Ti155.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 155	°C	
136	Ti155.2	Temperatur Heizstabhülle von Stab 155	°C	
137	Ti155.3	Temperatur Heizstabhülle von Stab 155	°C	
138	Ti155.4	Temperatur Heizstabhülle von Stab 155	°C	
139	Ti155.5	Temperatur Heizstabhülle von Stab 155	°C	
140	Ti155.6	Temperatur Heizstabhülle von Stab 155	°C	
141	TH143.7	Hüllrohrtemperatur Stab 143	°C	
142	TH143.8	Hüllrohrtemperatur Stab 143	°C	
143	TH145.2	Hüllrohrtemperatur Stab 145	°C	

Kanalliste und Datenzuordnung für die FDWR-Flutversuche $p/d = 1,24$

Kanal Nr.	Bezeichnung	Datenzuordnung und Meßstellenangaben	Einheit	Anmerkung
144	TH145.3	Hüllrohrtemperatur Stab 145	°C	
145	TH145.5	Hüllrohrtemperatur Stab 145	°C	
146	TH145.6	Hüllrohrtemperatur Stab 145	°C	
147	TH145.9	Hüllrohrtemperatur Stab 145	°C	
148	TH145.10	Hüllrohrtemperatur Stab 145	°C	
149	TH145.11	Hüllrohrtemperatur Stab 145	°C	
150	TH147.2	Hüllrohrtemperatur Stab 147	°C	
151	TH147.3	Hüllrohrtemperatur Stab 147	°C	
152	TH147.5	Hüllrohrtemperatur Stab 147	°C	
153	TH147.6	Hüllrohrtemperatur Stab 147	°C	
154	TH147.9	Hüllrohrtemperatur Stab 147	°C	
155	TH147.10	Hüllrohrtemperatur Stab 147	°C	
156	TH147.11	Hüllrohrtemperatur Stab 147	°C	
157	TH151.1	Hüllrohrtemperatur Stab 151	°C	
158	TH151.4	Hüllrohrtemperatur Stab 151	°C	
159	TH151.7	Hüllrohrtemperatur Stab 151	°C	
160	TH151.8	Hüllrohrtemperatur Stab 151	°C	
161	TH154.4	Hüllrohrtemperatur Stab 154	°C	
162	TH154.8	Hüllrohrtemperatur Stab 154	°C	
163	TH155.1	Hüllrohrtemperatur Stab 155	°C	
164	TH155.4	Hüllrohrtemperatur Stab 155	°C	
165	TH155.5	Hüllrohrtemperatur Stab 155	°C	
166	TH155.9	Hüllrohrtemperatur Stab 155	°C	
167	TH161.4	Hüllrohrtemperatur Stab 161	°C	
168	TH161.7	Hüllrohrtemperatur Stab 161	°C	
169	AH3.145u	Fluidtemperatur am AH3 unten	°C	
170	AH3.145o	Fluidtemperatur am AH3 oben	°C	
171	AH3.147u	Fluidtemperatur am AH3 unten	°C	
172	AH3.147o	Fluidtemperatur am AH3 oben	°C	
173	AH4.145u	Fluidtemperatur am AH4 unten	°C	
174	AH4.145o	Fluidtemperatur am AH4 oben	°C	
175	AH4.147u	Fluidtemperatur am AH4 unten	°C	
176	AH4.147o	Fluidtemperatur am AH4 oben	°C	
177	AH5.145u	Fluidtemperatur am AH5 unten	°C	
178	AH5.145o	Fluidtemperatur am AH5 oben	°C	
179	AH5.147u	Fluidtemperatur am AH5 unten	°C	
180	AH5.147o	Fluidtemperatur am AH5 oben	°C	
181	AH6.145u	Fluidtemperatur am AH6 unten	°C	
182	AH6.145o	Fluidtemperatur am AH6 oben	°C	
183	AH6.147u	Fluidtemperatur am AH6 unten	°C	

Kanalliste und Datenzuordnung für die FDWR-Flutversuche $p/d = 1,24$

Kanal Nr.	Bezeichnung	Datenzuordnung und Meßstellenangaben	Einheit	Anmerkung
184	AH6.147o	Fluidtemperatur am AH6 oben	°C	
185	TK1.1	Kastenwandtemperatur Innenkasten 612 mm	°C	
186	TK1.2.1	Kastenwandtemperatur Innenkasten 1012 mm	°C	
187	TK1.2.2	Kastenwandtemperatur Innenkasten 1012 mm	°C	
188	TK1.2.3	Kastenwandtemperatur Innenkasten 1012 mm	°C	
189	TK1.3	Kastenwandtemperatur Innenkasten 1212 mm	°C	
190	TK1.4	Kastenwandtemperatur Innenkasten 1412 mm	°C	
191	TK1.5	Kastenwandtemperatur Innenkasten 1612 mm	°C	
192	TK1.6	Kastenwandtemperatur Innenkasten 2012 mm	°C	
193	TK2.2.1	Kastenwandtemperatur Außenkasten 1012 mm	°C	
194	TK2.2.2	Kastenwandtemperatur Außenkasten 1012 mm	°C	
195	TK2.2.3	Kastenwandtemperatur Außenkasten 1012 mm	°C	
196	T.Löt.145	Überwachungstemperatur Lötstelle	°C	
197	T.Löt.155	Überwachungstemperatur Lötstelle	°C	
198	Seilsonde	Füllstandsmessung im Downcomersimulatorrohr	m	
199	Ti154.5	Temperatur Heizstabhülle von Stab 154	°C	
200	Ti161.5	Temperatur Heizstabhülle von Stab 161	°C	
201	TN3	Temperatur im Downcomerkopf	°C	
202		nicht belegt	°C	
203	Δp II	Differenzdruck zwischen 892 und 812 mm	mm WS	
204	Δp III	Differenzdruck zwischen 1212 und 892 mm	mm WS	
205	Δp IV	Differenzdruck zwischen 1292 und 1212 mm	mm WS	
206	Δp V	Differenzdruck zwischen 2012 und 1292 mm	mm WS	
207	Δp VI	Differenzdruck zwischen 2092 und 2012 mm	mm WS	
208	Δp VII	Differenzdruck zwischen 2432 und 2092 mm	mm WS	
209	Δp VIII	Differenzdruck zwischen 2472 und 2432 mm	mm WS	
210	Δp IX	Differenzdruck zwischen 2672 und 2472 mm	mm WS	
211	Δp I	Differenzdruck zwischen 812 und 492 mm	mm WS	
212	Ti143.1	Temperatur Heizstabhülle von Stab 143	°C	
213-237		nicht belegt		
238	TD1	Dampftemperatur Meßblende 1	°C	
239	T3	Dampftemperatur Meßblende 3	°C	
240-259		nicht belegt		
260	N3	Höhenstand im Downcomer	mm Ws	
261	N4	Höhenstand Containment-Simulator	mm Ws	
262	PD1	Dampfdruck an Meßblende	bar	
263	P2.1	Druck im unteren Plenum der Teststrecke	bar	
264	P2.2	Druck im oberen Plenum der Teststrecke	bar	
265	P3.2	Dampfdruck an Meßblende 3	bar	
266	P6	Druck Flutwasser	bar	
267	D1	Meßblende 1 Menge	kg/s	
268	D3	Meßblende 3 Menge	kg/s	
269	D6	Meßblende 6 Menge	kg/s	
270	N2	Gesamtdruckverlust in Teststrecke	mm Ws	
271		nicht belegt		
272	N5	Höhenstand Wasserauswurfbehälter	mm Ws	

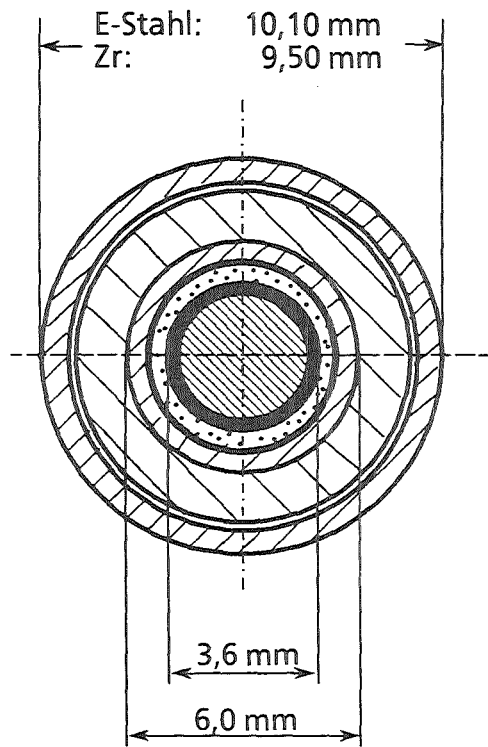
Kanalliste und Datenzuordnung für die FDWR-Flutversuche $p/d = 1,24$

Kanal Nr.	Bezeichnung	Datenzuordnung und Meßstellenangaben	Einheit	Anmerkung
273	L1	El. Phasenleistung Transduktor 1, Phase 1	kW	
274	L2	El. Phasenleistung Transduktor 1, Phase 2	kW	
275	L3	El. Phasenleistung Transduktor 1, Phase 3	kW	
276	L4	El. Phasenleistung Transduktor 2, Phase 1	kW	
277	L5	El. Phasenleistung Transduktor 2, Phase 2	kW	
278	L6	El. Phasenleistung Transduktor 2, Phase 3	kW	
279	L7	El. Phasenleistung Transduktor 3, Phase 1	kW	

Anmerkung:

- 1) Wegen defekten Verstärkerkanals Meßstelle umgelegt.
- 2) Meßwertgeber defekt.

Der Kanal 130 ist der Zeitkanal



Hüllrohre:

- 10,1 mm Außendurchm.
Edelstahl
6 integrale Wendelrippen
 $p/d = 1,06$
- 9,5 mm Außendurchm.
Zircaloy-4
Gitterabstandshalter
 $p/d = 1,24$

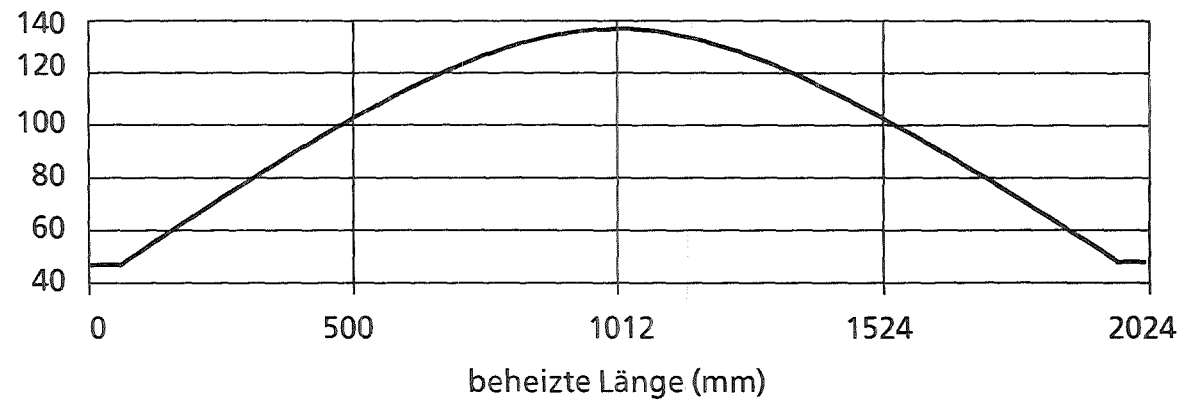
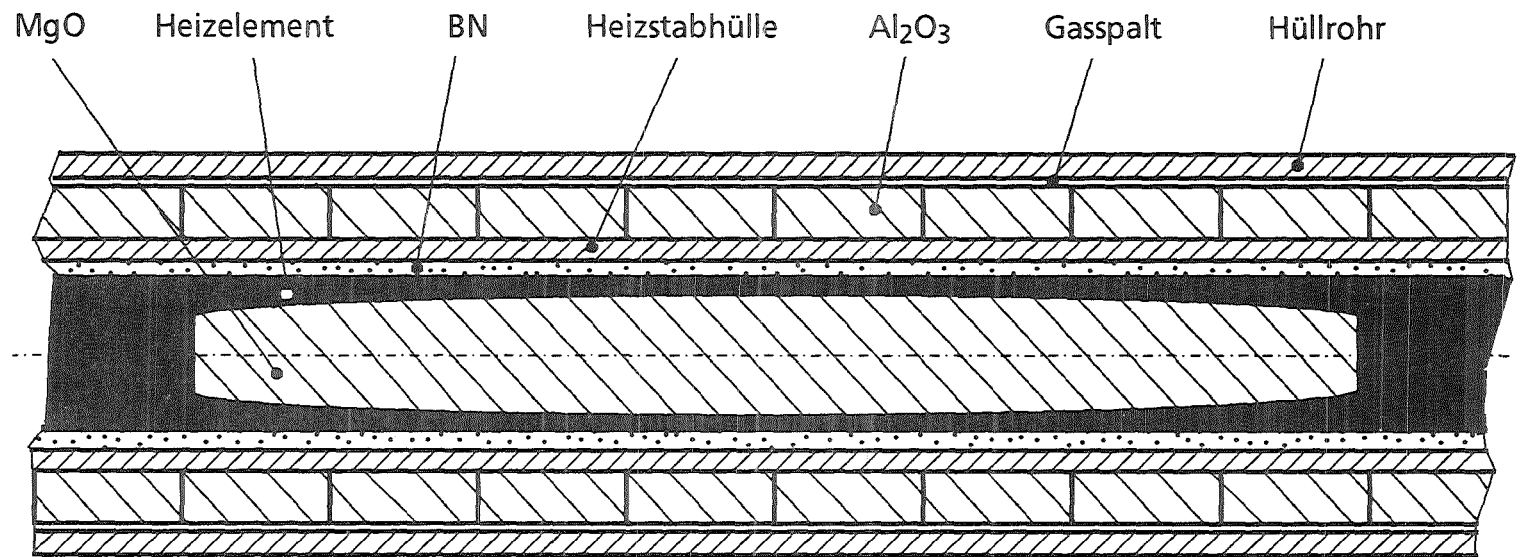
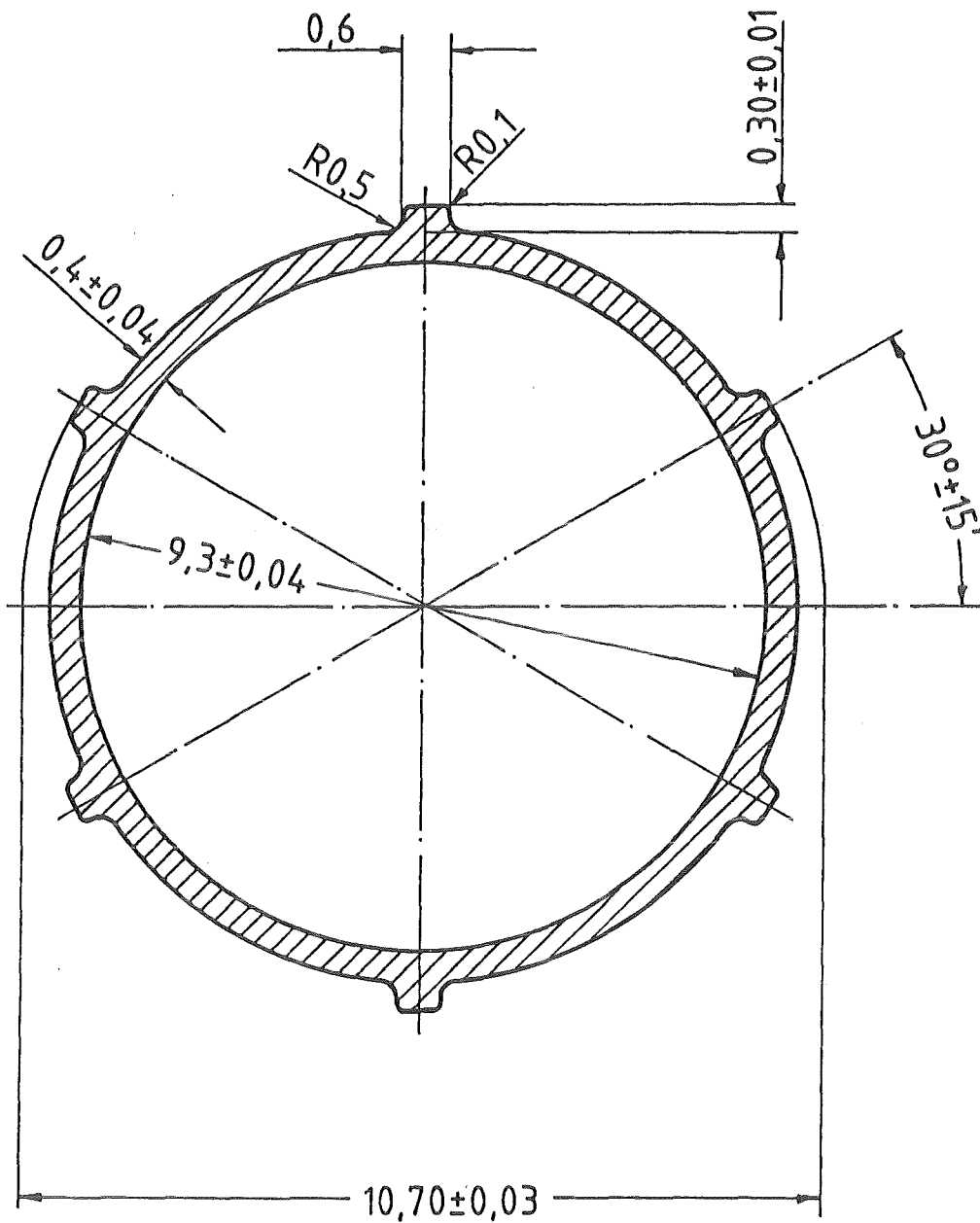


Abb. 1 FLORESTAN Brennstabsimulator



Maße in mm

Ganghöhe der Rippen: 600mm
d. h. "Abstandshalterebenen" im Bündelverband alle 100mm

Abb. 2 FLORESTAN
Rippenrohr für Testbündel $p / d = 1.06$

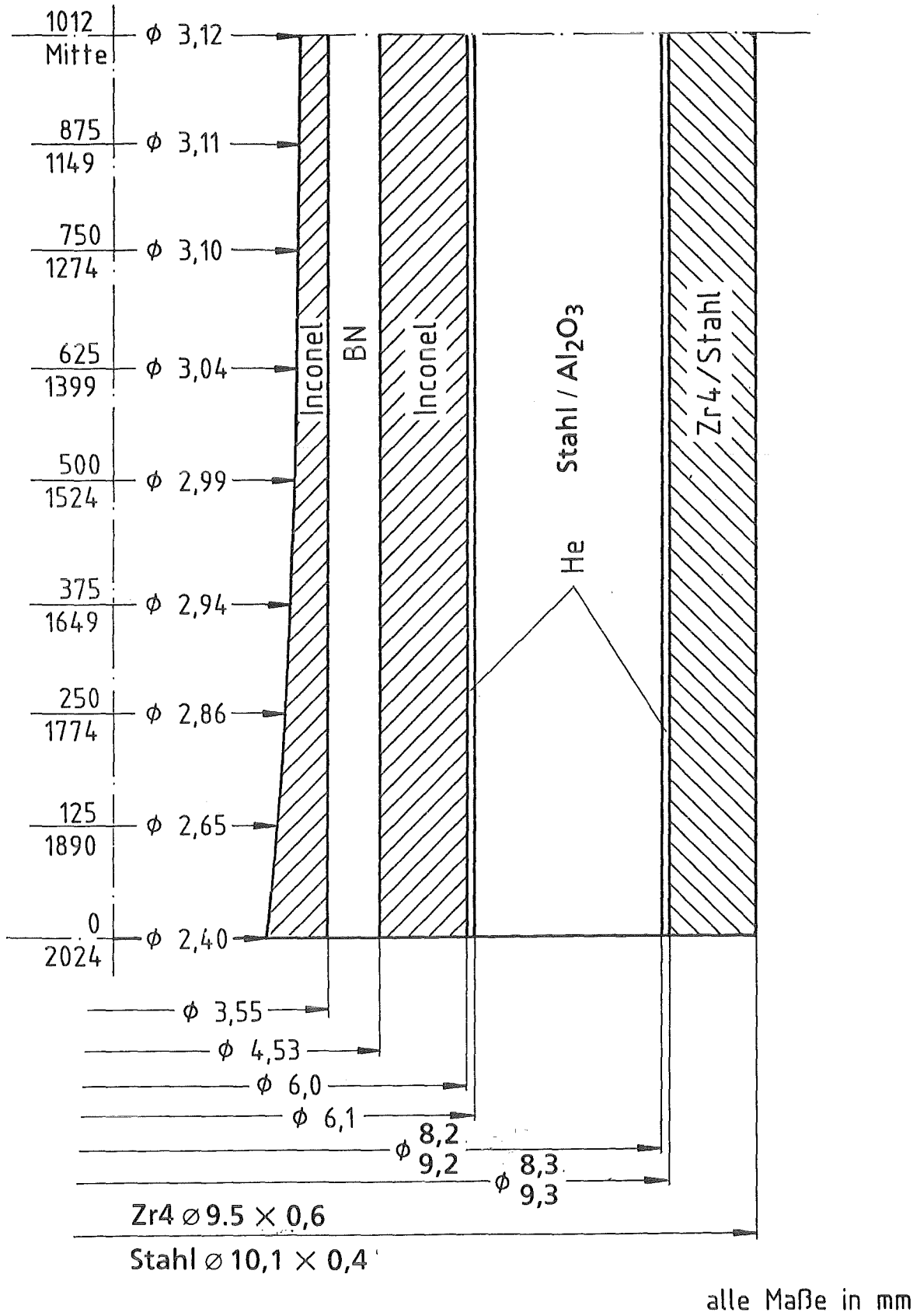
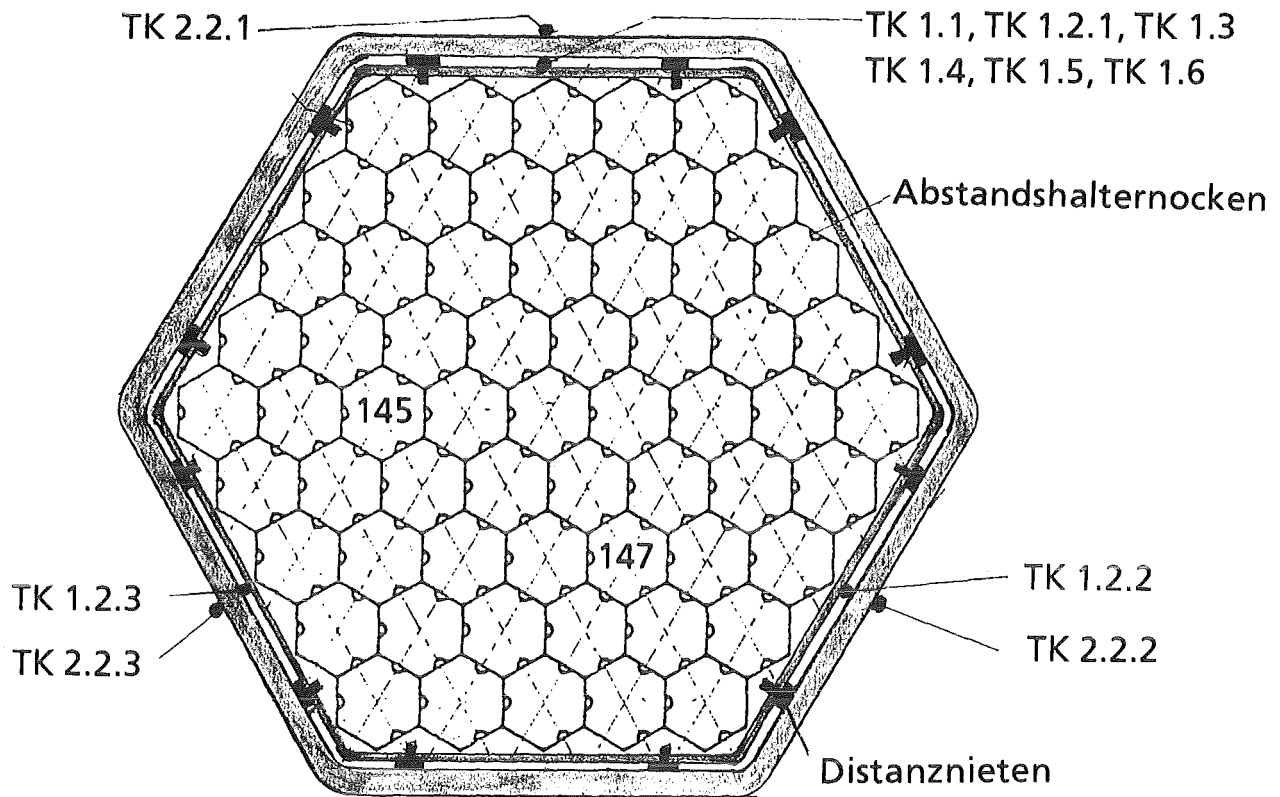


Abb. 3 FLORESTAN
Nennmaße der Brennstabsimulatoren

Abstandshalter für Stabdurchmesser 9,5 mm
 Blechdicke 0,4 mm Blechhöhe 40 mm



Schlüsselweite Außenkasten: 98,5 mm ; Schlüsselweite Innenkasten: 94,0 mm
 Wandstärke Außenkasten: 3,0 mm ; Wandstärke Innenkasten: 1,0 mm

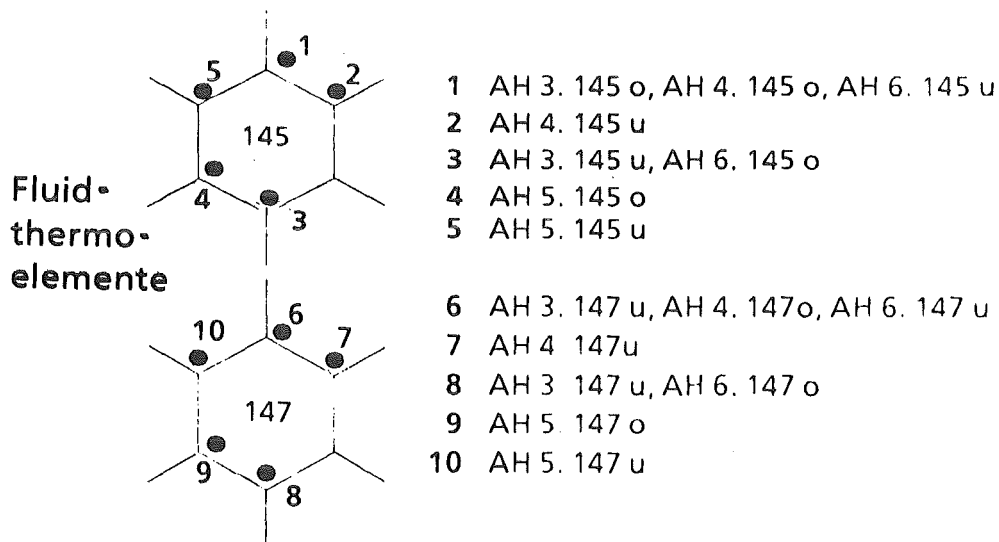


Abb. 4 Bündelführungskasten mit Abstandshalter ($p / d = 1.24$)
 mit Anordnung der Fluidthermoelemente an den Abstandshaltern und Anordnung der Kastenthermoelemente (TK)

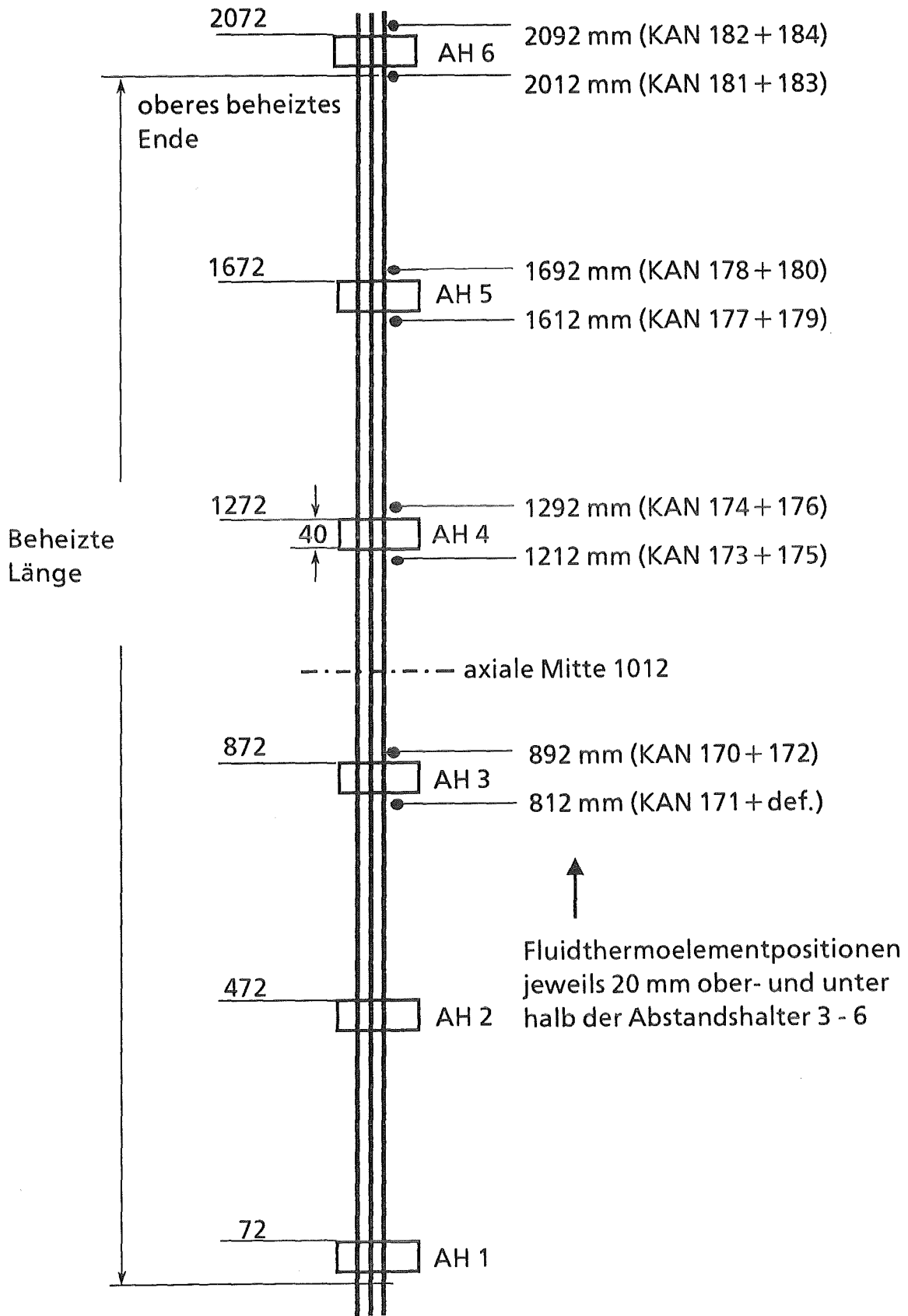
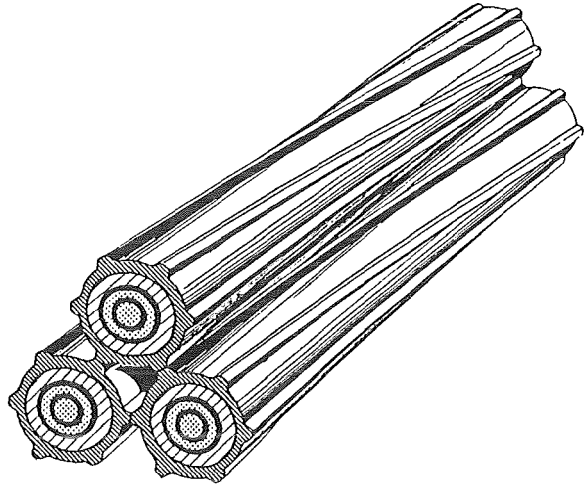
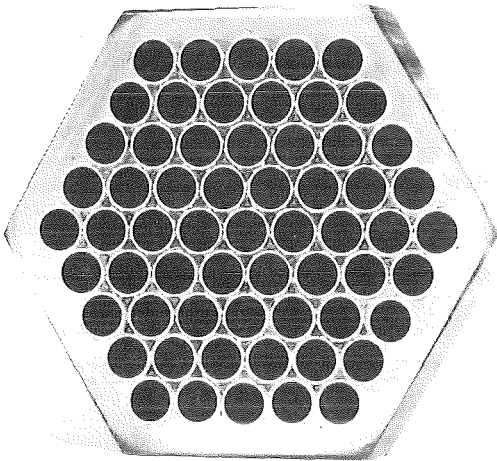
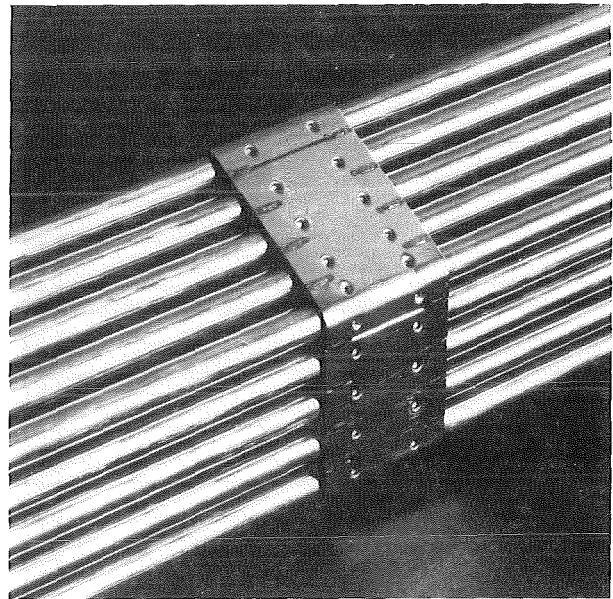
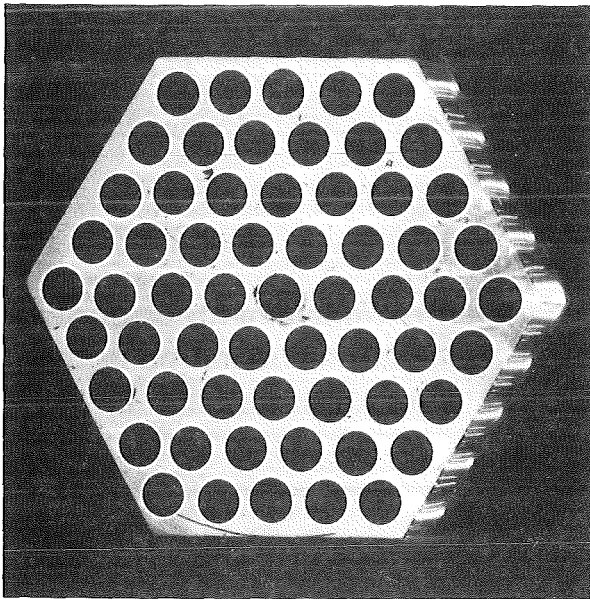


Abb. 5 Positionierung der Abstandshalter und Fluid-Thermoelemente bei FDWR-Bündel $p / d = 1.24$



test bundle: $p/d = 1.06$
clad material: stainless steel
with 6 integral
helical fins

cladding o.d.: 10.1 mm
wall thickness: 0.4 mm
fin height: 0.3 mm
helical lead: 600 mm



test bundle: $p/d = 1.24$
with grid spacers
clad material: Zircaloy-4

cladding o.d.: 9.5 mm
wall thickness: 0.6 mm

Abb. 6 FLORESTAN Testbündel

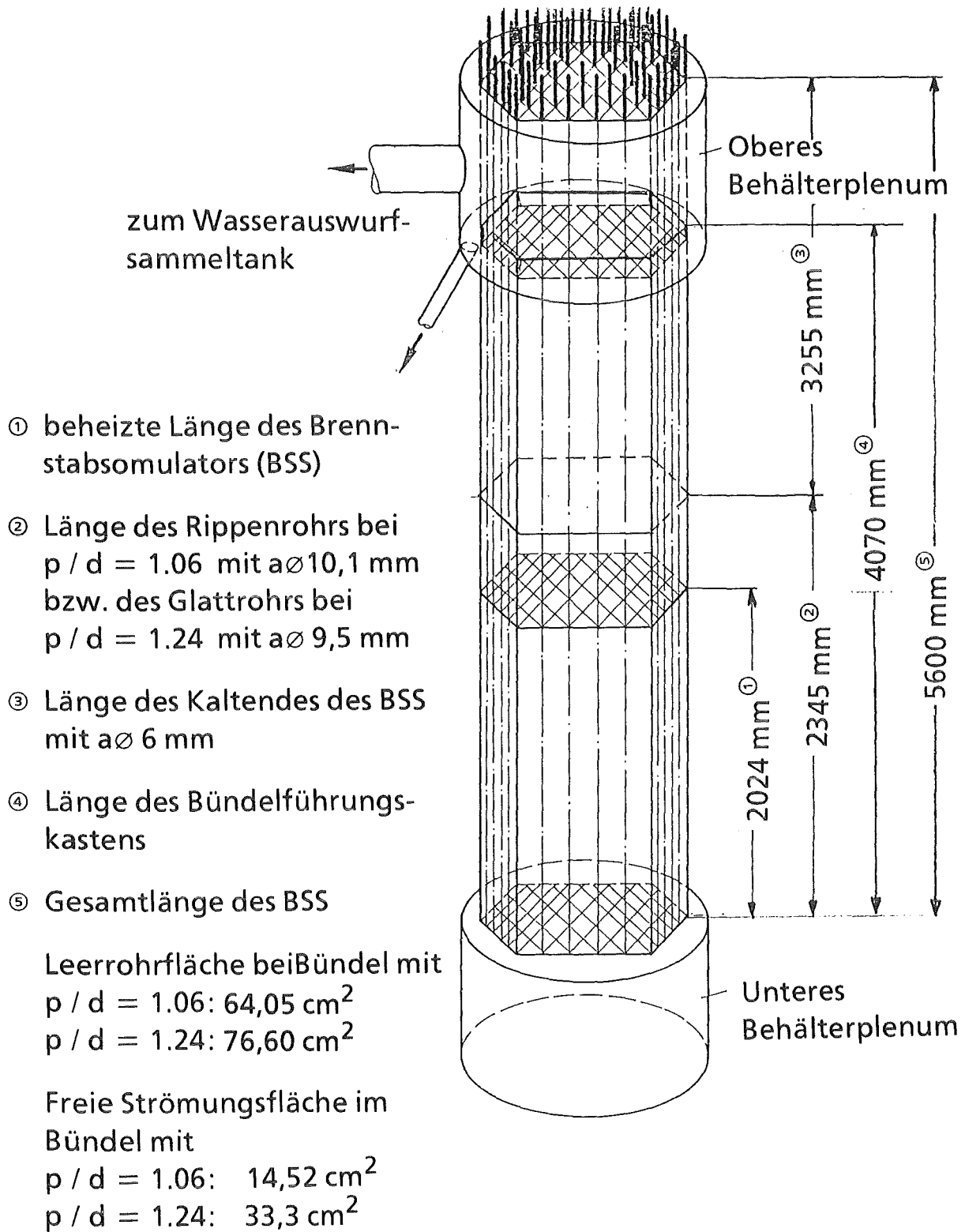
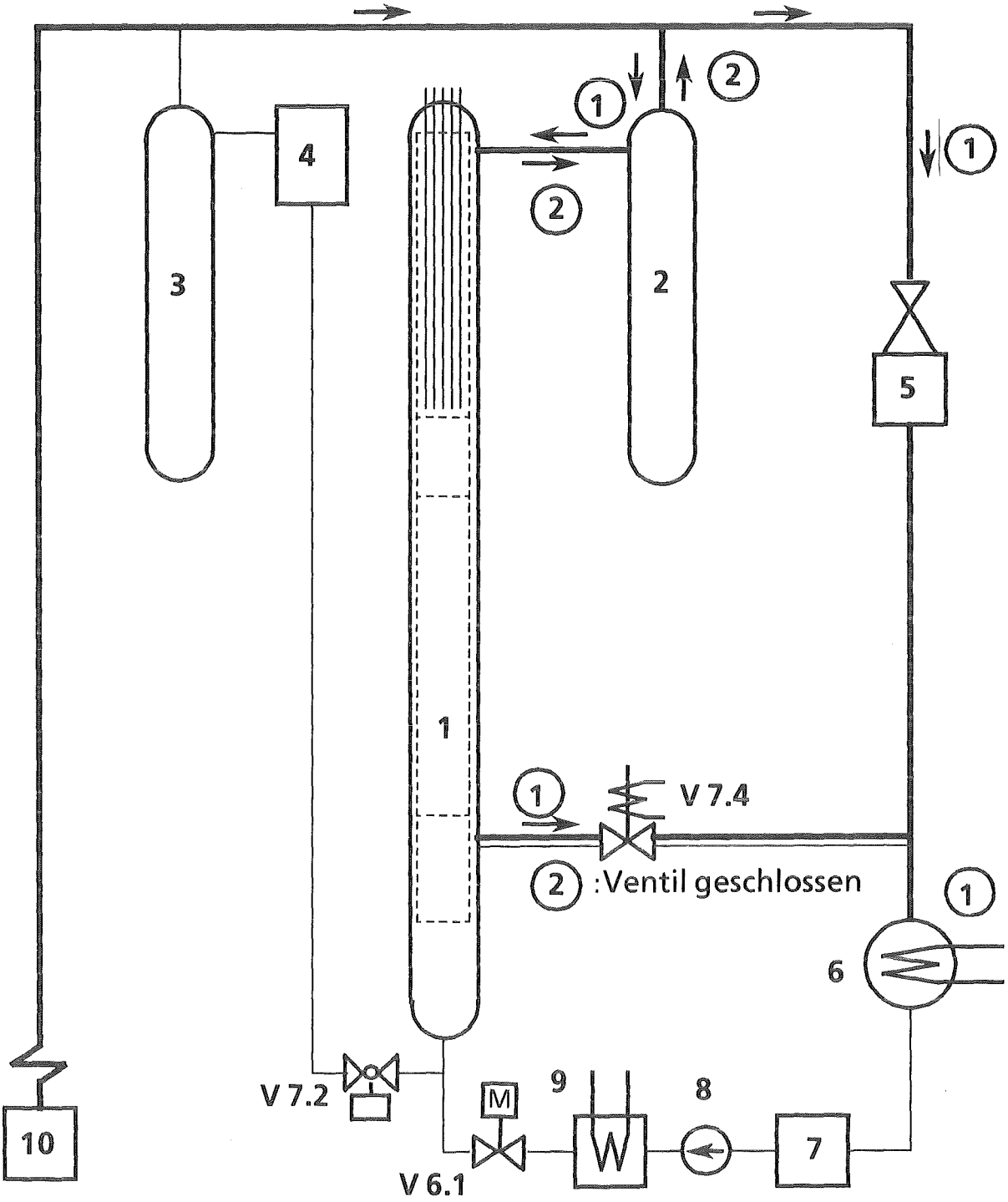
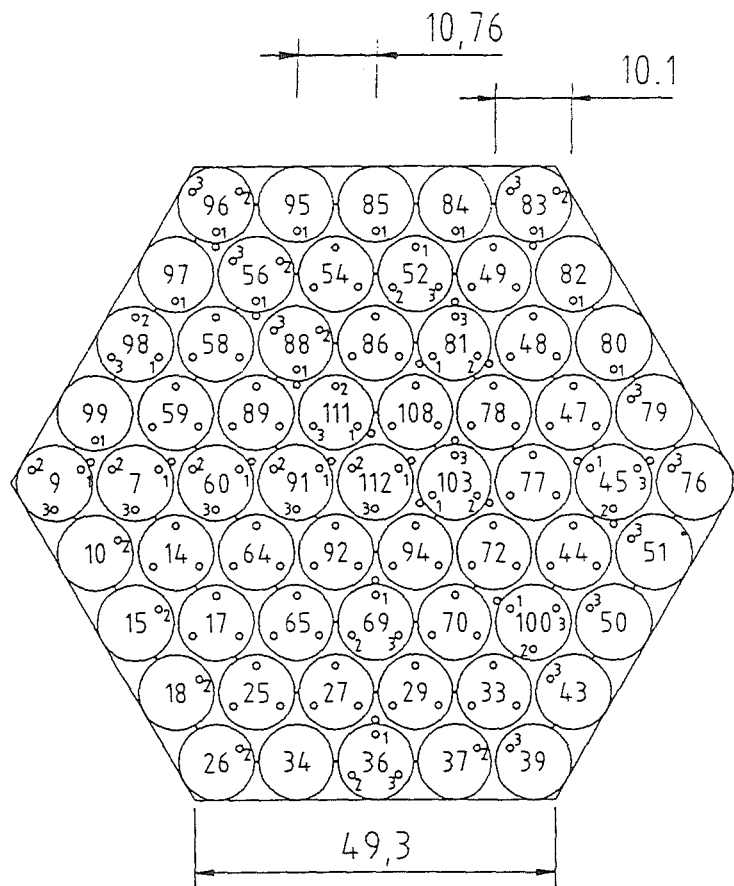


Abb. 7 Schematische Darstellung der FDWR-Teststrecke

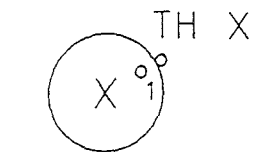


- 1 Teststrecke
- 2 Wasserauswurfsammeltank
- 3 Containment-Simulator
- 4 Ringraum-Simulator
- 5 Dampfumformer
- 6 Kondensator
- 7 Speisewasserbehälter
- 8 Kühlmittelpumpe
- 9 Wasservorwärmer
- 10 Dampfkessel
- ① Wiederauffüllphase
- ② Flutphase

Abb. 8 FLORESTAN Versuchskreislauf schematisch

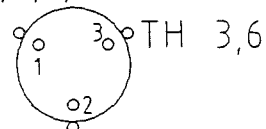


radiale Positionierung



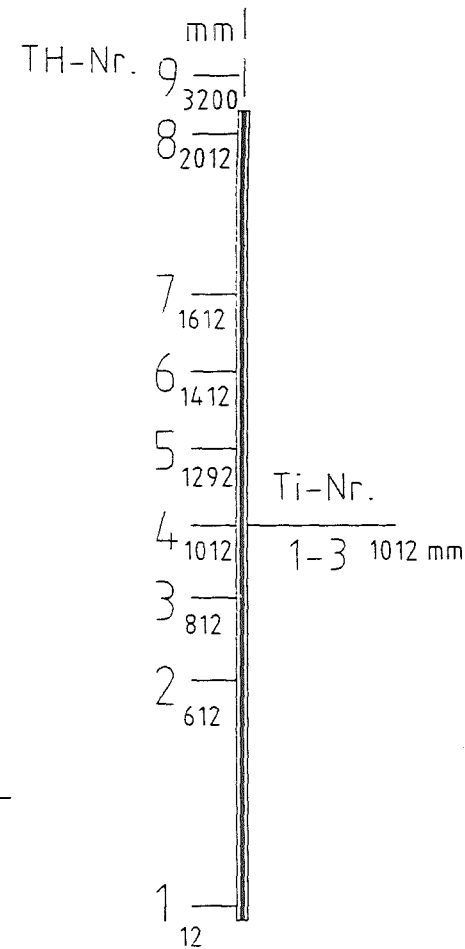
Stäbe mit
einem TH
(1012mm)

TH 1,4,7,9



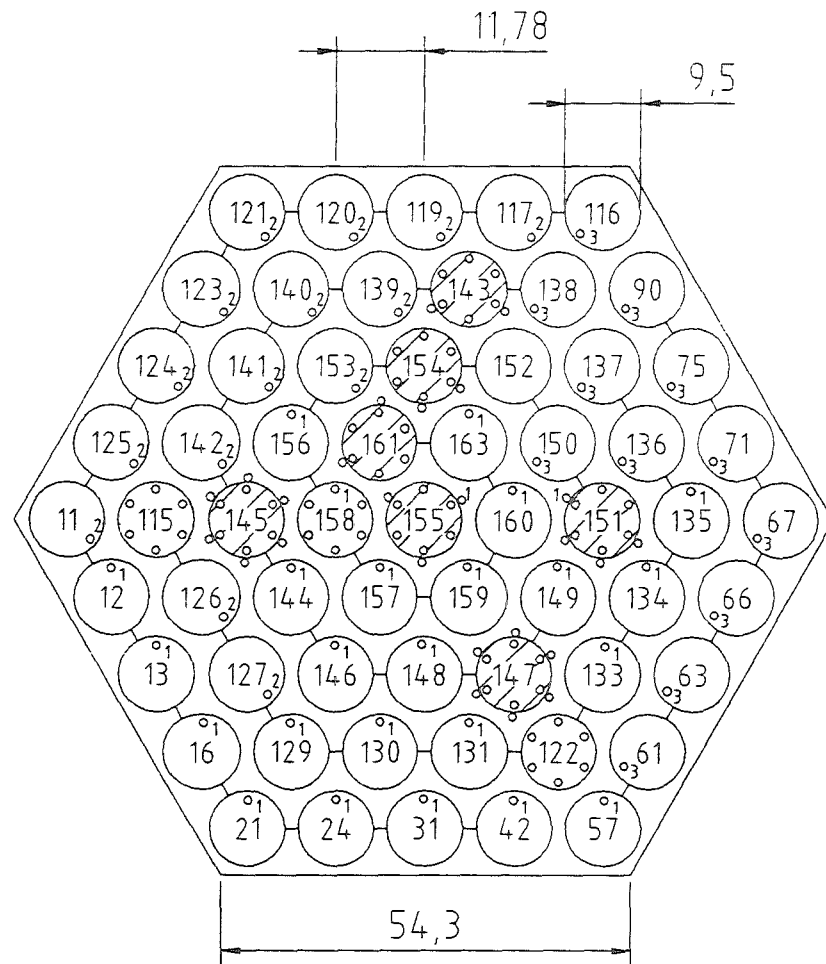
TH 2,5,8

Stäbe 45;81;103
Anordnung der Hüllrohr-
thermoelemente (TH)
gegenüber den Innen-
thermoelementen (Ti)

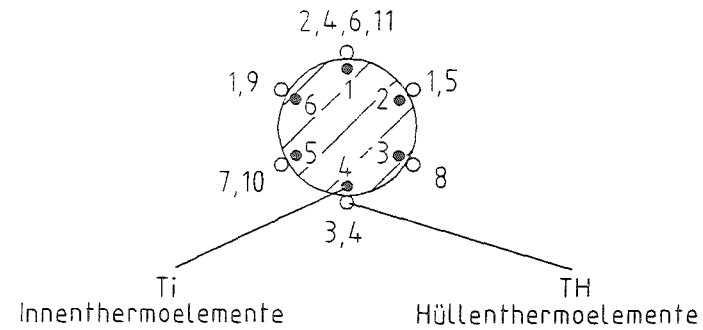


axiale Positionierung

Abb. 9 Positionierung der Thermoelemente
im Bündel $p / d = 1.06$



Winkelteilung 60°
 Nummerierung der Ti's und
 TH's zur Winkelposition



Schraffierte Stäbe besitzen neben 6 Ti's
 mehrere TH's z.T. auf einer Mantellinie.
 Die axiale Positionierung der TH's
 zur entsprechenden Winkelposition ist für
 den jeweiligen Stab aus Abb.11 zu entnehmen.

**Abb. 10 Radiale Positionierung der Thermoelemente
 im Bündel $p / d = 1.24$**

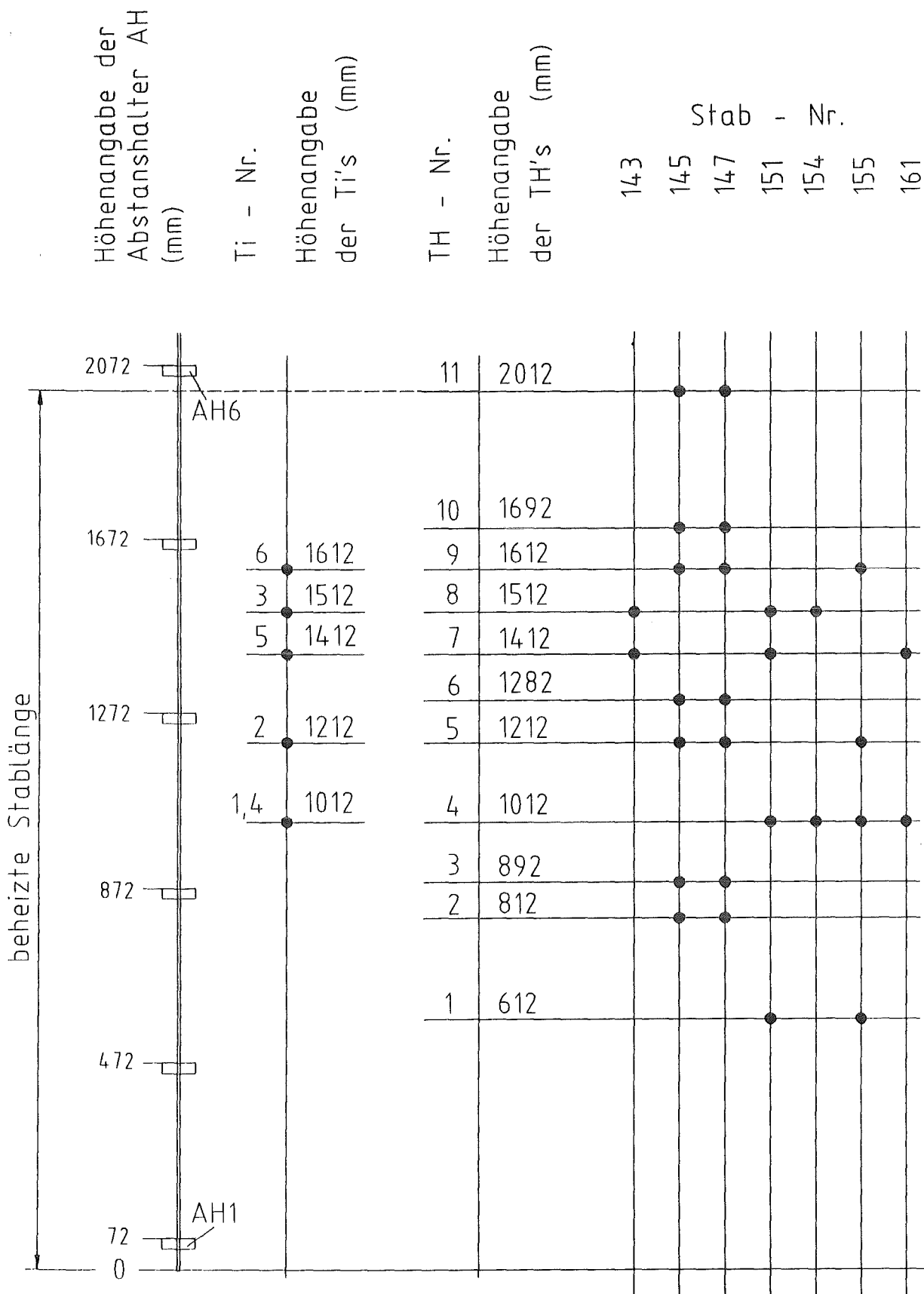
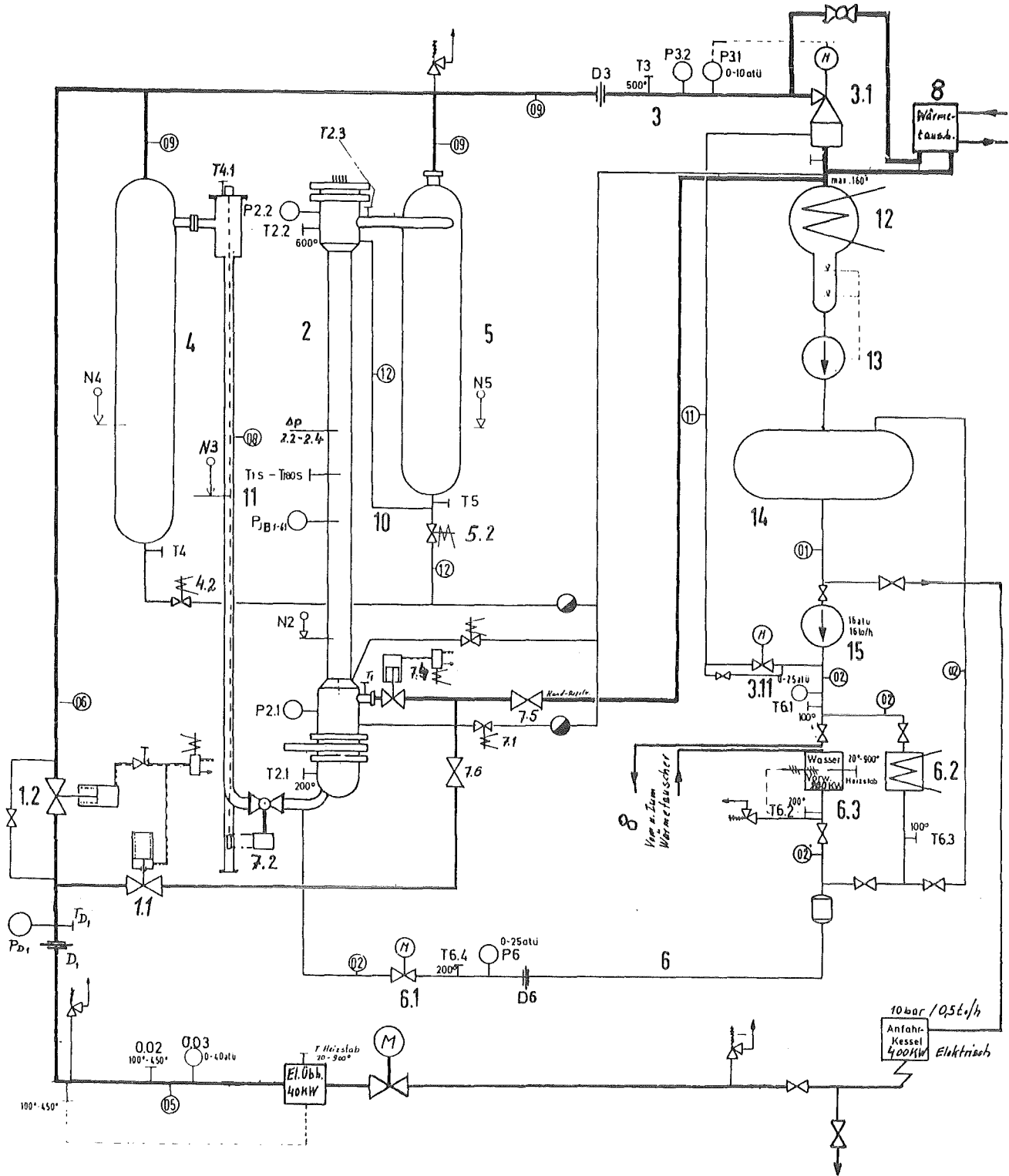
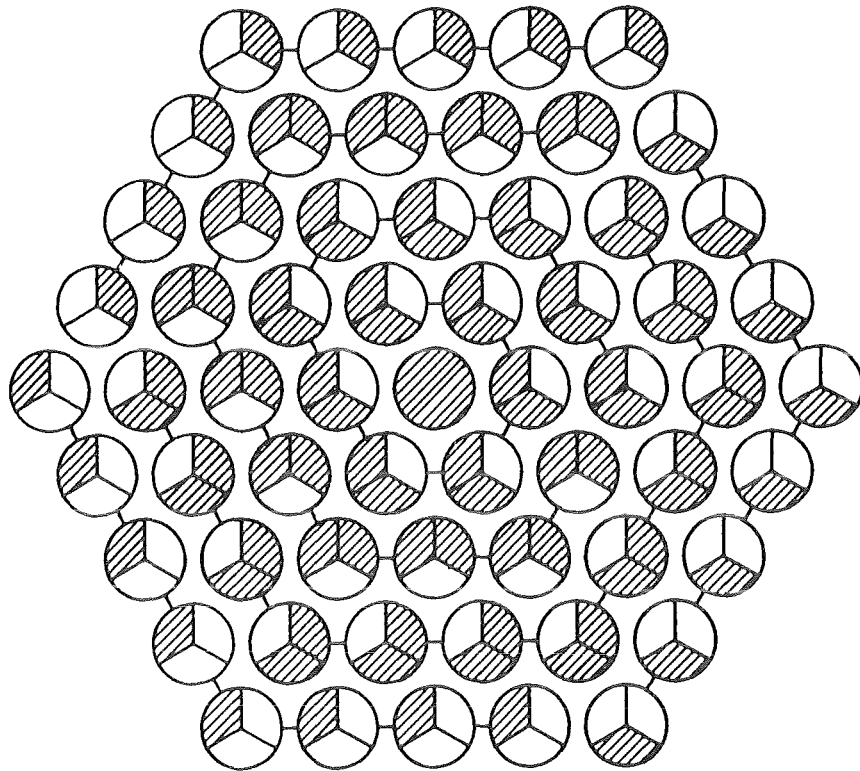


Abb. 11 Axiale Positionierung der Thermoelemente im Bündel $p / d = 1.24$



- | | |
|--------------------------------|--|
| 2 Teststrecke | 12 Kondensator |
| 5 Wasserauswurf-
sammeltank | 14 Speiswasser-
behälter |
| 4 Containment-
simulator | 15 Kühlmittelpumpe |
| 3.1 Dampfumformer | 6.2 6.3 Wasservorwärmer
Dampfkessel |

Abb. 12 Schaltbild der Versuchsanlage mit Temperatur-, Druck-, Differenzdruck-, Mengen- und Niveaumeßstellen



Transduktor 1

- Phase 1 L 1
- Phase 2 L 2
- Phase 3 L 3
- Zentralposition: Transduktor 3

Tranduktor 2

- Phase 1 L 4
- Phase 2 L 5
- Phase 3 L 6

Abb. 13 FLORESTAN:
Phasenbelegung der Transduktoren

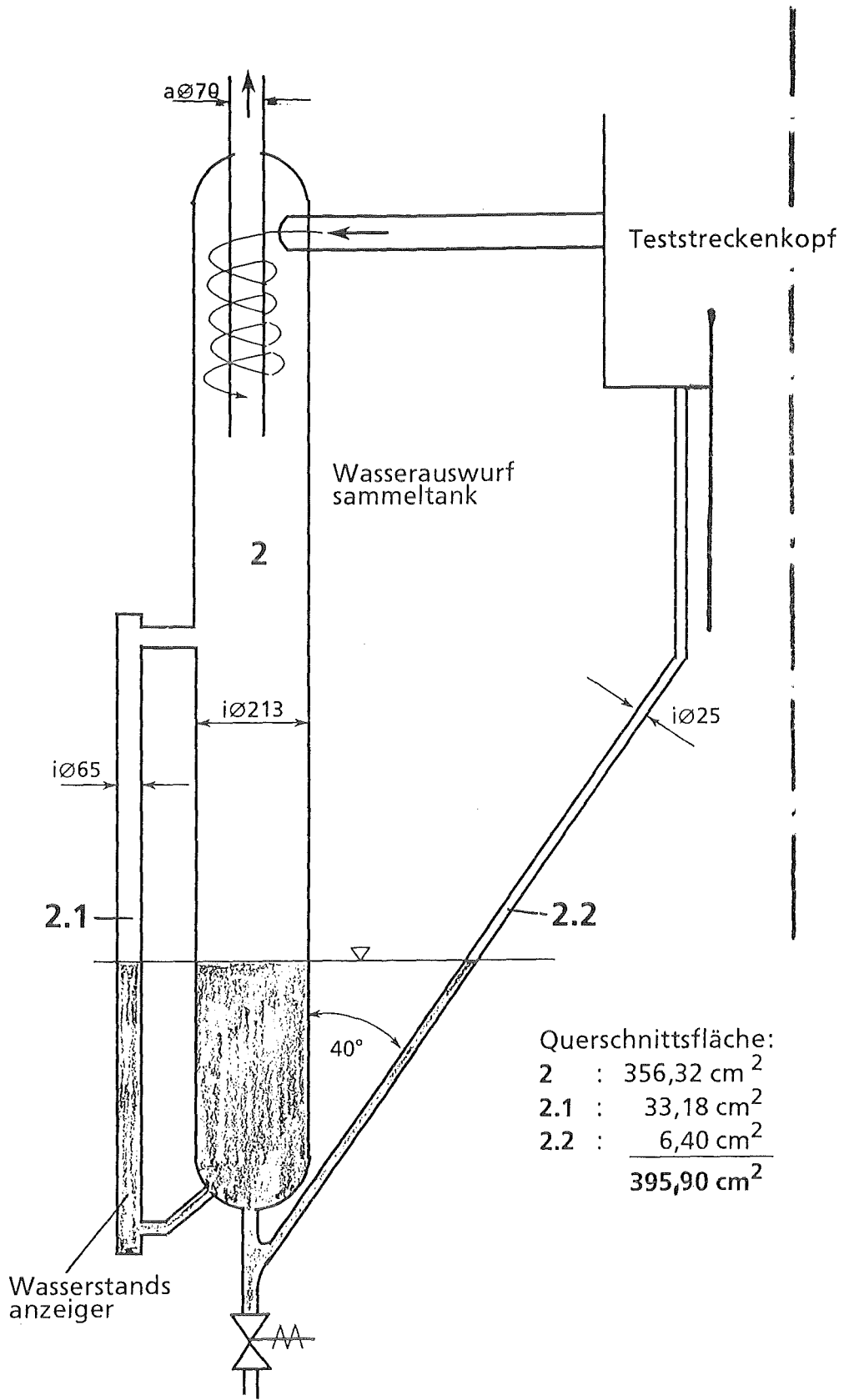


Abb. 14 FLORESTAN Wasserauswurfsammeltank

FDWR 1.2

Heizstabtemperaturen in axialer
 Mitte zu Flutbeginn : 500 C
 Kalte Flutrate : 8,1 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur : 130 C
 Systemdruck : 4,1 bar
 Stableistung : 2,8 kW

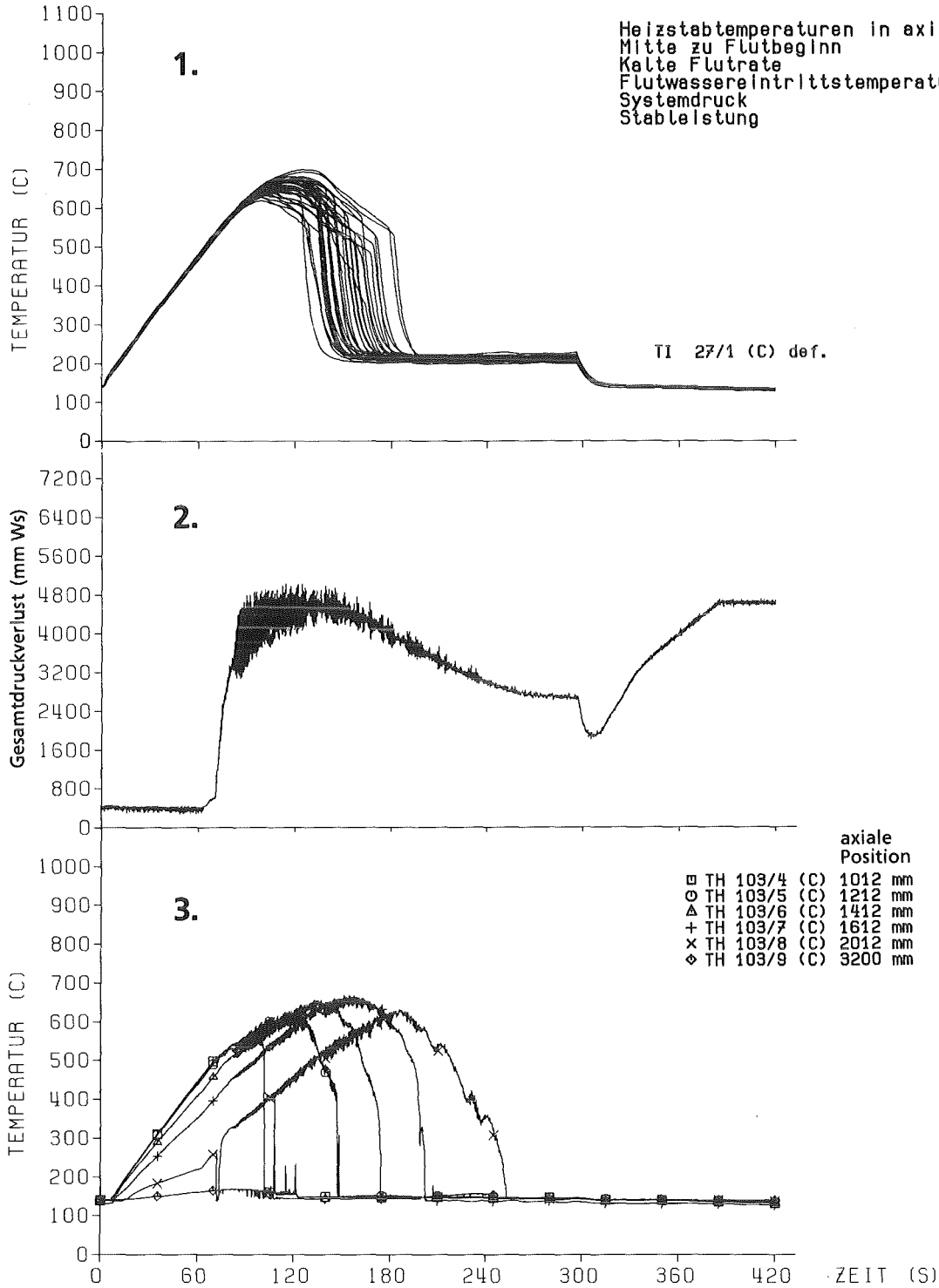


Abb.: 15 Flutversuch: FDWR 1.2
 1. Innentemperaturen in ax. Bündelmitte ohne Außenkrenz.
 2. Gesamtdruckverlust (N2) in der Teststrecke.
 3. Axiale Hüllrohrtemperaturen von Stab 103.

FDWR 1.3

Heizstabtemperaturen in axialer
 Mitte zu Flutbeginn : 500 C
 Kalte Flutrate : 8,1 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur : 130 C
 Systemdruck : 4,1 bar
 Stableistung : 2,8 kW

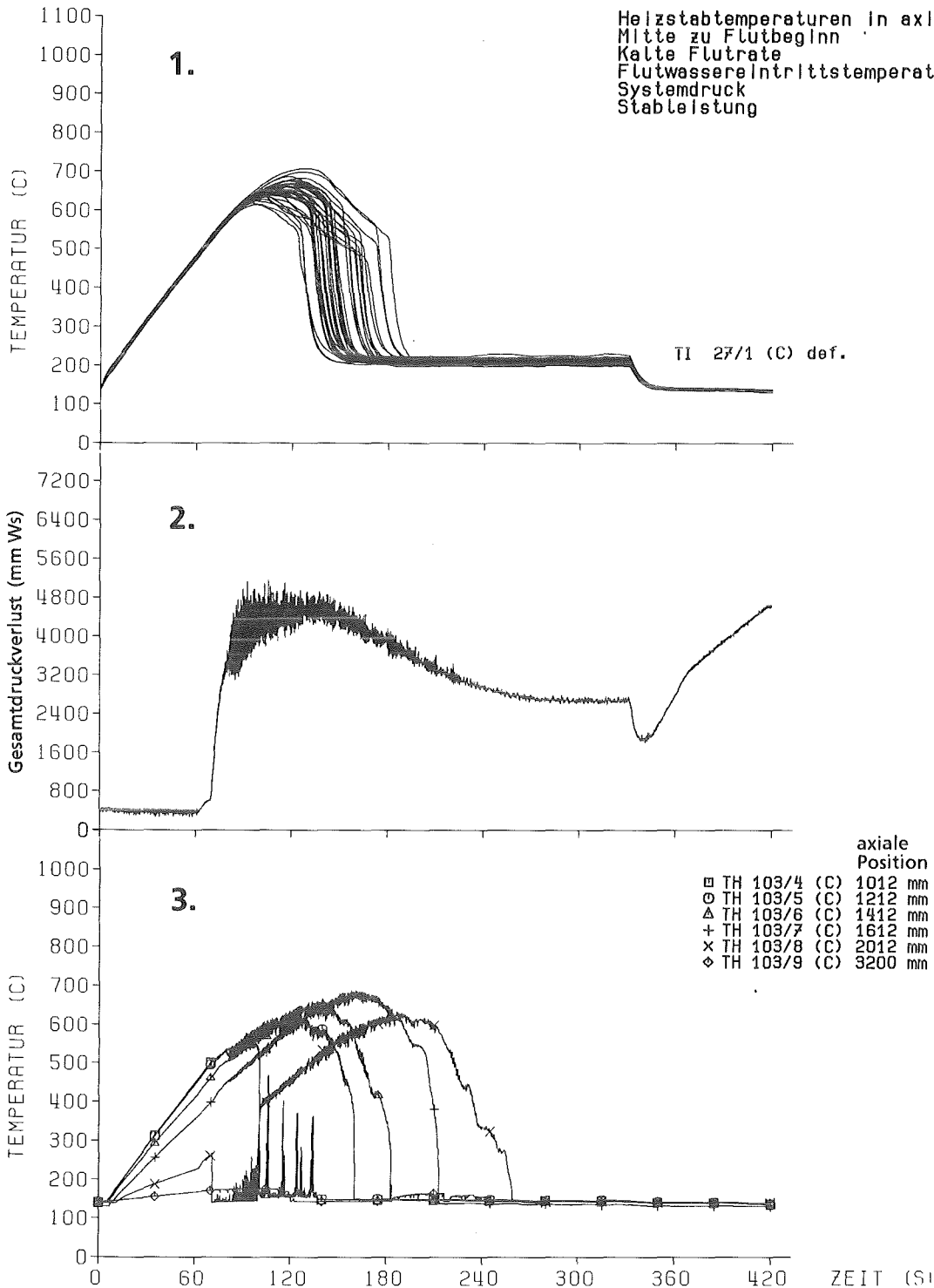


Abb.: 16 Flutversuch: FDWR 1.3
 1. Innentemperaturen in ax. Bündelmitte ohne Außenkranz.
 2. Gesamtdruckverlust (N2) in der Teststrecke.
 3. Axiale Hüllrohrtemperaturen von Stab 103.

FDWR 2.1

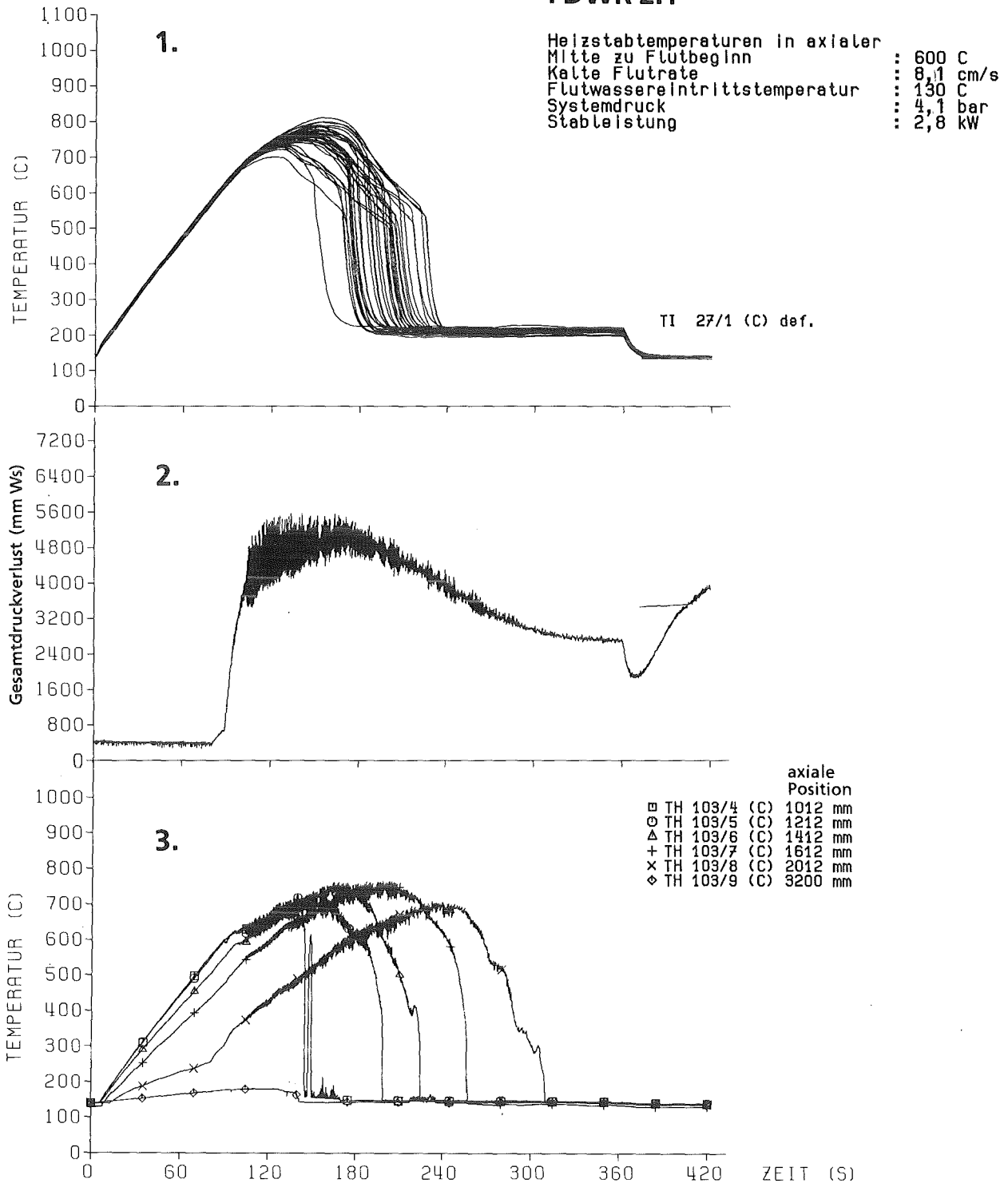


Abb.: 17 Flutversuch: FDWR 2.1

1. Innentemperaturen in ax. Bündelmitte ohne Außenkranz.
2. Gesamtdruckverlust (N₂) in der Teststrecke.
3. Axiale Hüllrohrtemperaturen von Stab 103.

FDWR 3.1

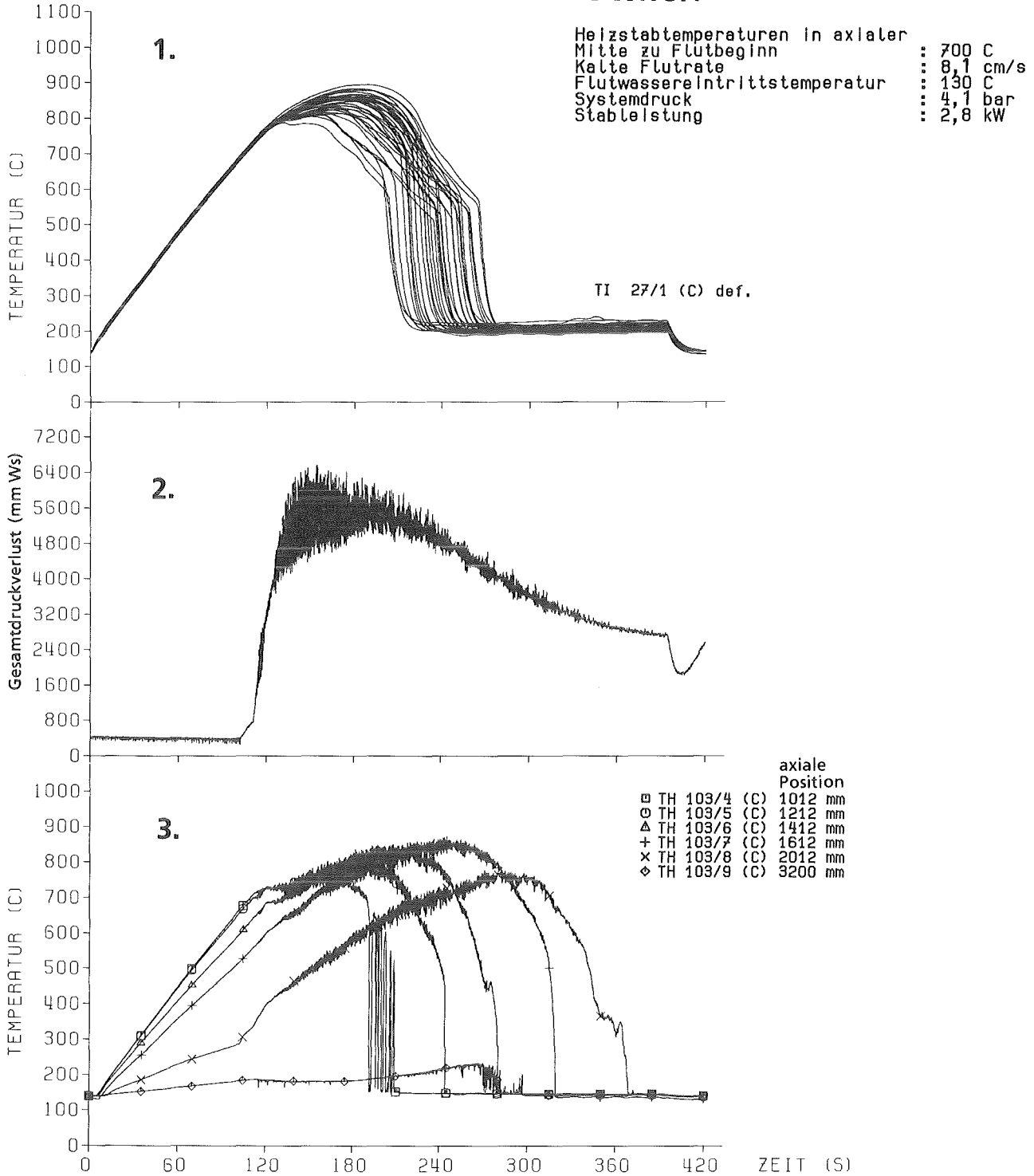


Abb.: 18 Flutversuch: FDWR 3.1
 1. Innentemperaturen in ax. Bündelmittle ohne Außenkranz.
 2. Gesamtdruckverlust (N₂) in der Teststrecke.
 3. Axiale Hüllrohrtemperaturen von Stab 103.

FDWR 4.1

Heizstabtemperaturen in axialer Mitte zu Flutbeginn : 700 C
 Kalte Flutrate : 8,1 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur : 130 C
 Systemdruck : 4,1 bar
 Stableistung : 1,4 kW

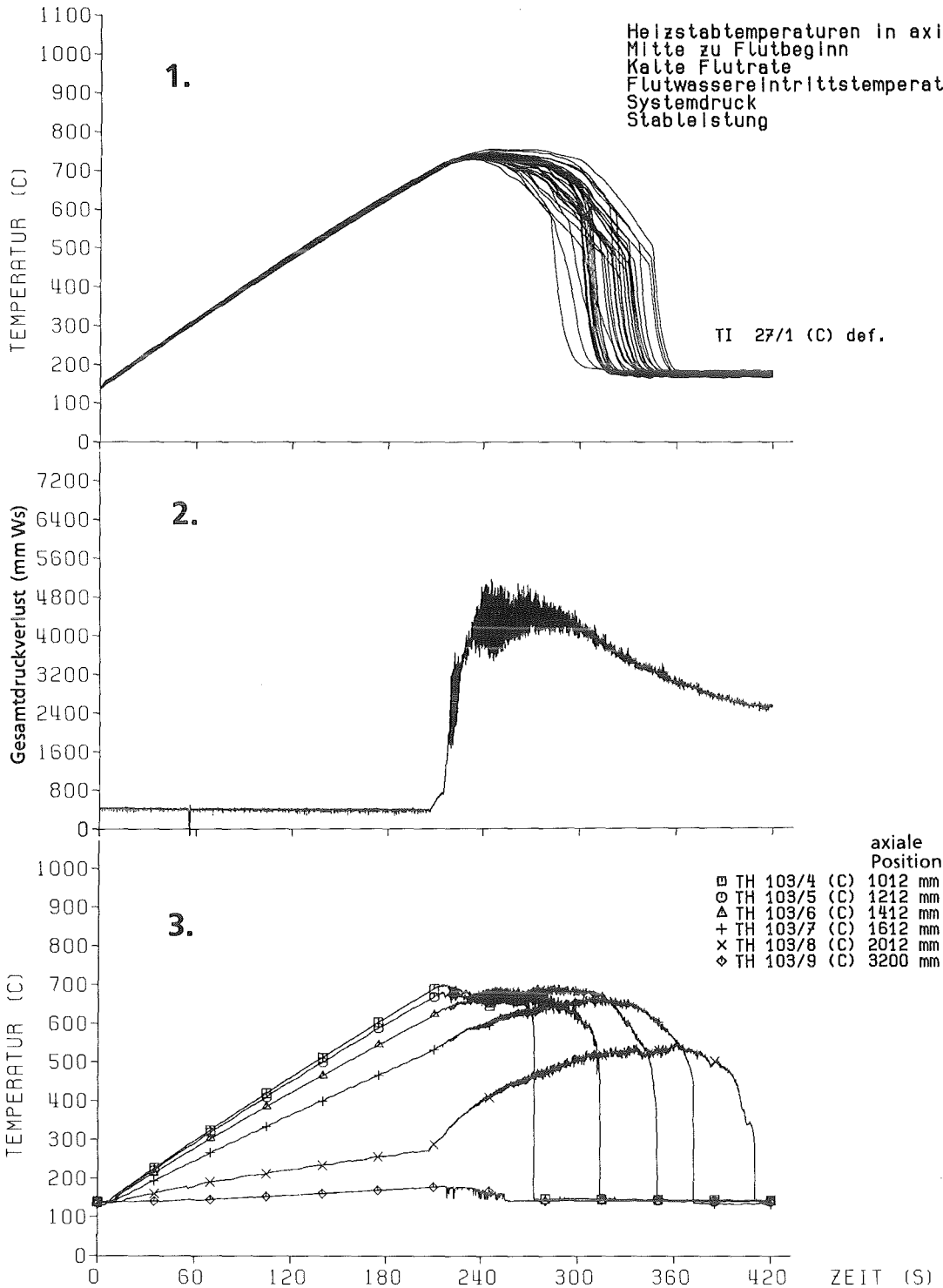


Abb.: 19 Flutversuch: FDWR 4.1

1. Innentemperaturen in ax. Bündelmitte ohne Außenkranz.
2. Gesamtdruckverlust (N₂) in der Teststrecke.
3. Axiale Hüllrohrtemperaturen von Stab 103.

FDWR 5.1

Heizstabtemperaturen in axialer
 Mitte zu Flutbeginn : 800 C
 Kalte Flutrate : 8,1 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur : 130 C
 Systemdruck : 4,1 bar
 Stableistung : 1,4 kW

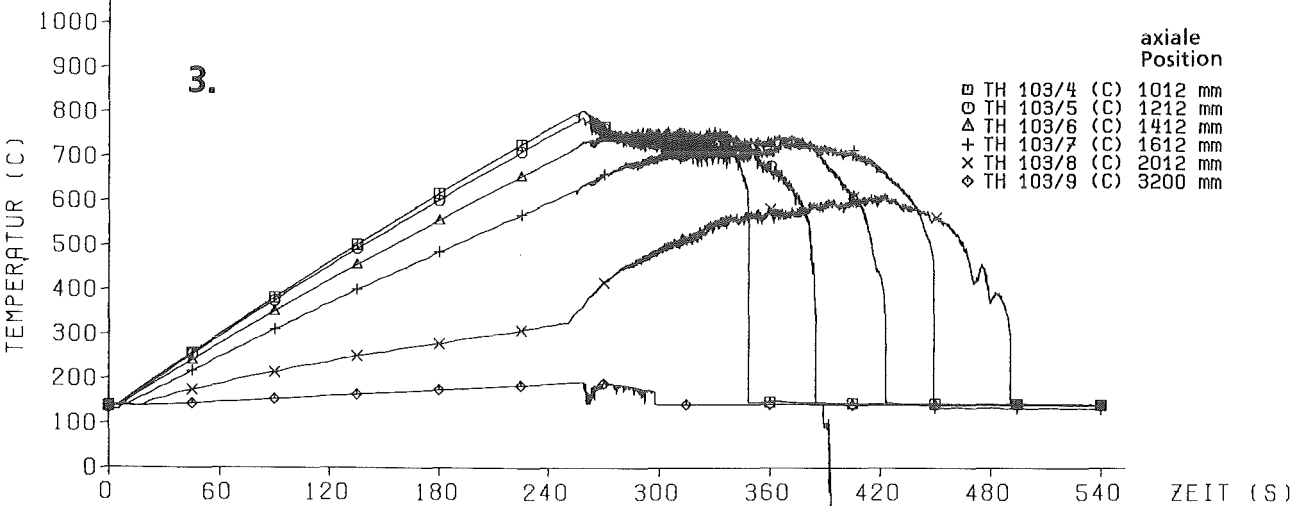
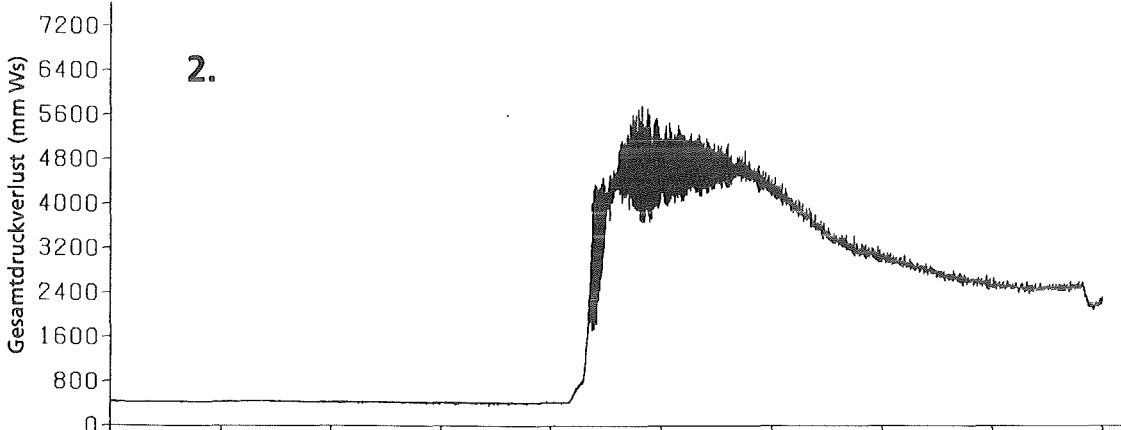
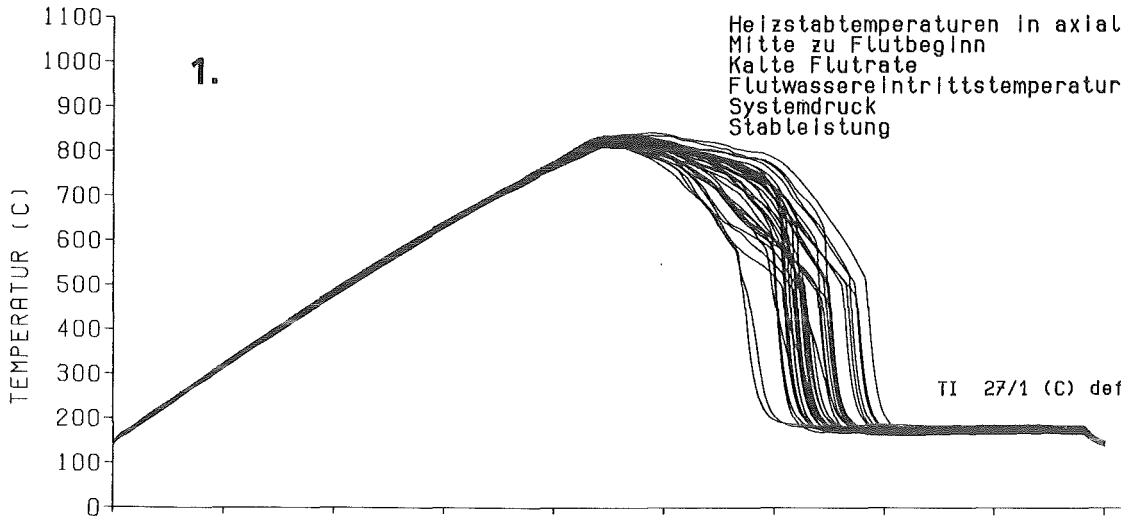


Abb.: 20 Flutversuch: FDWR 5.1
 1. Innentemperaturen in ax. Bündelmitte ohne Außenkranz.
 2. Gesamtdruckverlust (N₂) in der Teststrecke.
 3. Axiale Hüllrohrtemperaturen von Stab 103.

FDWR 6.1

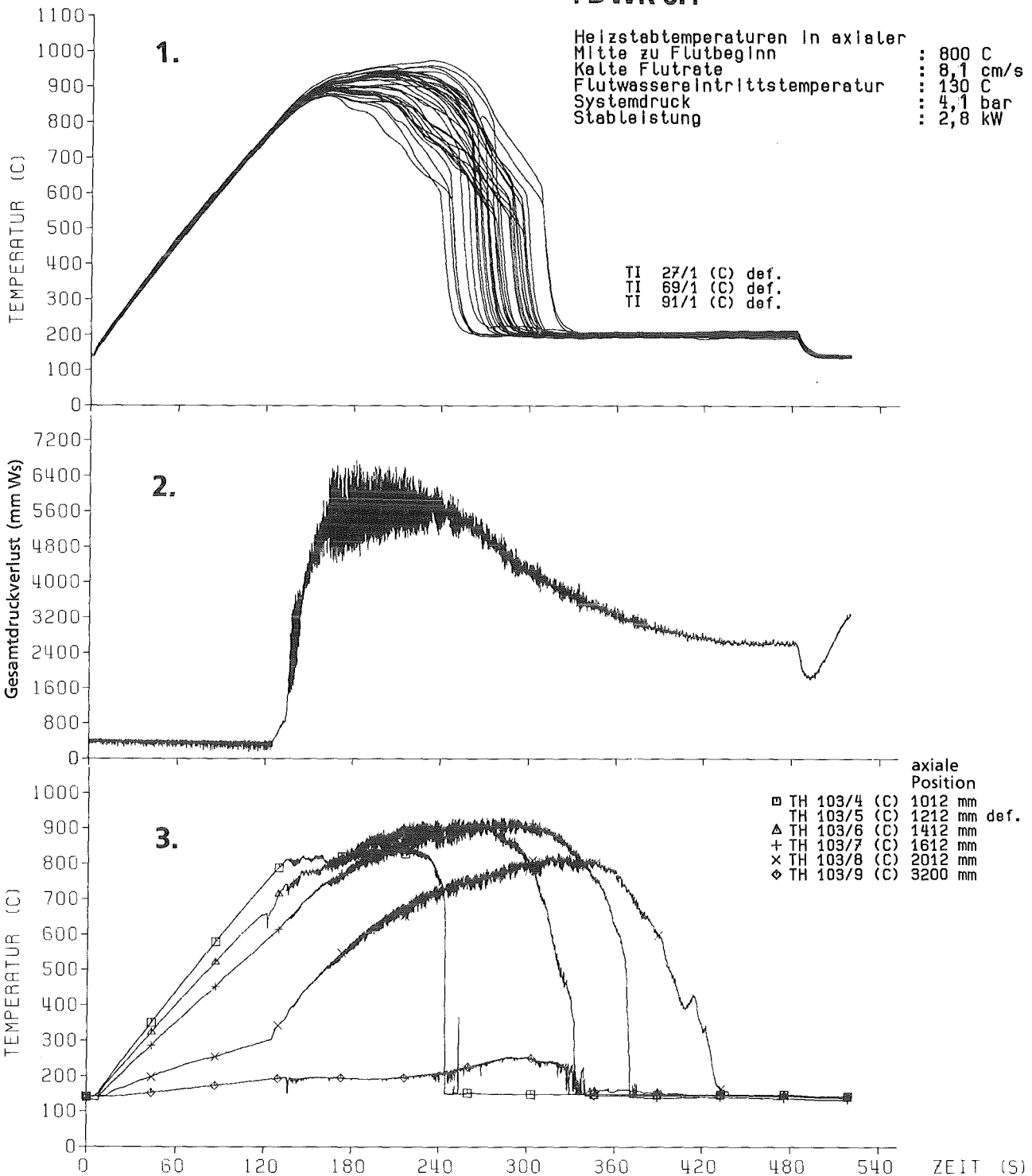


Abb.: 21 Flutversuch: FDWR 6.1
 1. Innentemperaturen in ax. Bündelmitte ohne Außenkranz.
 2. Gesamtdruckverlust (N2) in der Teststrecke.
 3. Axiale Hüllrohrtemperaturen von Stab 103.

FDWR 7.1

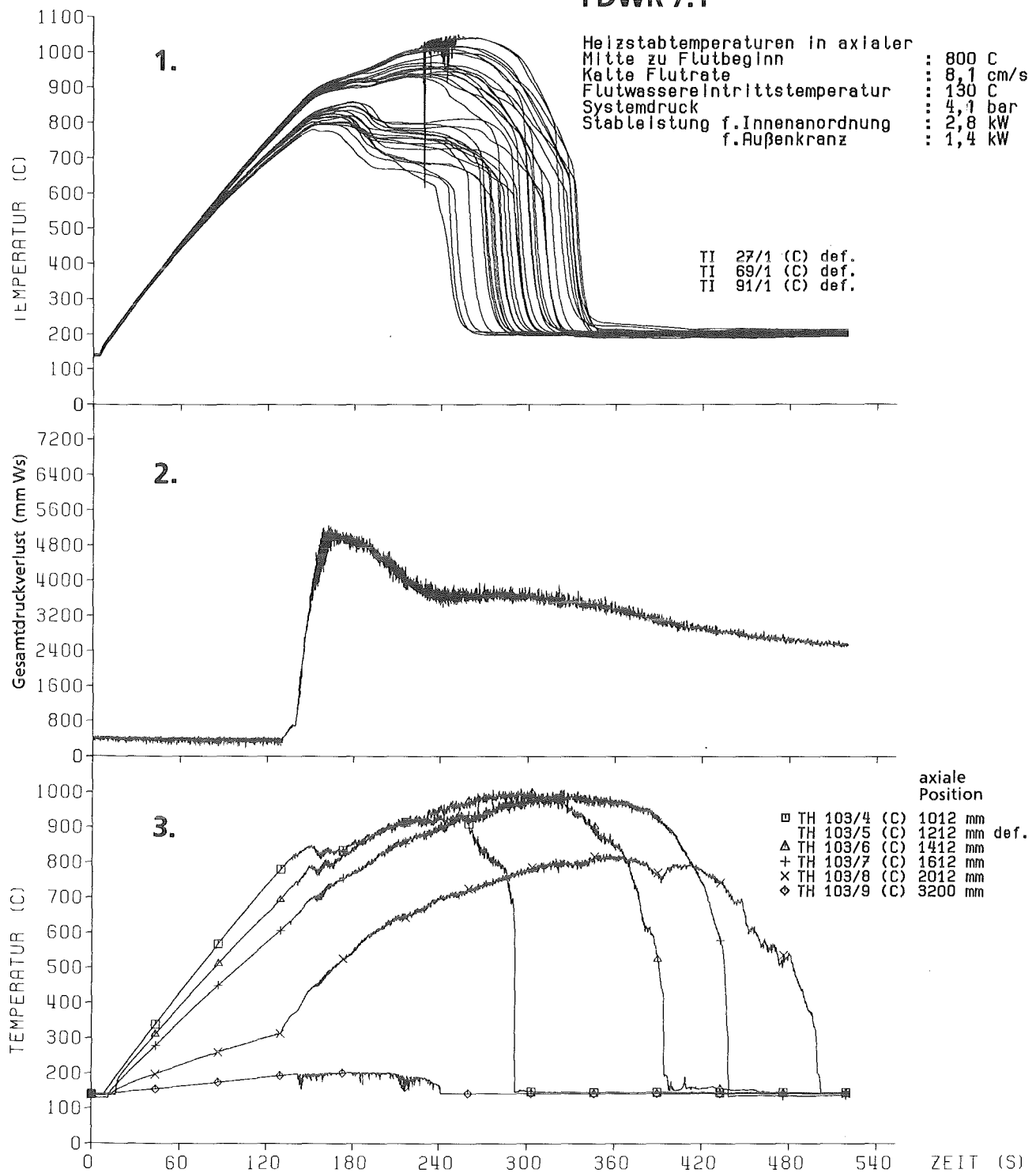


Abb.: 22 Flutversuch: FDWR 7.1
 1. Innentemperaturen in ax. Bündelmitte ohne Außenkranz.
 2. Gesamtdruckverlust (N2) in der Teststrecke.
 3. Axiale Hüllrohrtemperaturen von Stab 103.

FDWR 7.2

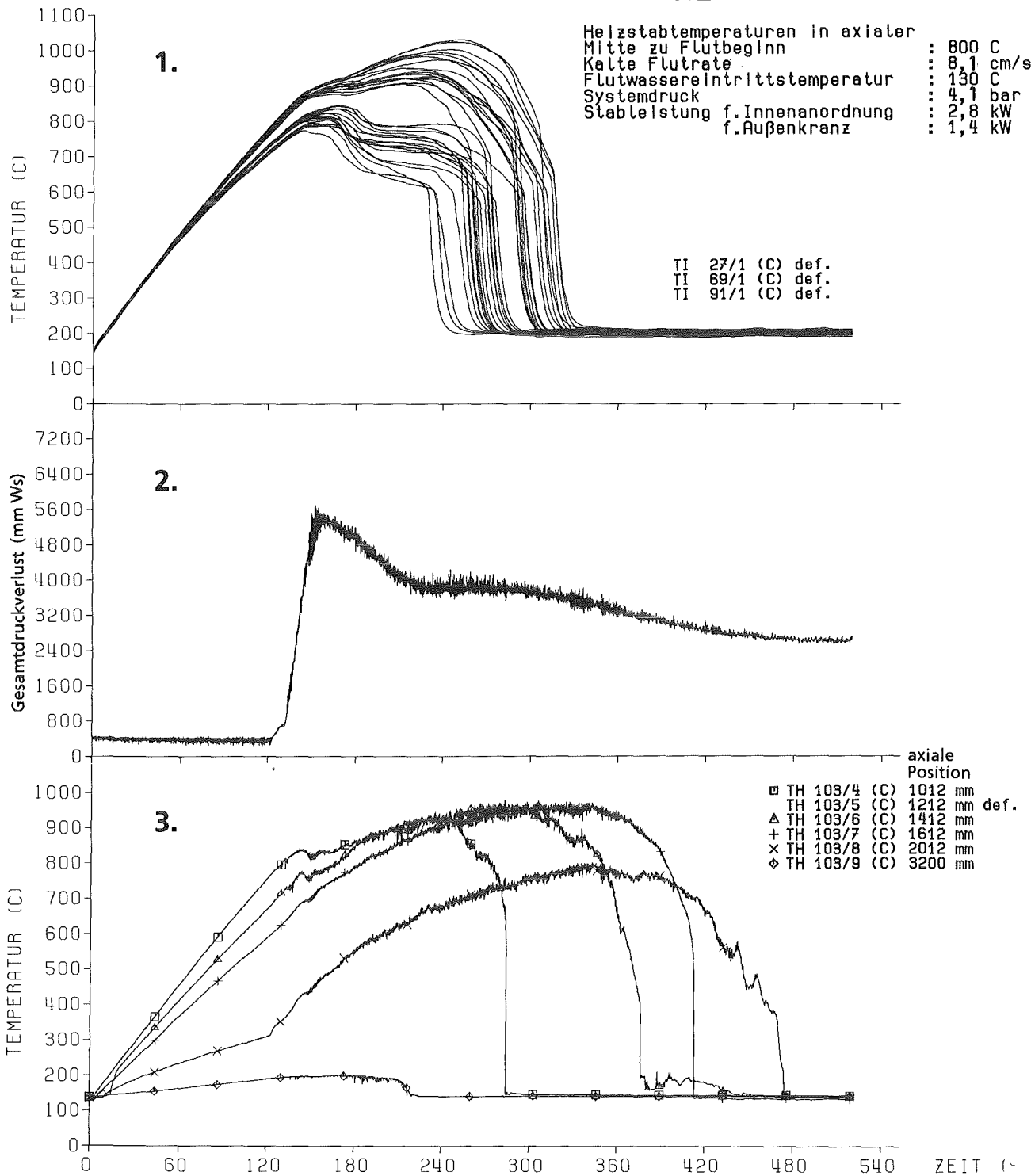


Abb.: 23 Flutversuch: FDWR 7.2

1. Innentemperaturen in ax. Bündelmittle ohne Außenkranz.
2. Gesamtdruckverlust (N2) in der Teststrecke.
3. Axiale Hüllrohrtemperaturen von Stab 103.

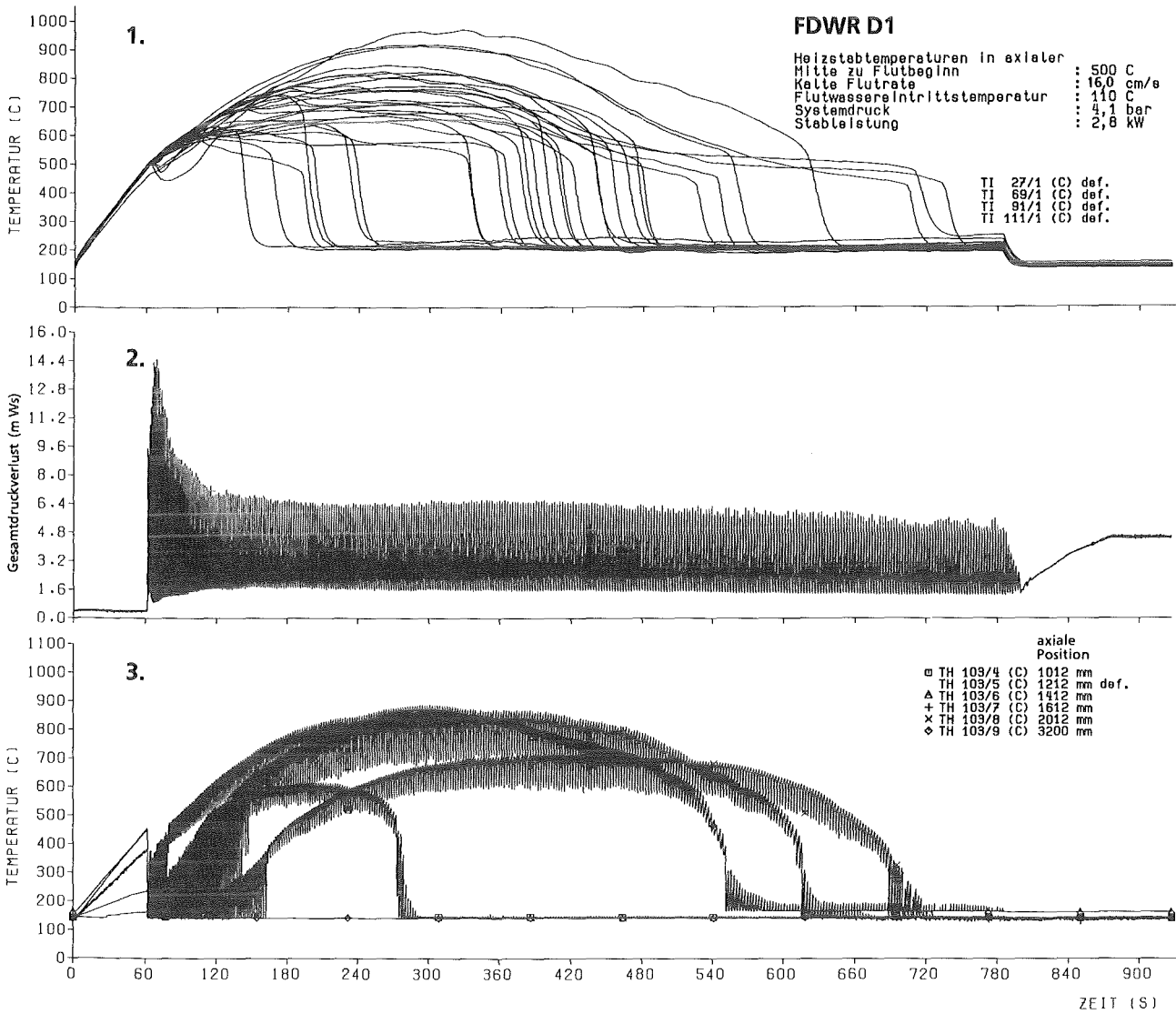


Abb.: 24 Flutversuch: FDWR D1
 1. Innentemperaturen in ax. Bündelmittle ohne Außenkranz.
 2. Gesamtdruckverlust (N₂) in der Teststrecke.
 3. Axiale Hüllrohrtemperaturen von Stab 103.

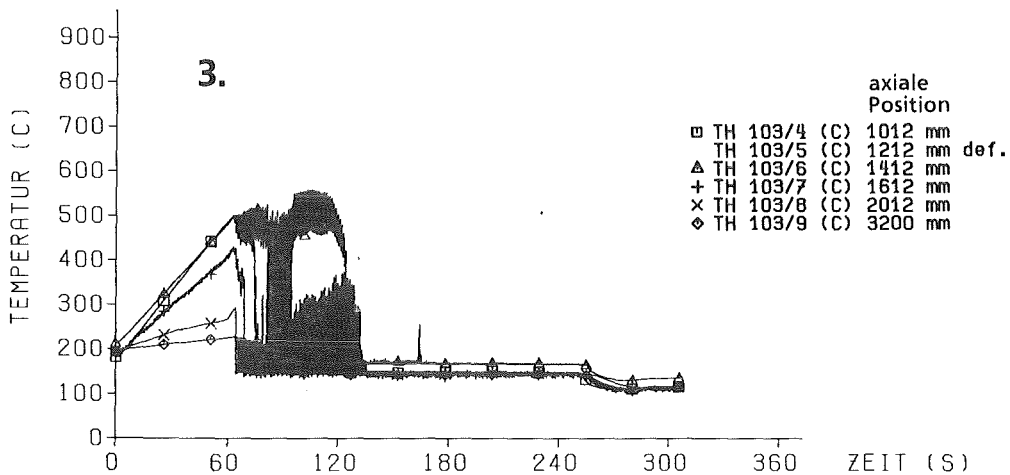
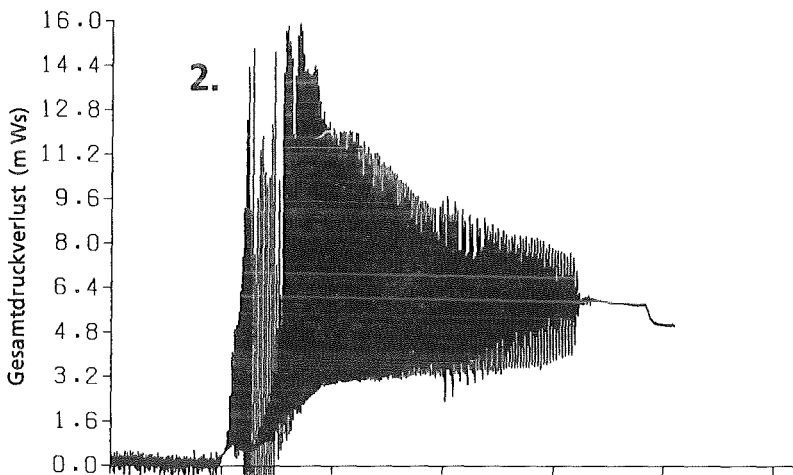
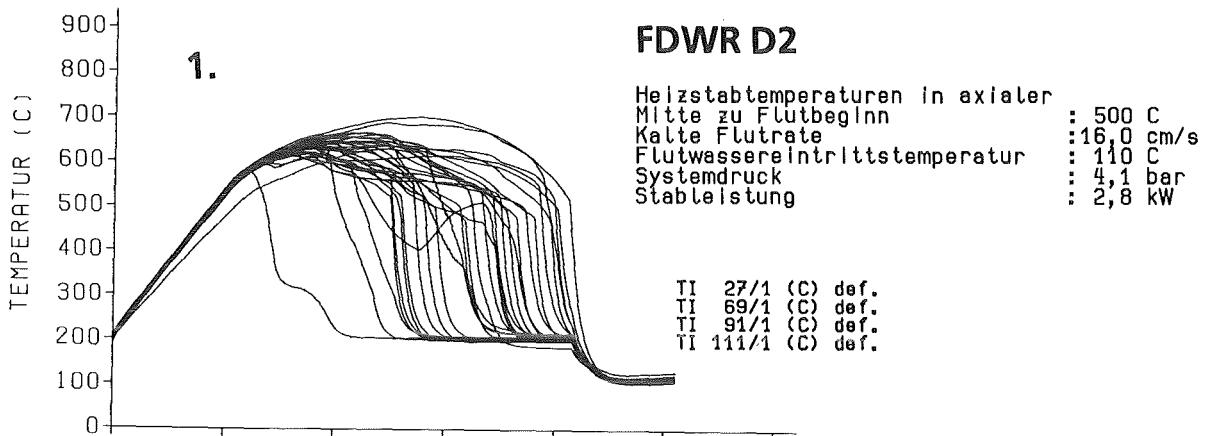


Abb.: 25 Flutversuch: FDWR D2
 1. Innentemperaturen in ax. Bündelmitte ohne Außenkranz.
 2. Gesamtdruckverlust (N2) in der Teststrecke.
 3. Axiale Hüllrohrtemperaturen von Stab 103.

FDWR D3

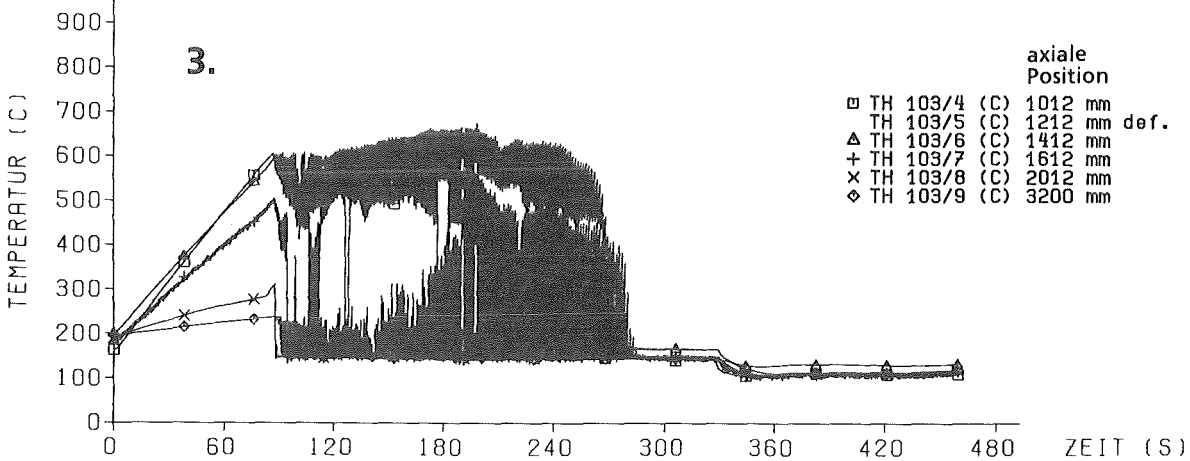
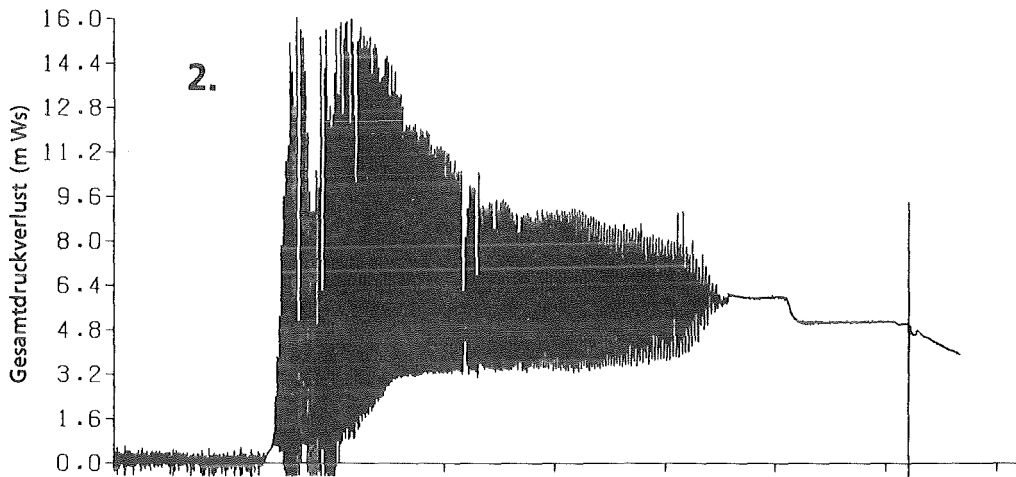
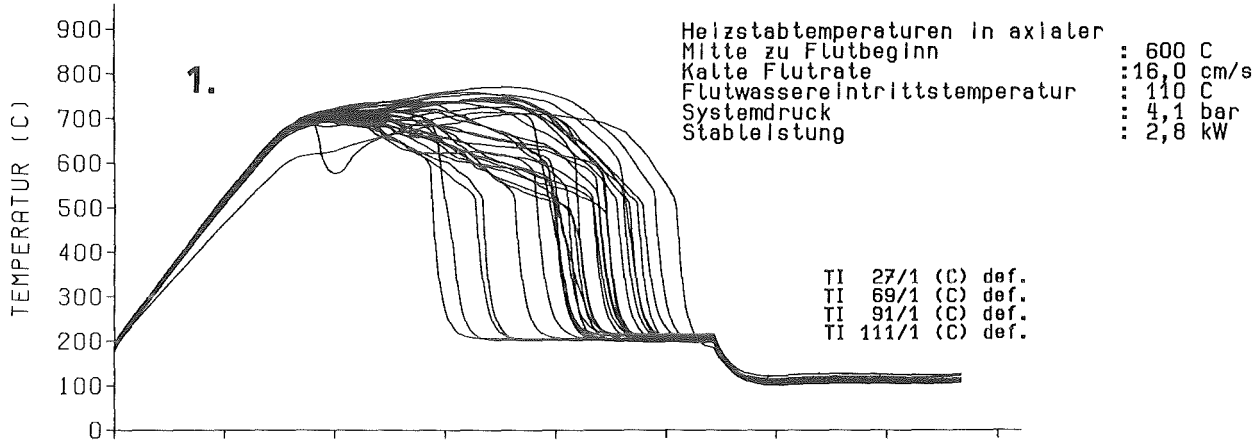


Abb.: 26 Flutversuch: FDWR D3
 1. Innentemperaturen in ax. Bündelmitte ohne Außenkranz.
 2. Gesamtdruckverlust (N2) in der Teststrecke.
 3. Axiale Hüllrohrtemperaturen von Stab 103.

FDWR D4

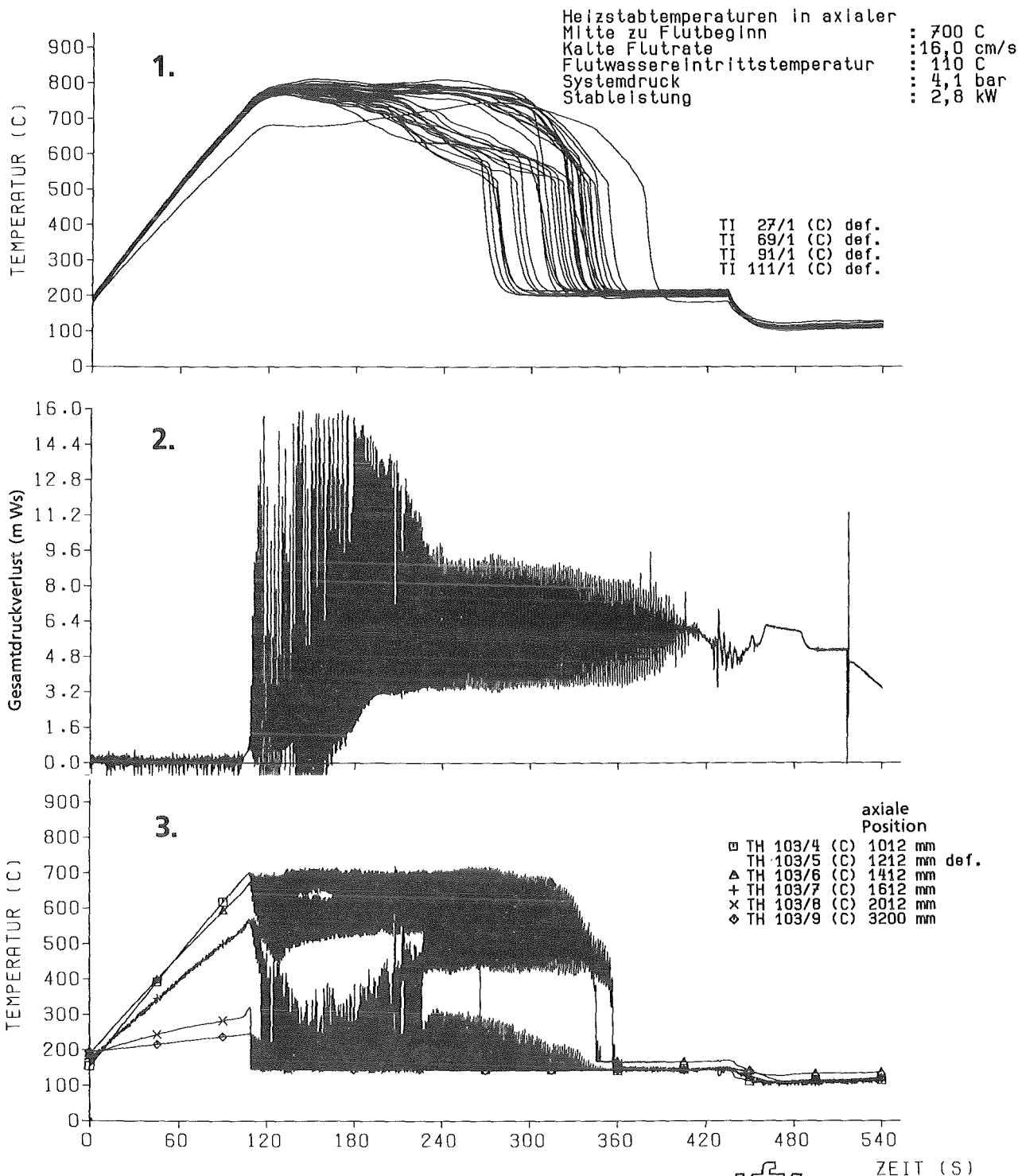


Abb.: 27 Flutversuch: FDWR D4
 1. Innentemperaturen in ax. Bündelmitte ohne Außenkranz.
 2. Gesamtdruckverlust (N2) in der Teststrecke.
 3. Axiale Hüllrohrtemperaturen von Stab 103.

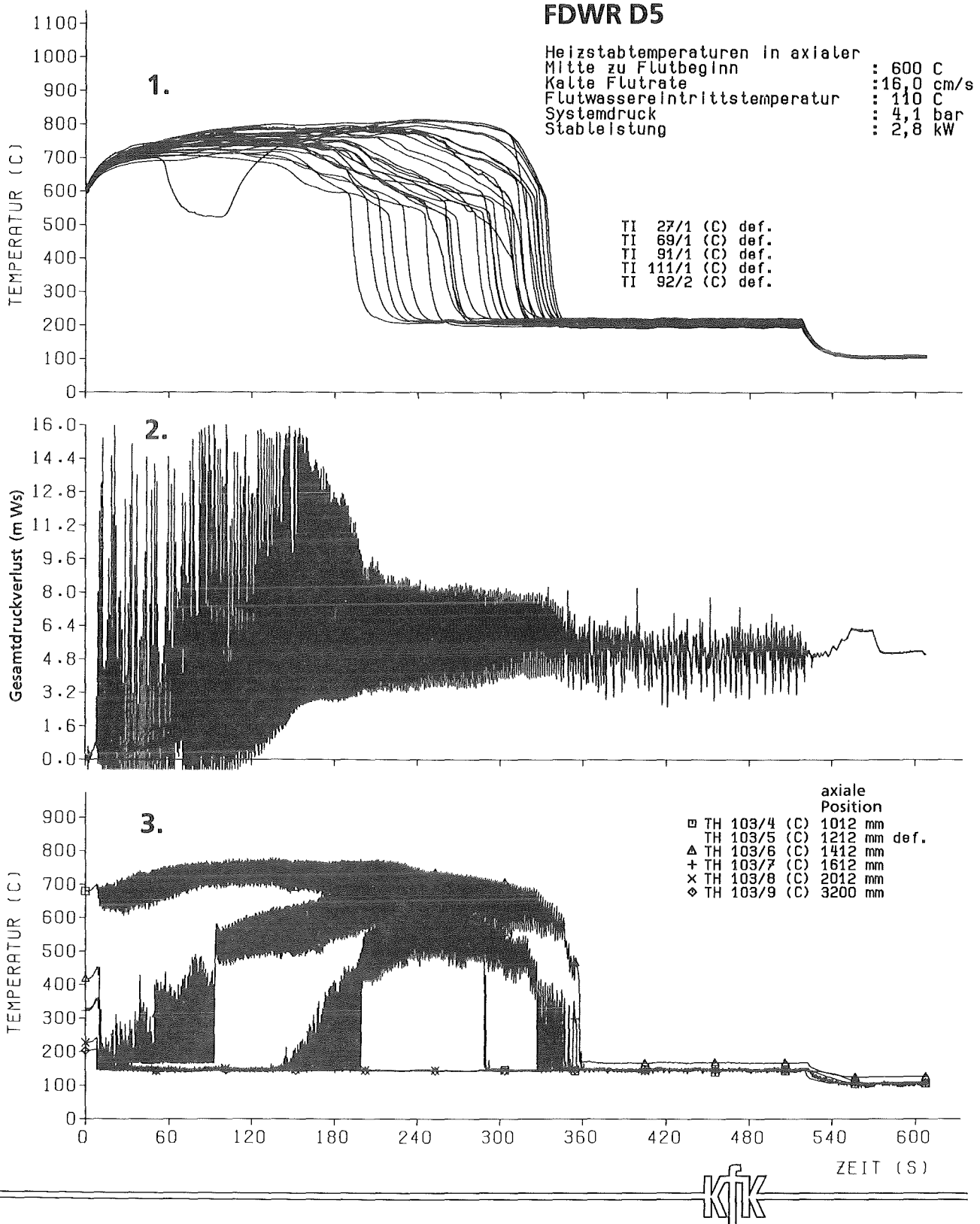
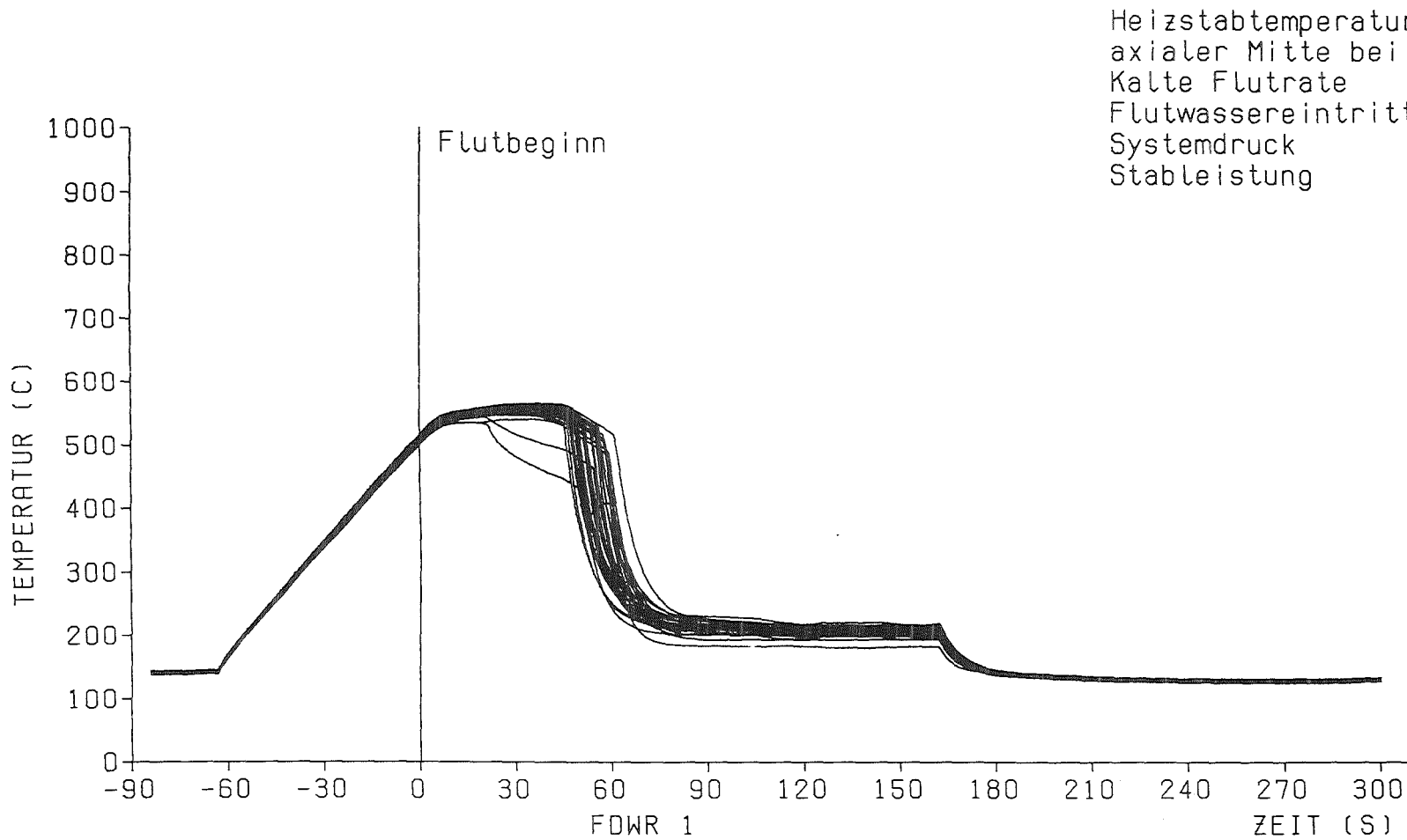


Abb.: 28 Flutversuch: FDWR D5
 1. Innentemperaturen in ax. Bündelmitte ohne Außenkrenz.
 2. Gesamtdruckverlust (N2) in der Teststrecke.
 3. Axiale Hüllrohrtemperaturen von Stab 103.

FDWR 1



— 67 —

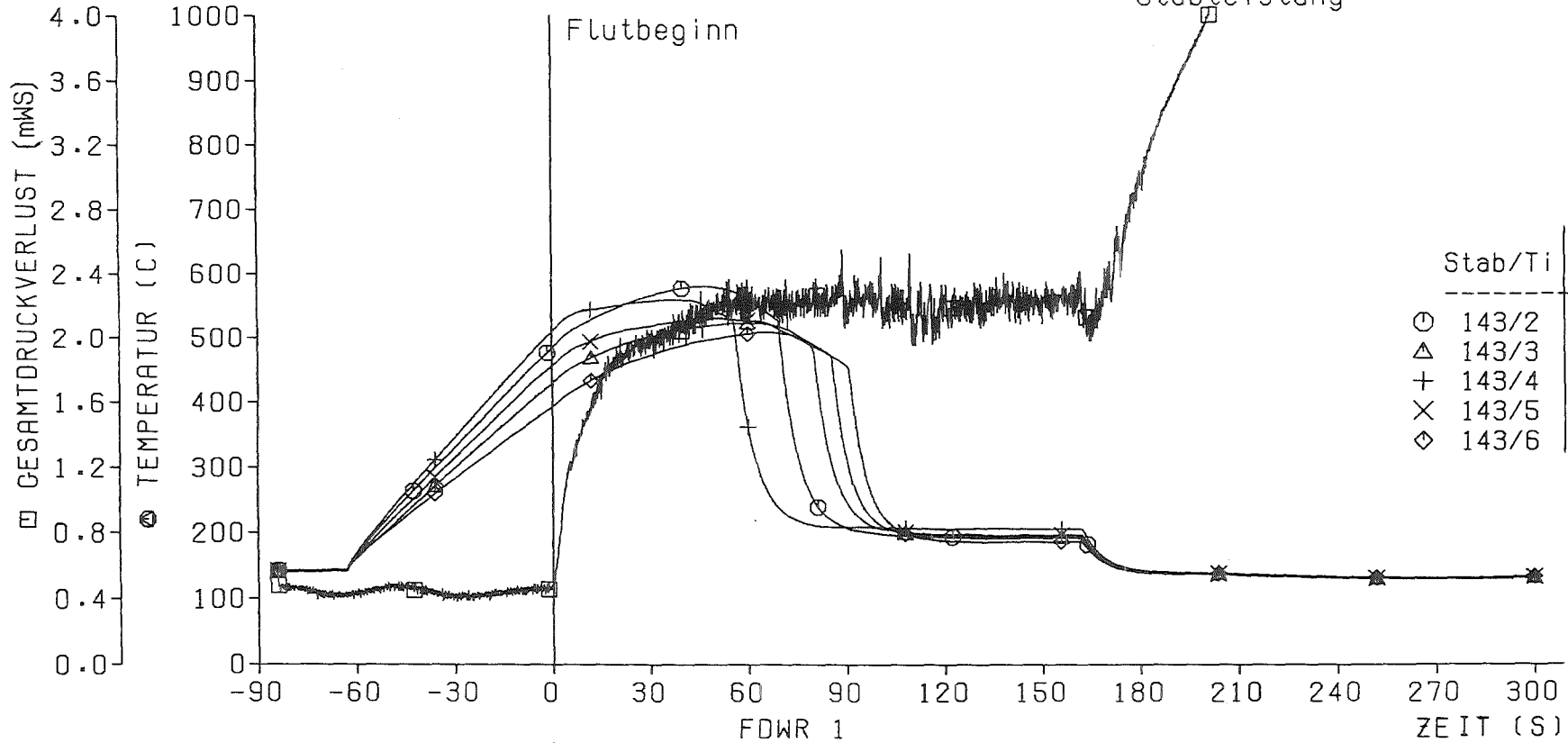
KIK IATF

Abb. 29

Heizstabtemperaturen in axialer Mitte im Innenbereich
des Bündels (37 Stäbe)

FDWR 1

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 500 C
 Kalte Flutrate : 8,1 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 4,1 bar
 Stableistung : 2,3 KW



- 88 -

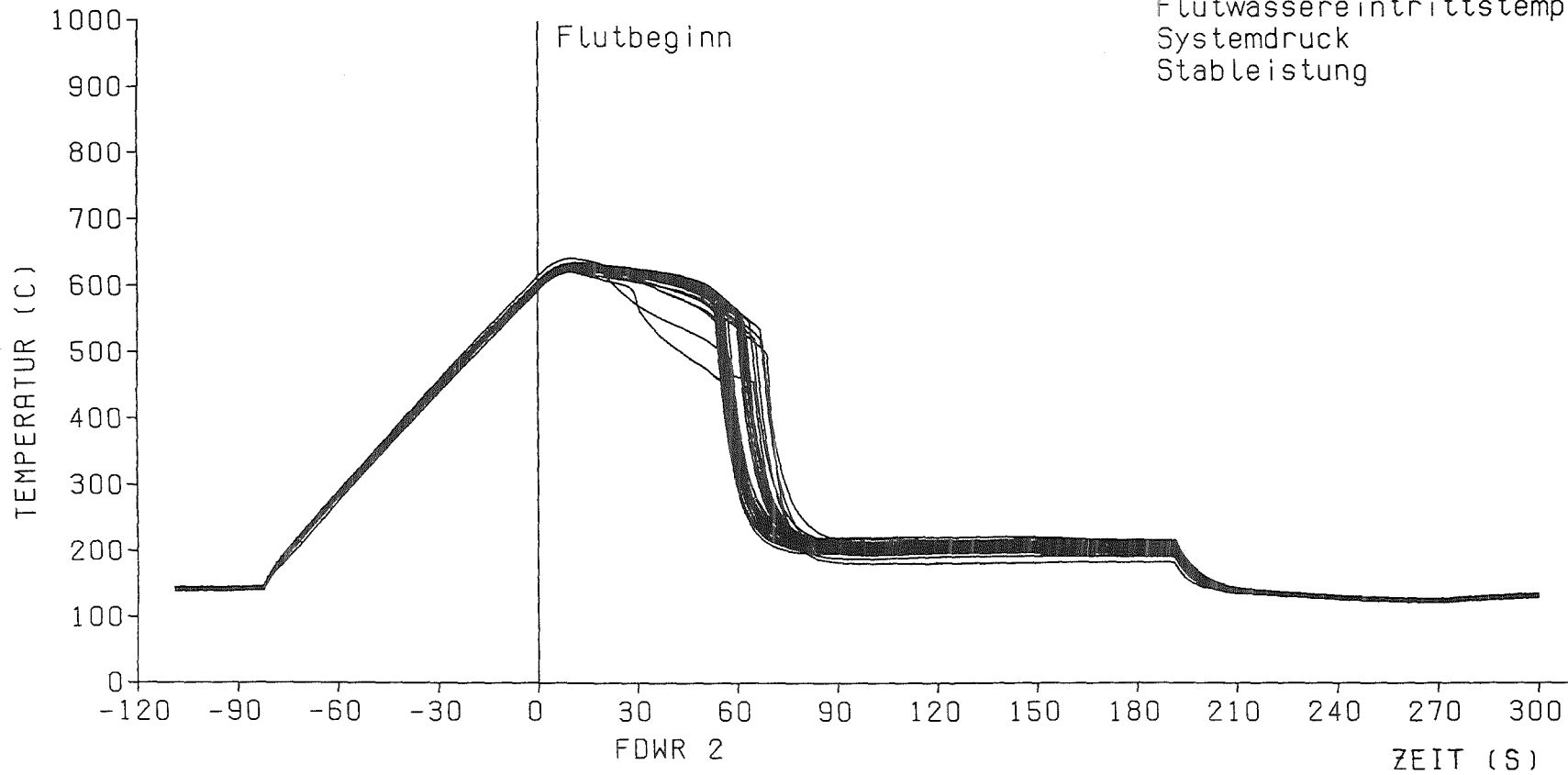


Abb. 30

Heizstabtemperaturen in verschiedenen axialen Höhen
 des Stabes 143 und Gesamtdruckverlust

FDWR 2

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 600 C
 Kalte Flutrate : 8,1 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 4,1 bar
 Stableistung : 2,3 KW



— 89 —

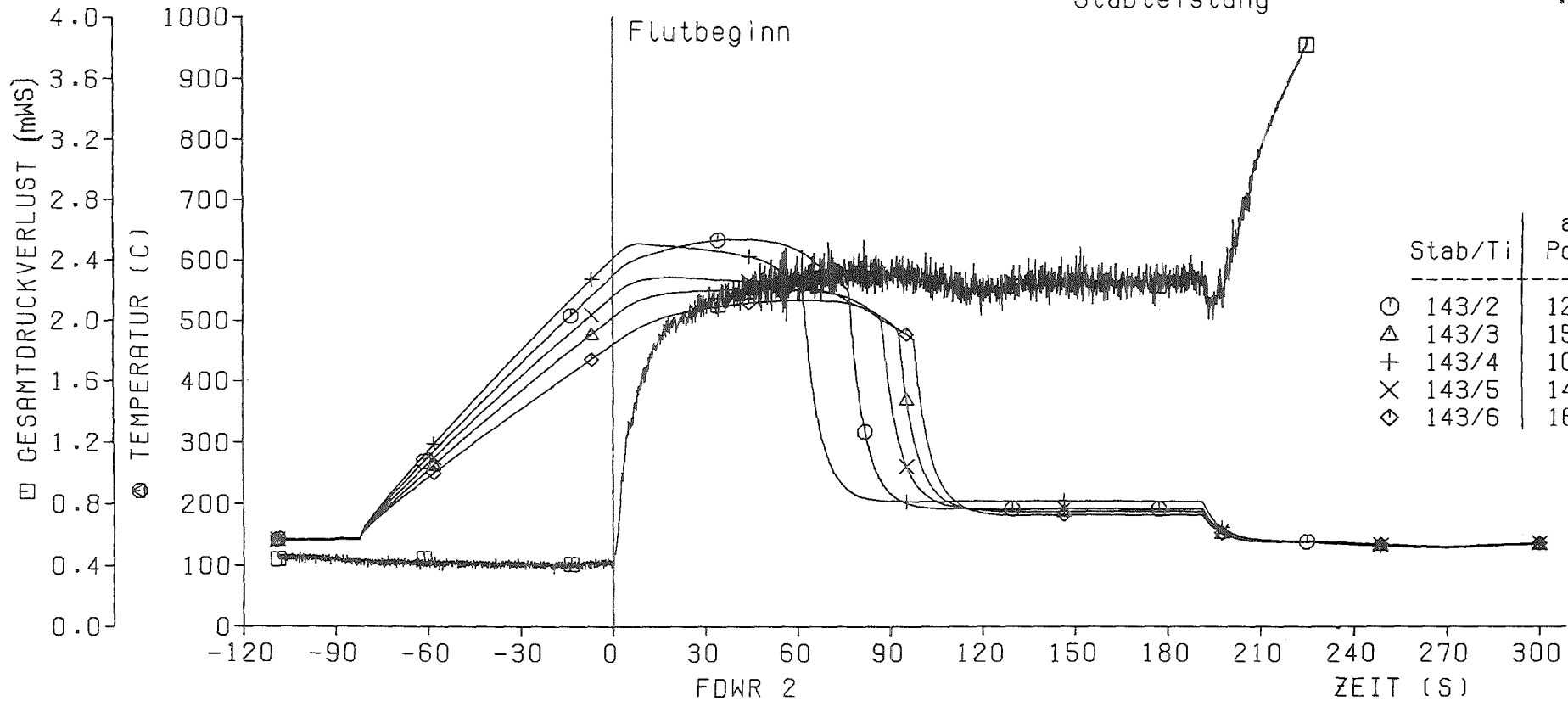


Abb. 31

Heizstabtemperaturen in axialer Mitte im Innenbereich des Bündels (37 Stäbe)

FDWR 2

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 600 C
 Kalte Flutrate : 8,1 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 4,1 bar
 Stableistung : 2,3 KW



— 70 —

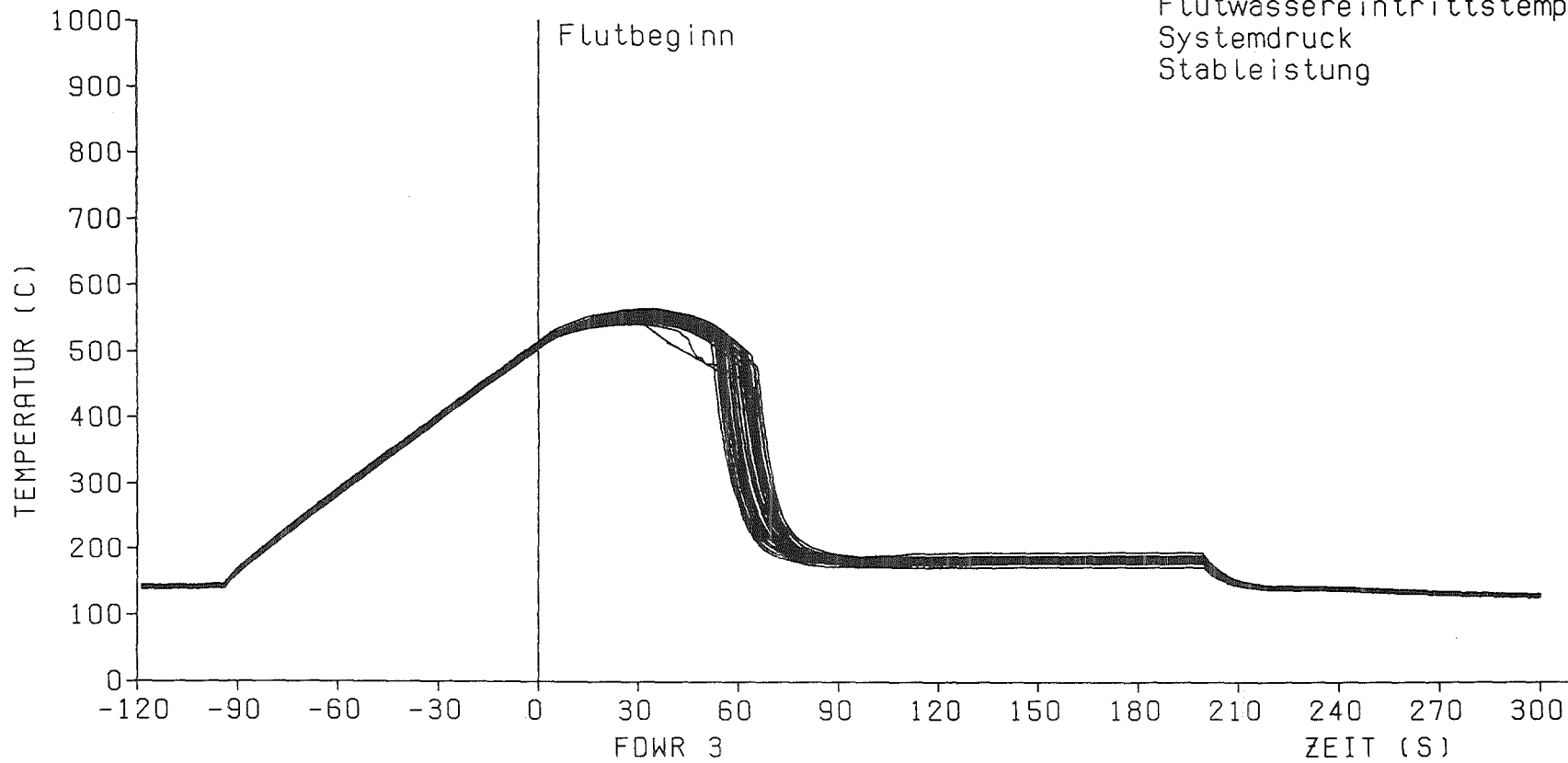


Abb.32

Heizstabtemperaturen in verschiedenen axialen Höhen des Stabes 143 und Gesamtdruckverlust

FDWR 3

Heizstabtemperaturen in
axialer Mitte bei Flutbeginn : 500 C
Kalte Flutrate : 4,2 cm/s
Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
Systemdruck : 4,0 bar
Stableistung : 1,6 KW



-71-

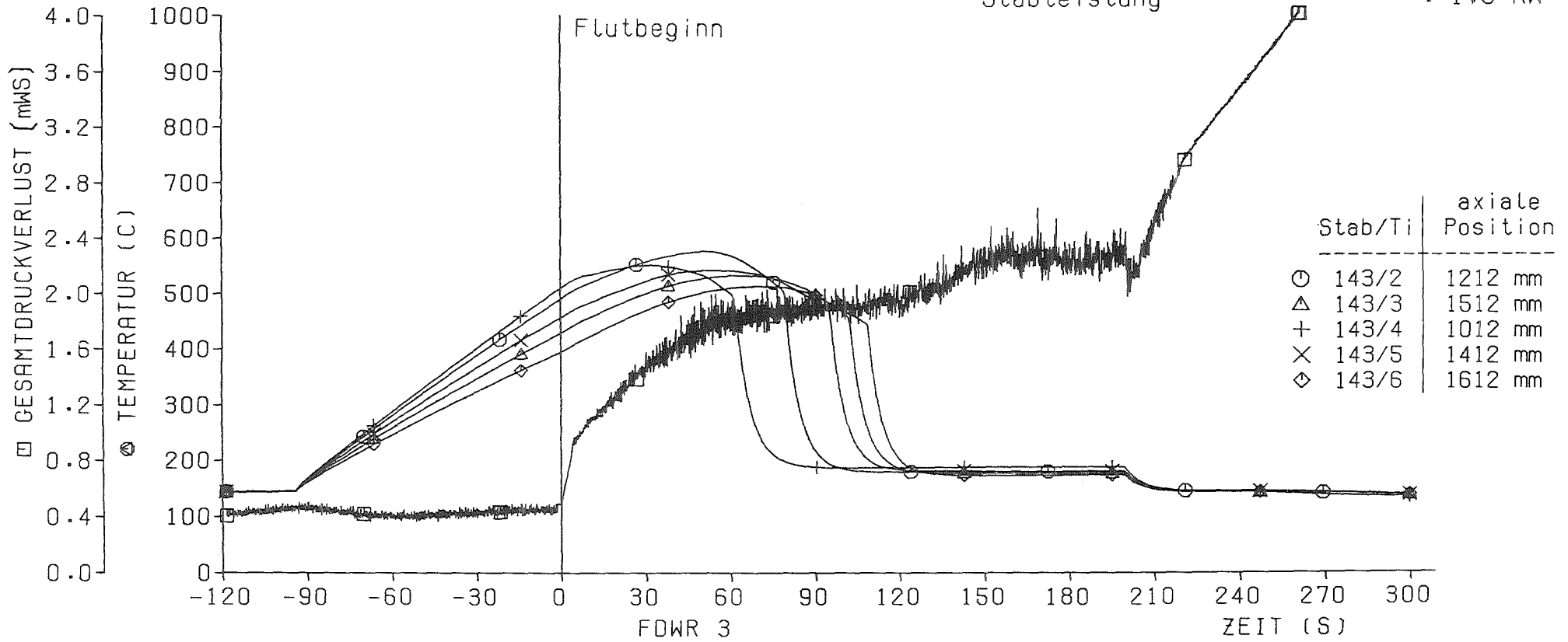


Abb.33

Heizstabtemperaturen in axialer Mitte im Innenbereich des Bündels(37 Stäbe)

FDWR 3

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 500 C
 Kalte Flutrate : 4,2 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 4,0 bar
 Stabileistung : 1,6 KW



— 72 —

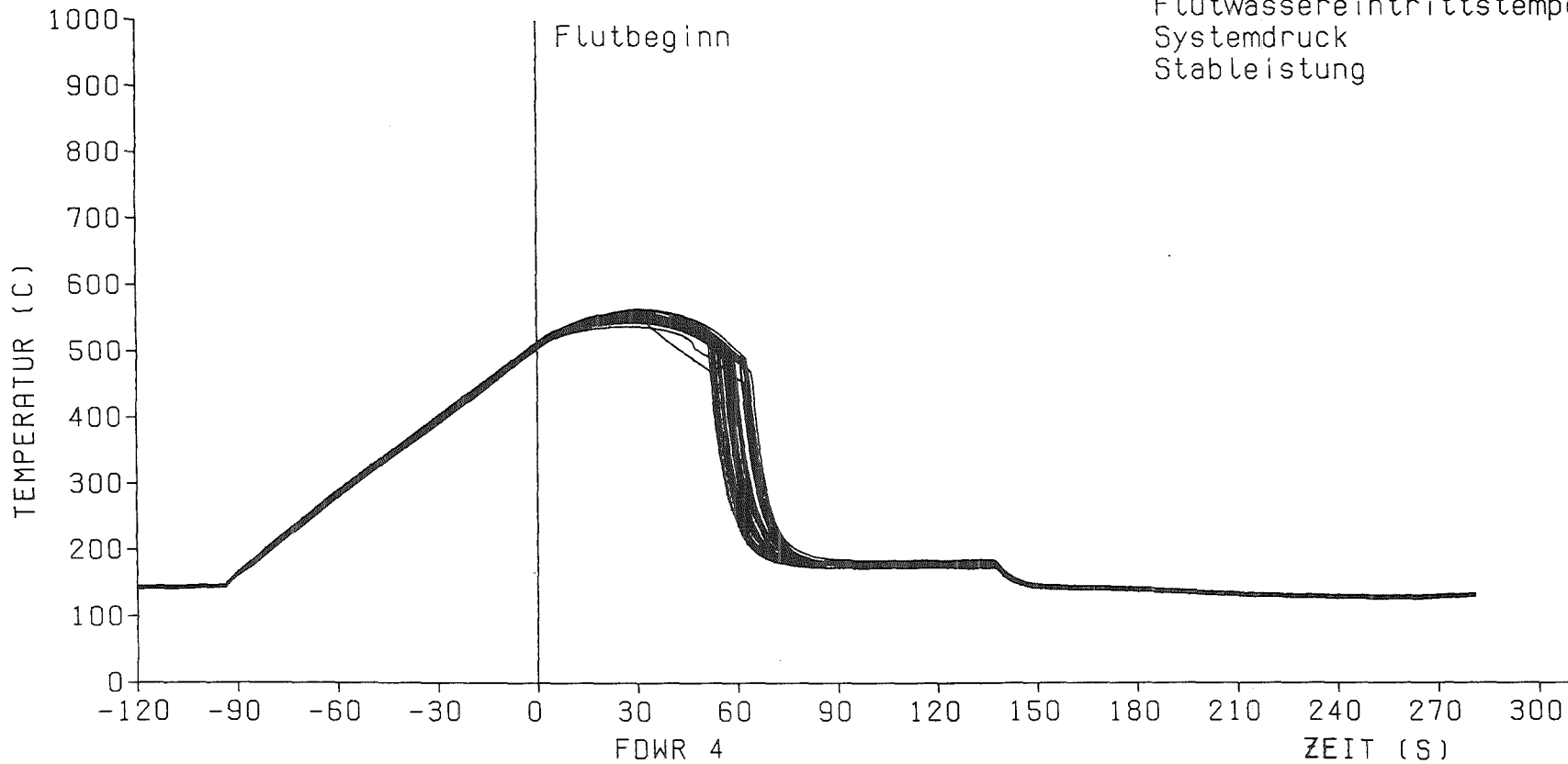


Abb. 34

Heizstabtemperaturen in verschiedenen axialen Höhen des Stabes 143 und Gesamtdruckverlust

FDWR 4

Heizstabtemperaturen in
axialer Mitte bei Flutbeginn : 500 C
Kalte Flutrate : 4,2 cm/s
Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
Systemdruck : 4,0 bar
Stableistung : 1,6 KW



— 73 —



Abb. 35

Heizstabtemperaturen in axialer Mitte im Innenbereich
des Bündels (37 Stäbe)

FDWR 4

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 500 C
 Kalte Flutrate : 4,2 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 4,0 bar
 Stableistung : 1,6 KW

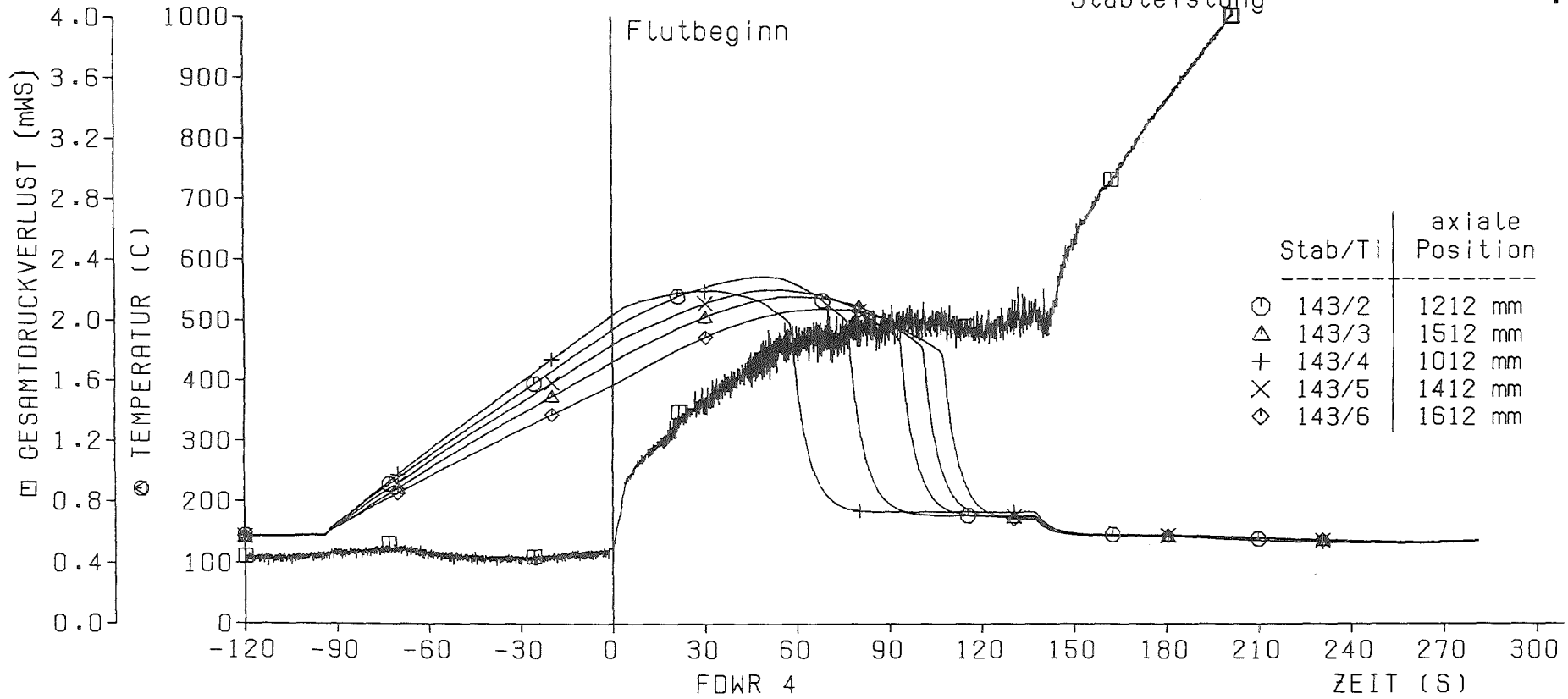
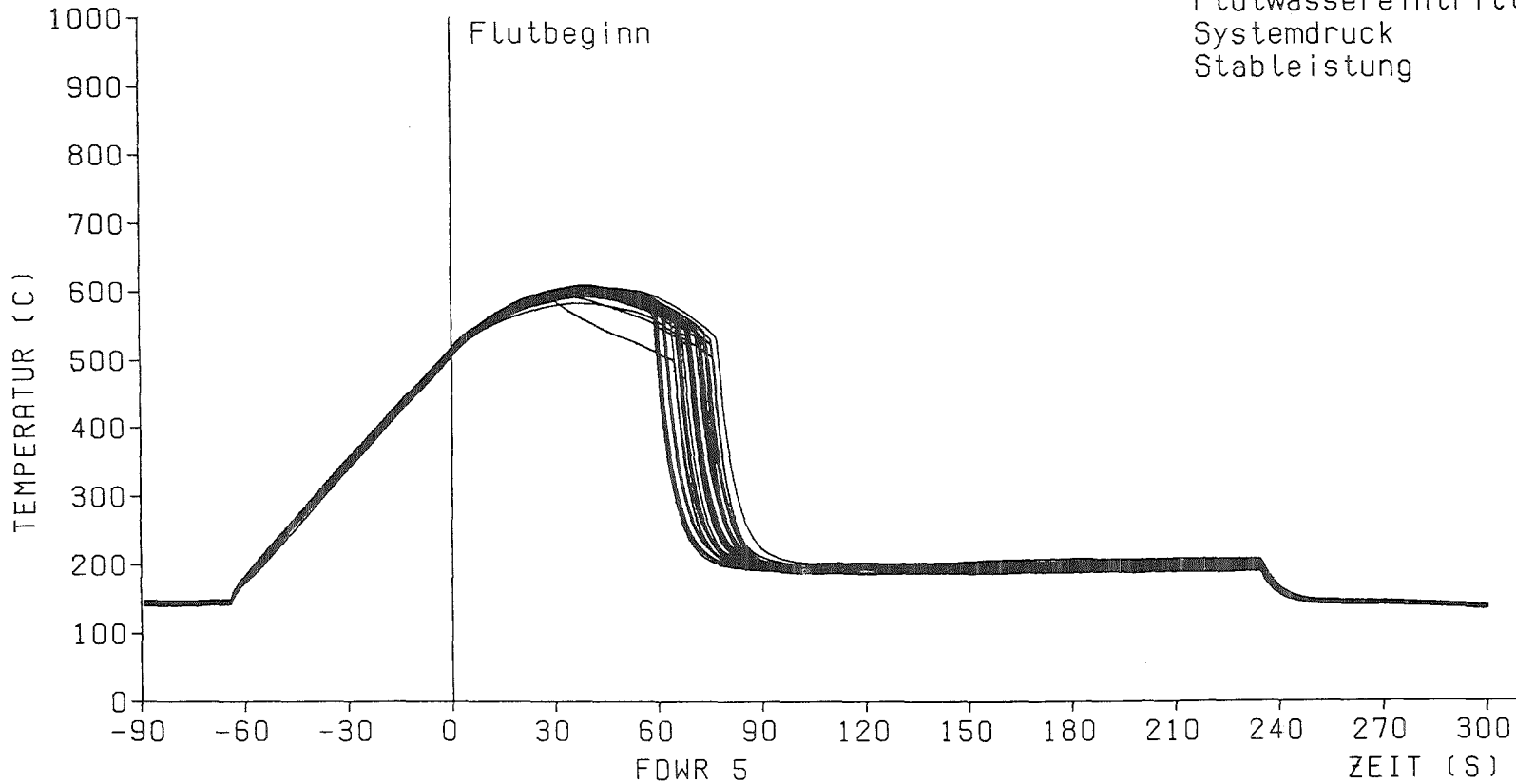


Abb. 36

Heizstabtemperaturen in verschiedenen axialen Höhen des Stabes 143 und Gesamtdruckverlust

FDWR 5

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 500 C
 Kalte Flutrate : 4,2 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 4,1 bar
 Stableistung : 2,3 KW



— 75 —

KIK IATF

Abb. 37

Heizstabtemperaturen in axialer Mitte im Innenbereich
 des Bündels (37 Stäbe)

FDWR 5

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 500 C
 Kalte Flutrate : 4,2 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 4,1 bar
 Stableistung : 2,3 KW

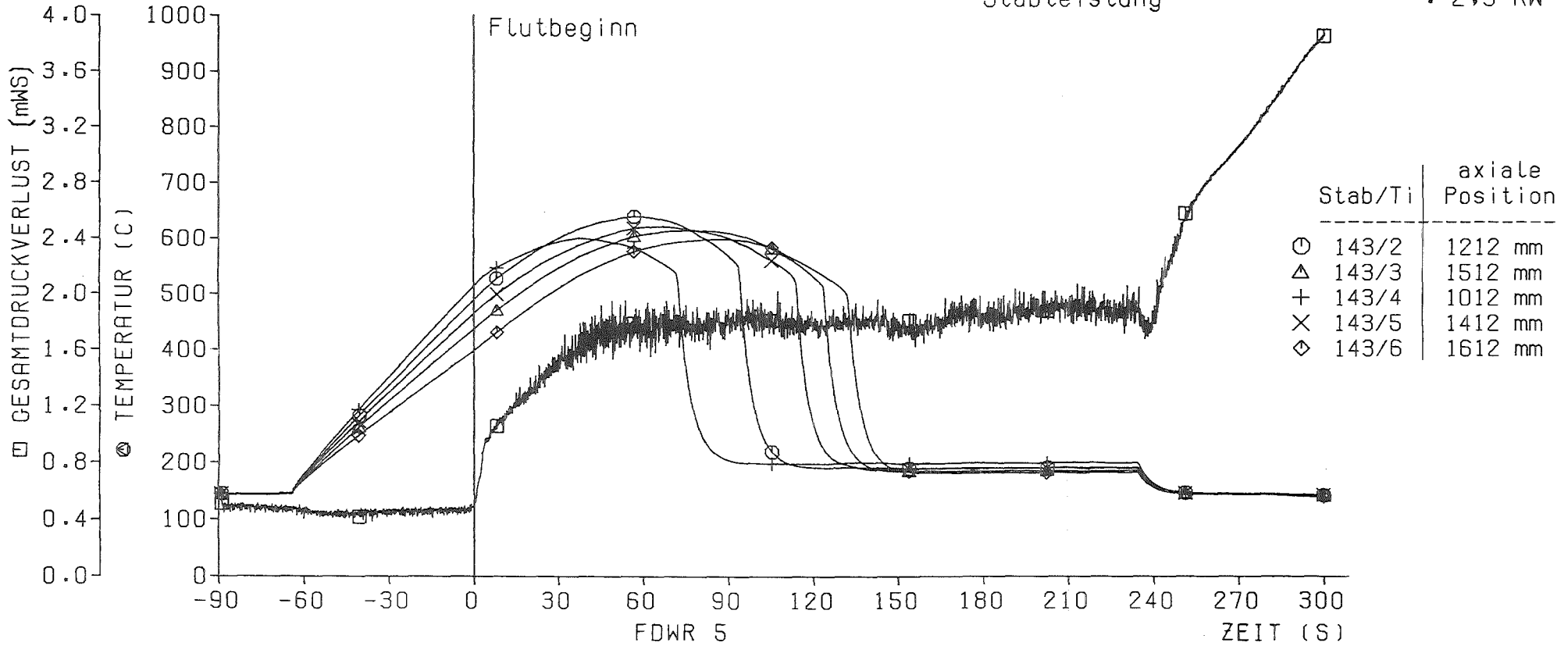
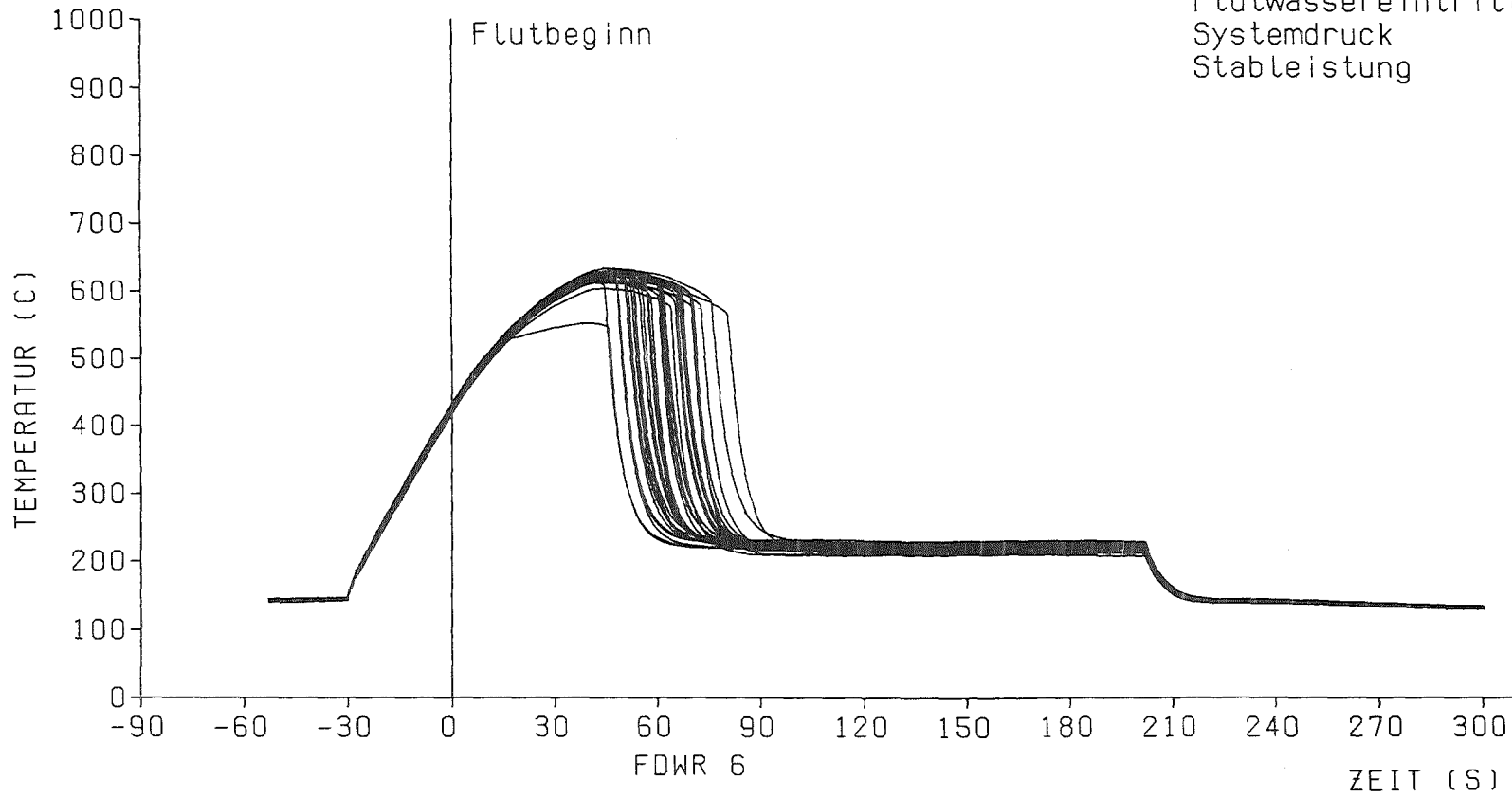


Abb. 38 Heizstabtemperaturen in verschiedenen axialen Höhen
 des Stabes 143 und Gesamtdruckverlust

FDWR 6

Heizstabtemperaturen in
axialer Mitte bei Flutbeginn : 400 C
Kalte Flutrate : 4,2 cm/s
Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
Systemdruck : 4,1 bar
Stableistung : 3,6 KW



- 77 -

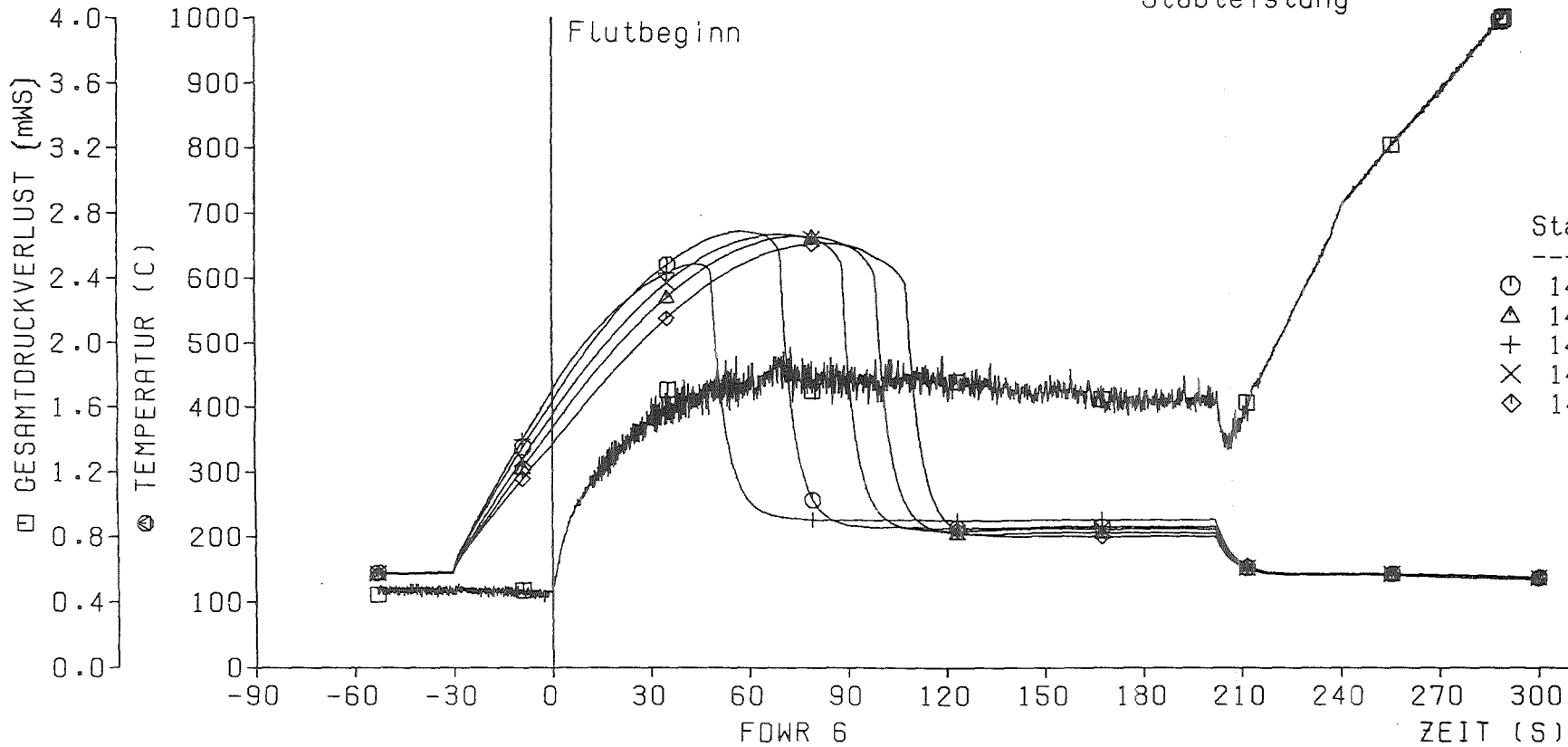


Abb. 39

Heizstabtemperaturen in axialer Mitte im Innenbereich
des Bündels (37 Stäbe)

FDWR 6

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 400 C
 Kalte Flutrate : 4,2 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 4,1 bar
 Stableistung : 3,6 KW



— 78 —

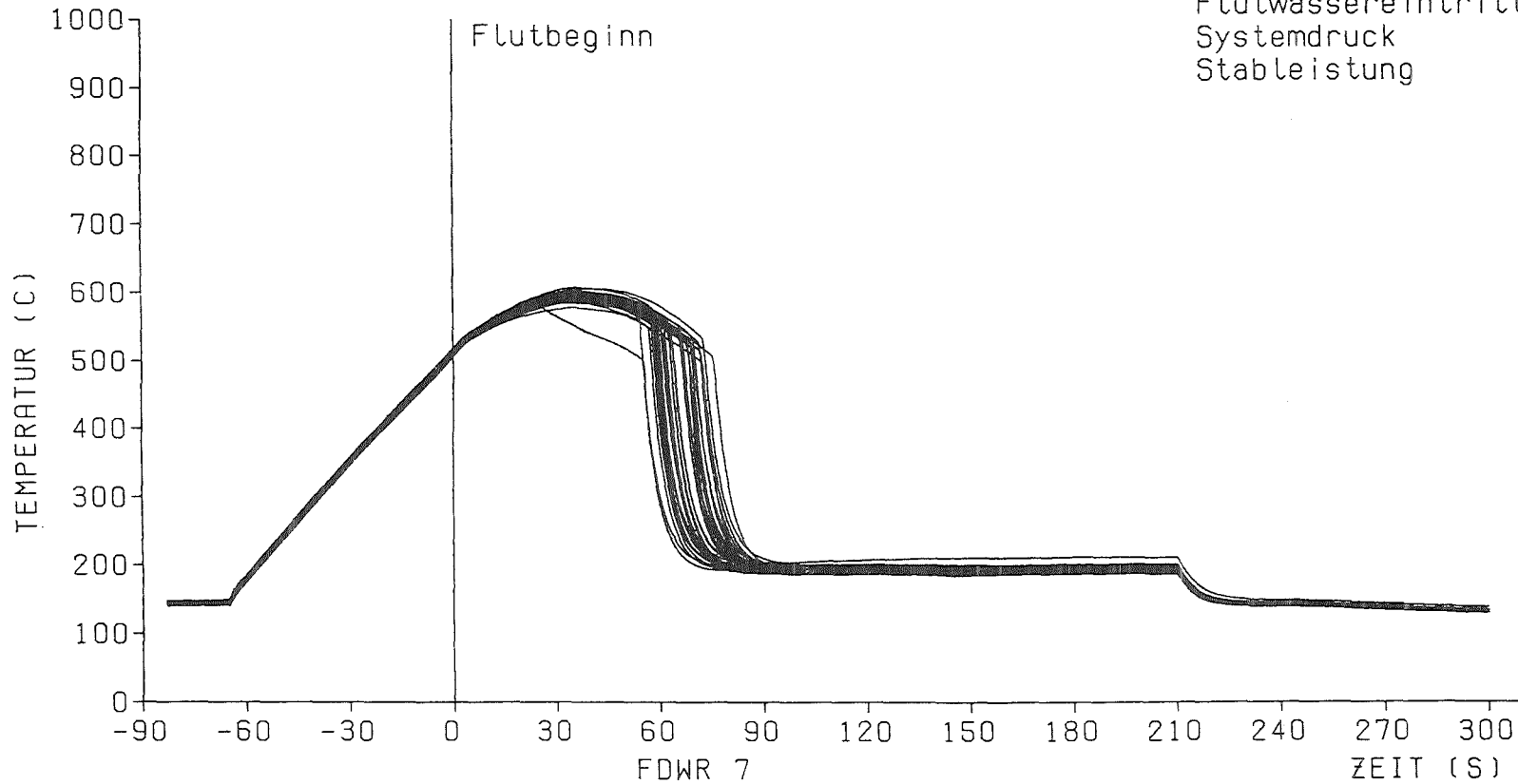


Abb. 40

Heizstabtemperaturen in verschiedenen axialen Höhen des Stabes 143 und Gesamtdruckverlust

FDWR 7

Heizstabtemperaturen in
axialer Mitte bei Flutbeginn : 500 C
Kalte Flutrate : 4,5 cm/s
Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
Systemdruck : 4,1 bar
Stableistung : 2,3 KW



— 79 —

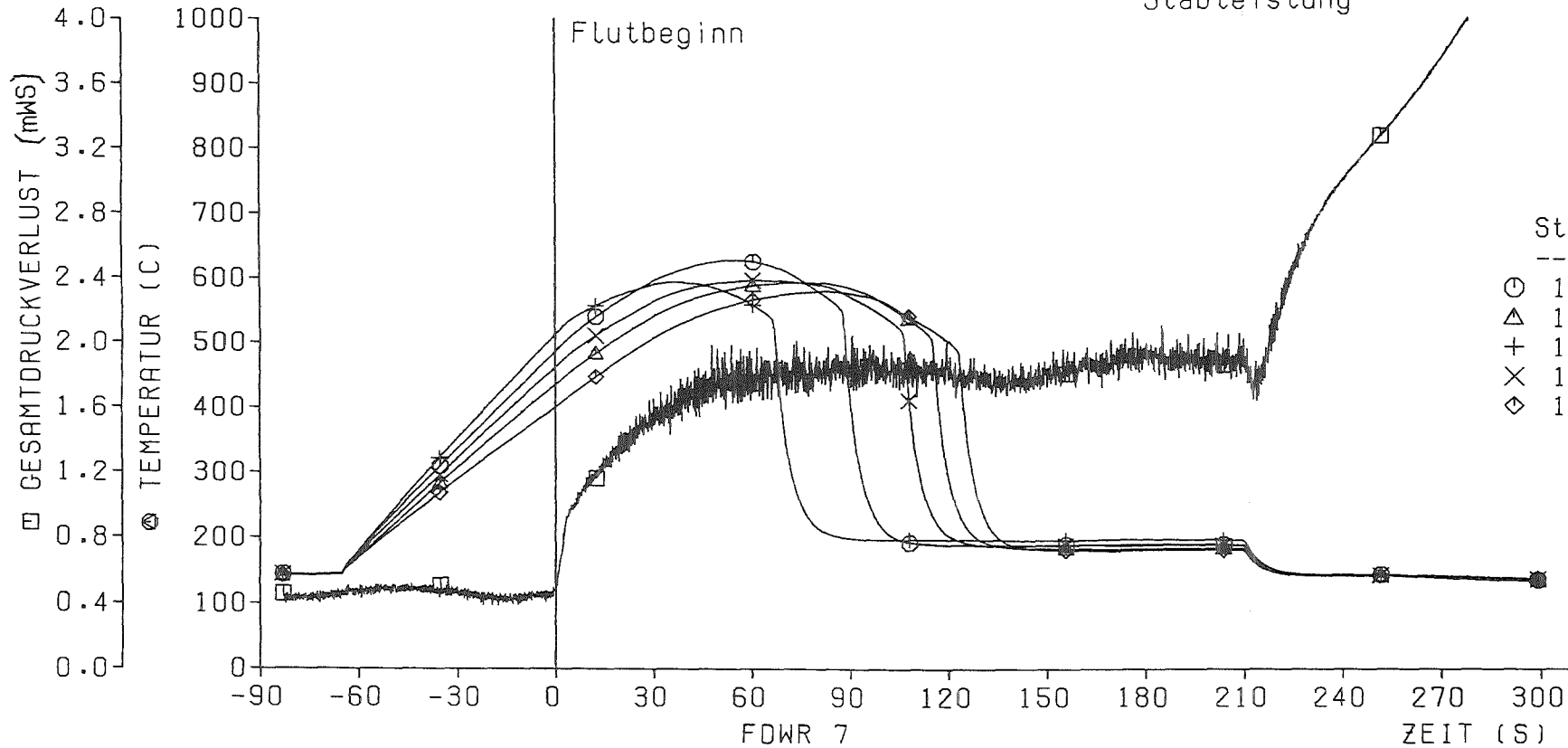


Abb. 41

Heizstabtemperaturen in axialer Mitte im Innenbereich
des Bündels(37 Stäbe)

FDWR 7

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 500 C
 Kalte Flutrate : 4,5 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 4,1 bar
 Stableistung : 2,3 KW



— 08 —

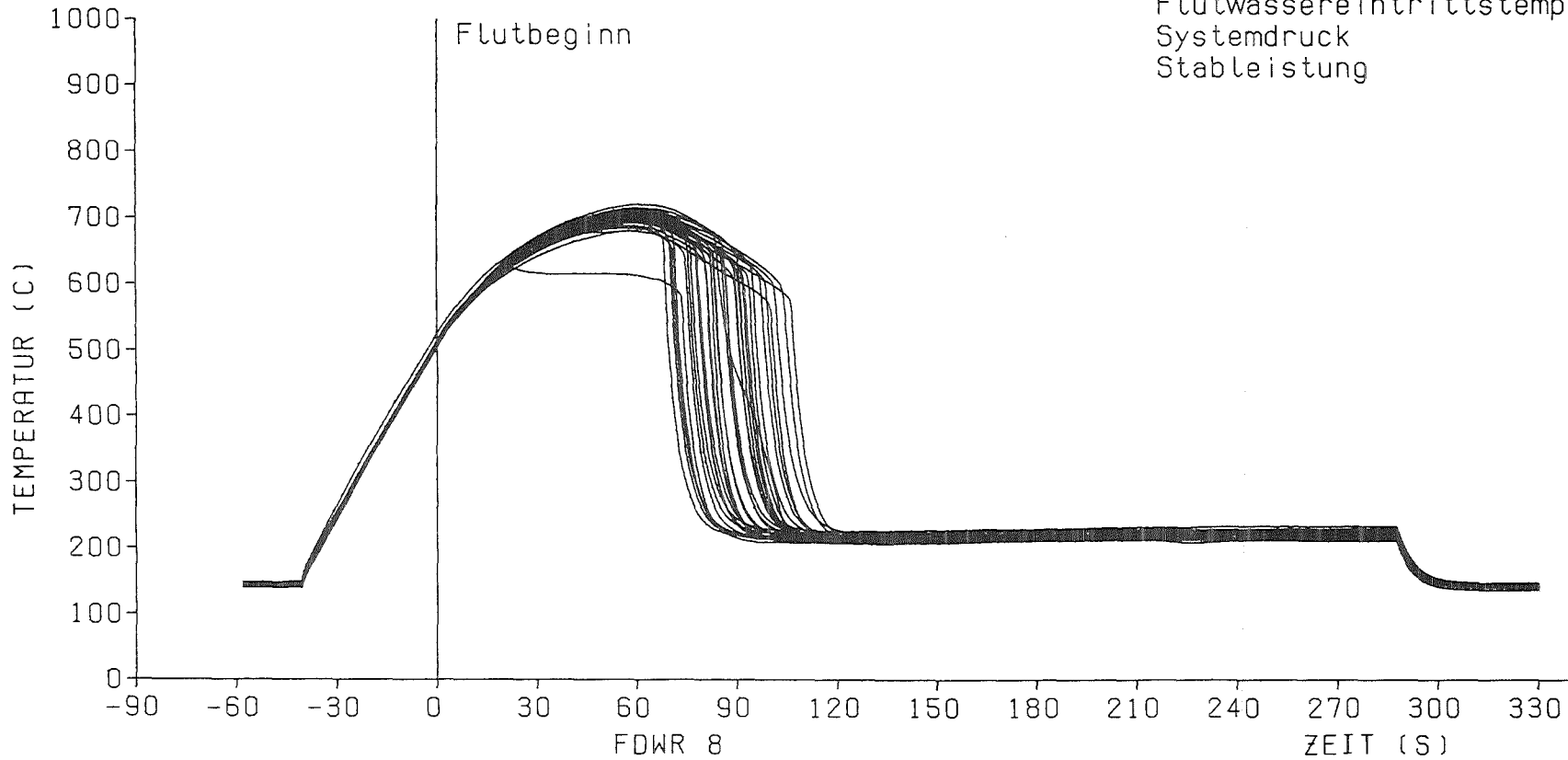


Abb.42

Heizstabtemperaturen in verschiedenen axialen Höhen des Stabes 143 und Gesamtdruckverlust

FDWR 8

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 500 C
 Kalte Flutrate : 4,5 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 4,1 bar
 Stableistung : 3,6 KW



— 81 —



Abb.43

Heizstabtemperaturen in axialer Mitte im Innenbereich
 des Bündels(37 Stäbe)

FDWR 8

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 500 C
 Kalte Flutrate : 4,5 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 4,1 bar
 Stabileistung : 3,6 KW

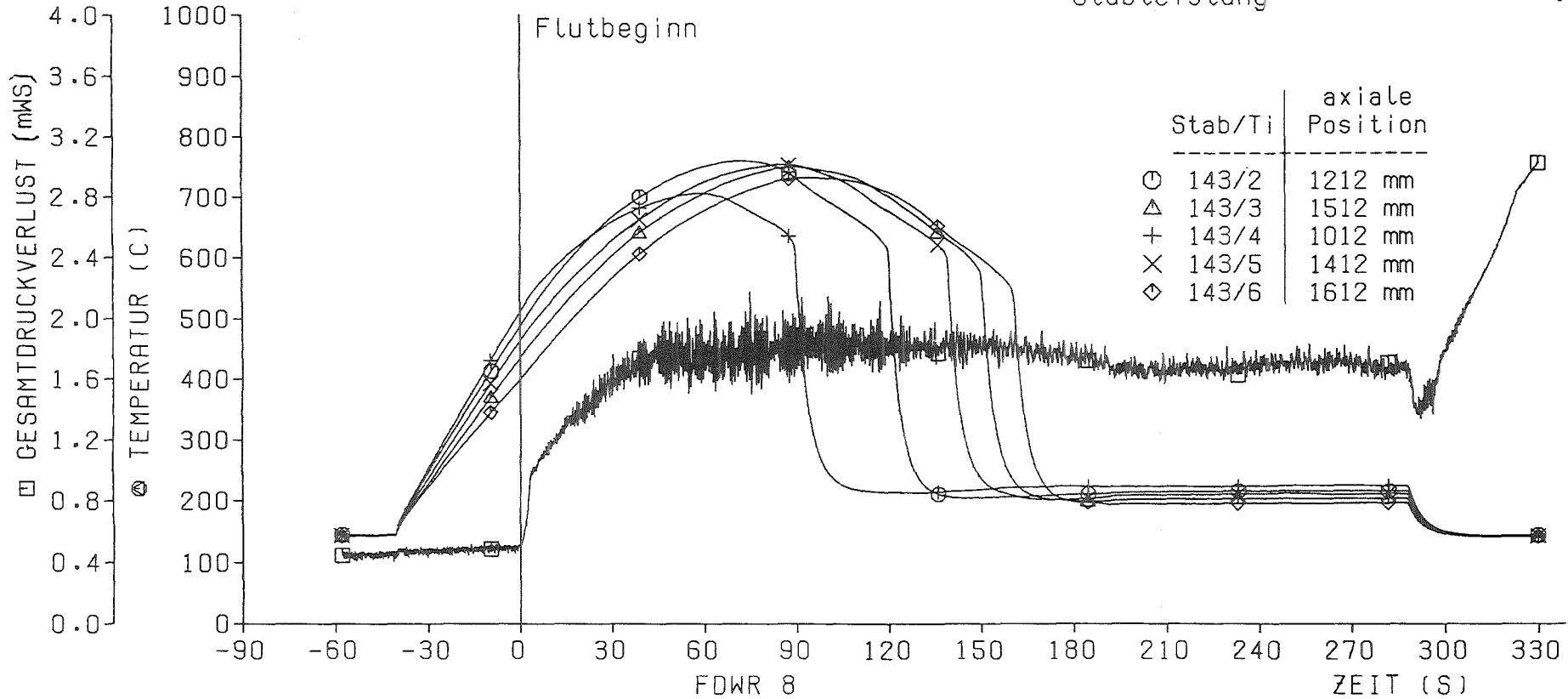


Abb. 44

Heizstabtemperaturen in verschiedenen axialen Höhen des Stabes 143 und Gesamtdruckverlust

FDWR 9

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 500 C
 Kalte Flutrate : 4,5 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 2,8 bar
 Stableistung : 3,6 KW

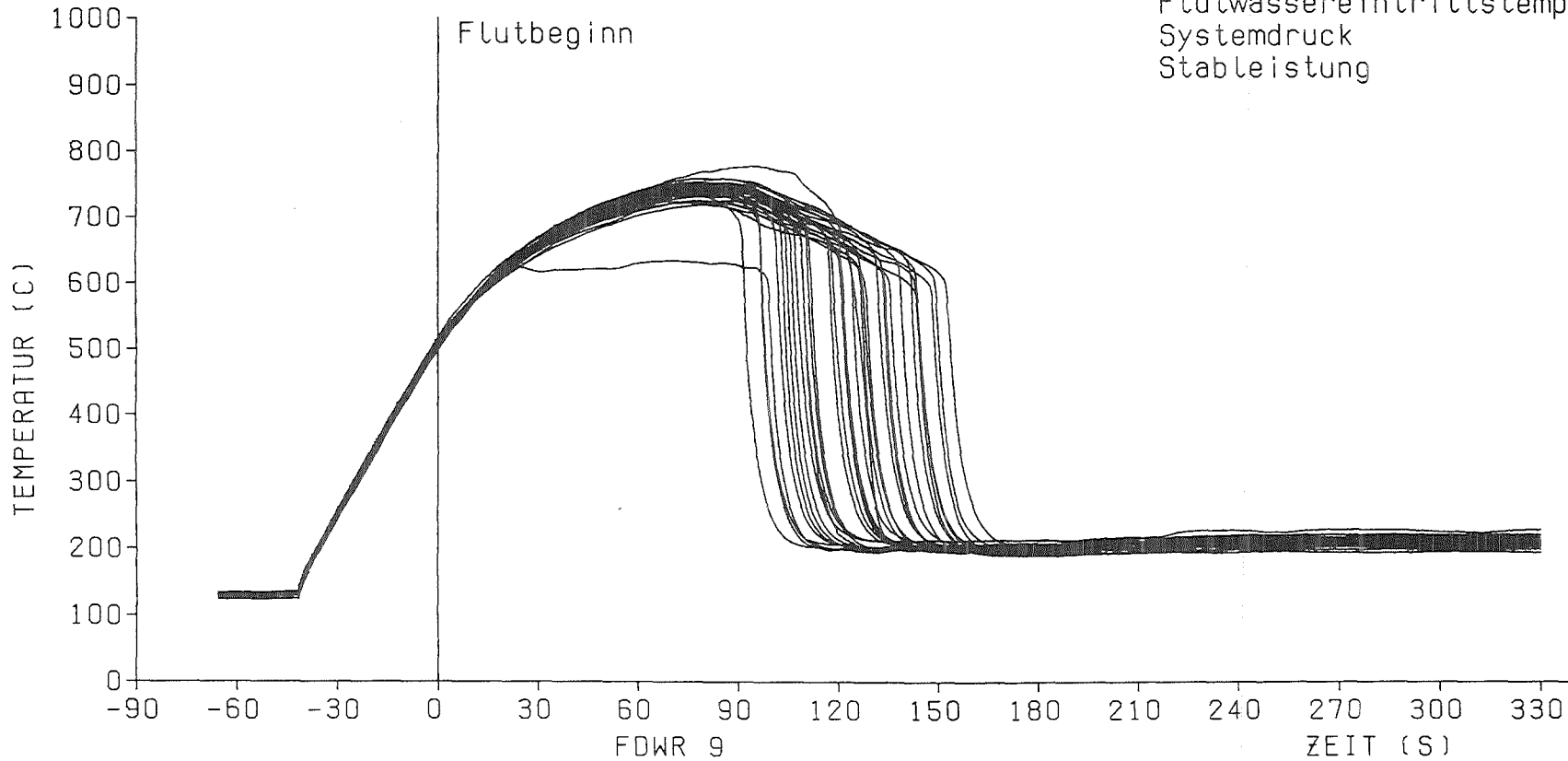


Abb. 45

Heizstabtemperaturen in axialer Mitte im Innenbereich des Bündels (37 Stäbe)

FDWR 9

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 500 C
 Kalte Flutrate : 4,5 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 2,8 bar
 Stableistung : 3,6 KW

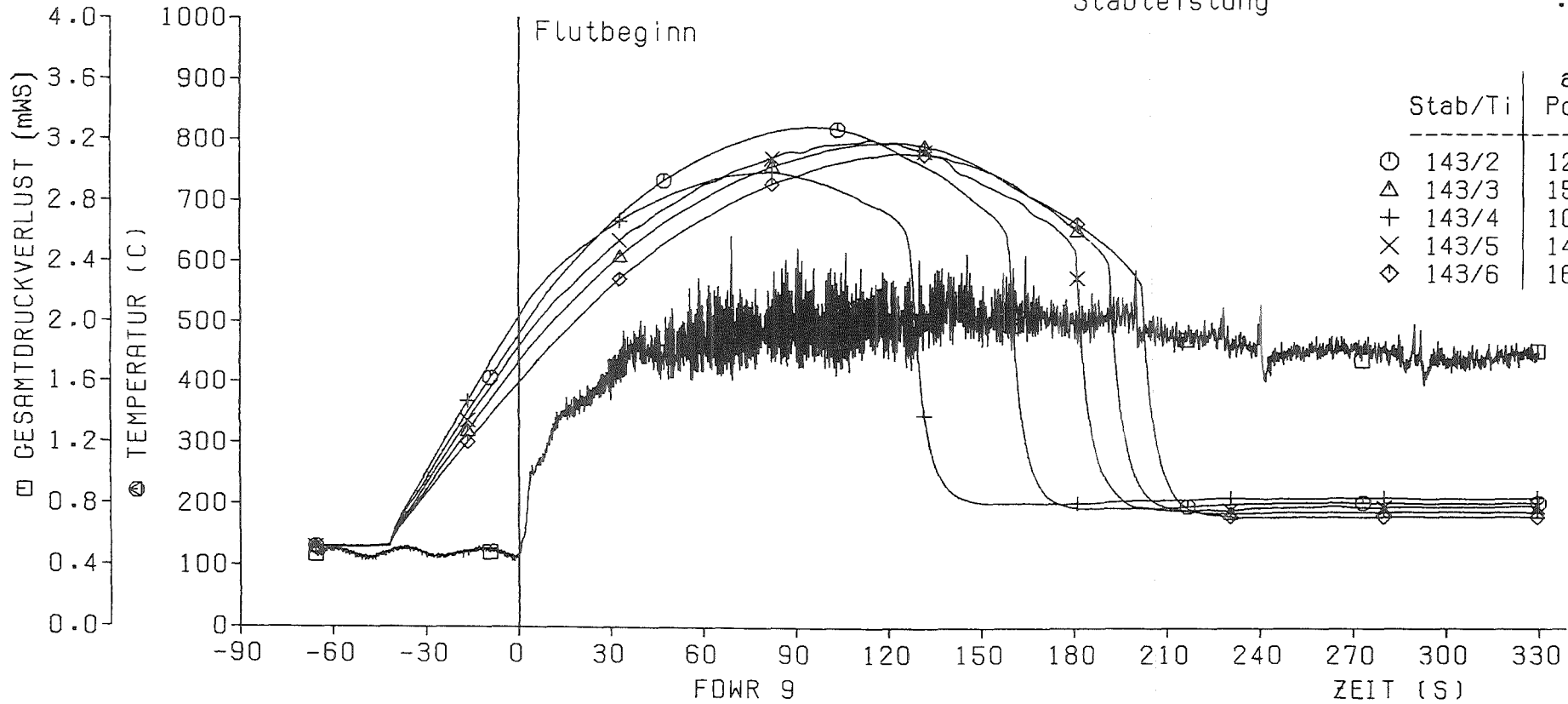


Abb. 46

Heizstabtemperaturen in verschiedenen axialen Höhen des Stabes 143 und Gesamtdruckverlust

FDWR 10

Heizstabtemperaturen in
axialer Mitte bei Flutbeginn : 600 C
Kalte Flutrate : 4,5 cm/s
Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
Systemdruck : 4,1 bar
Stableistung : 3,6 KW

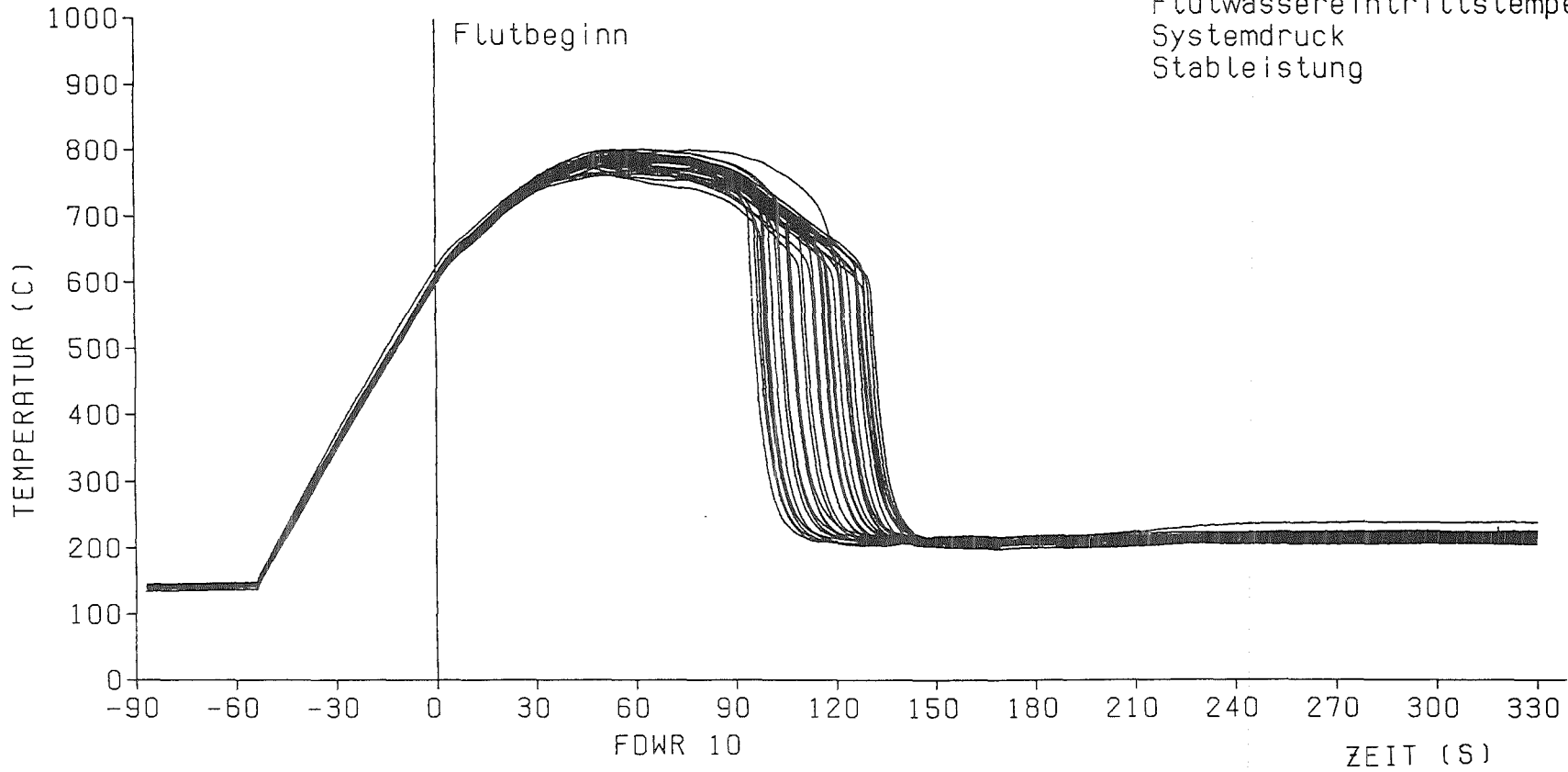


Abb.47

Heizstabtemperaturen in axialer Mitte im Innenbereich
des Bündels(37 Stäbe)

FDWR 10

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 600 C
 Kalte Flutrate : 4,5 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 4,1 bar
 Stabileistung : 3,6 KW

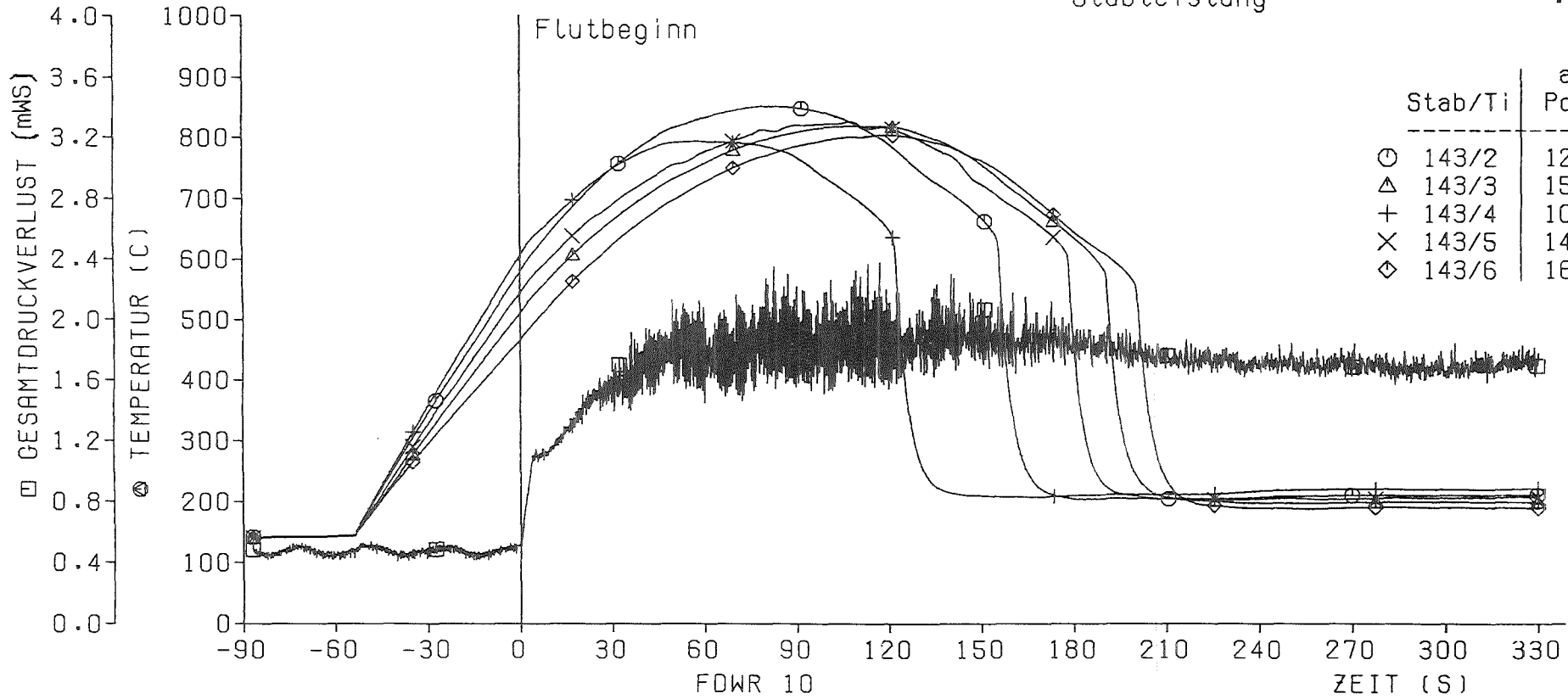


Abb. 48

Heizstabtemperaturen in verschiedenen axialen Höhen des Stabes 143 und Gesamtdruckverlust

FDWR 11

Heizstabtemperaturen in
axialer Mitte bei Flutbeginn : 500 C
Kalte Flutrate : 4,2 cm/s
Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
Systemdruck : 4,1 bar
Stableistung : 3,0 KW

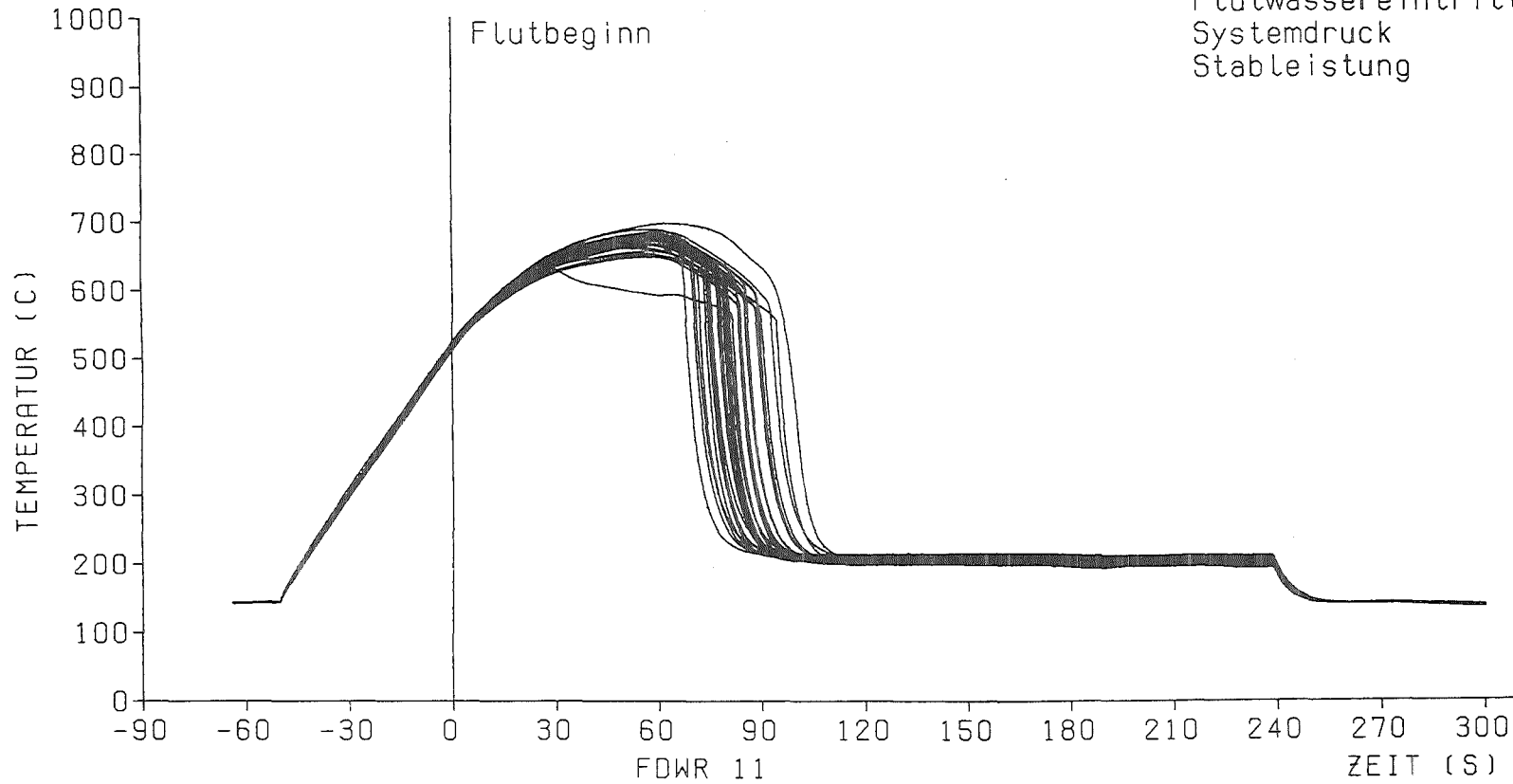
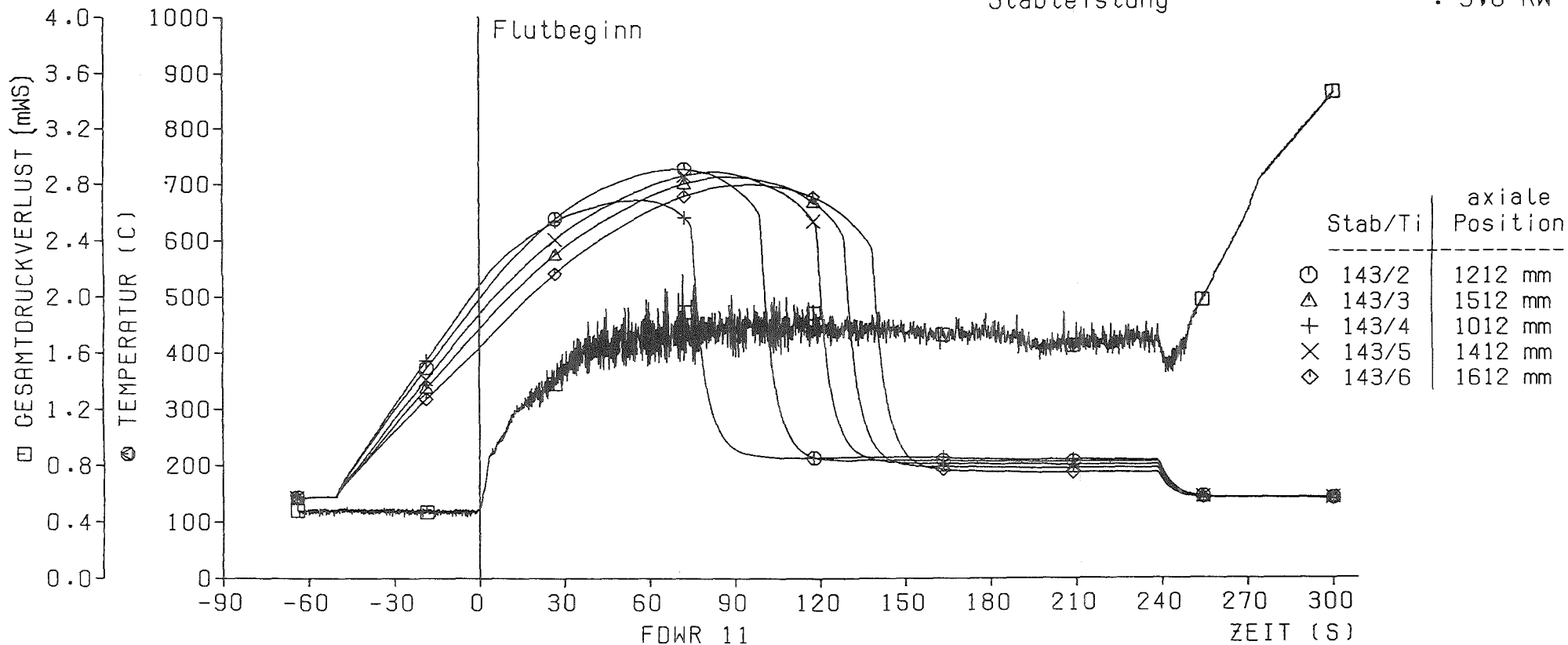


Abb. 49

Heizstabtemperaturen in axialer Mitte im Innenbereich des Bündels (37 Stäbe)

FDWR 11

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 500 C
 Kalte Flutrate : 4,2 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 4,1 bar
 Stableistung : 3,0 KW



- 88 -



Abb .50

Heizstabtemperaturen in verschiedenen axialen Höhen
 des Stabes 143 und Gesamtdruckverlust

FDWR 12

Heizstabtemperaturen in
axialer Mitte bei Flutbeginn : 600 C
Kalte Flutrate : 4,2 cm/s
Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
Systemdruck : 4,1 bar
Stableistung : 3,0 KW

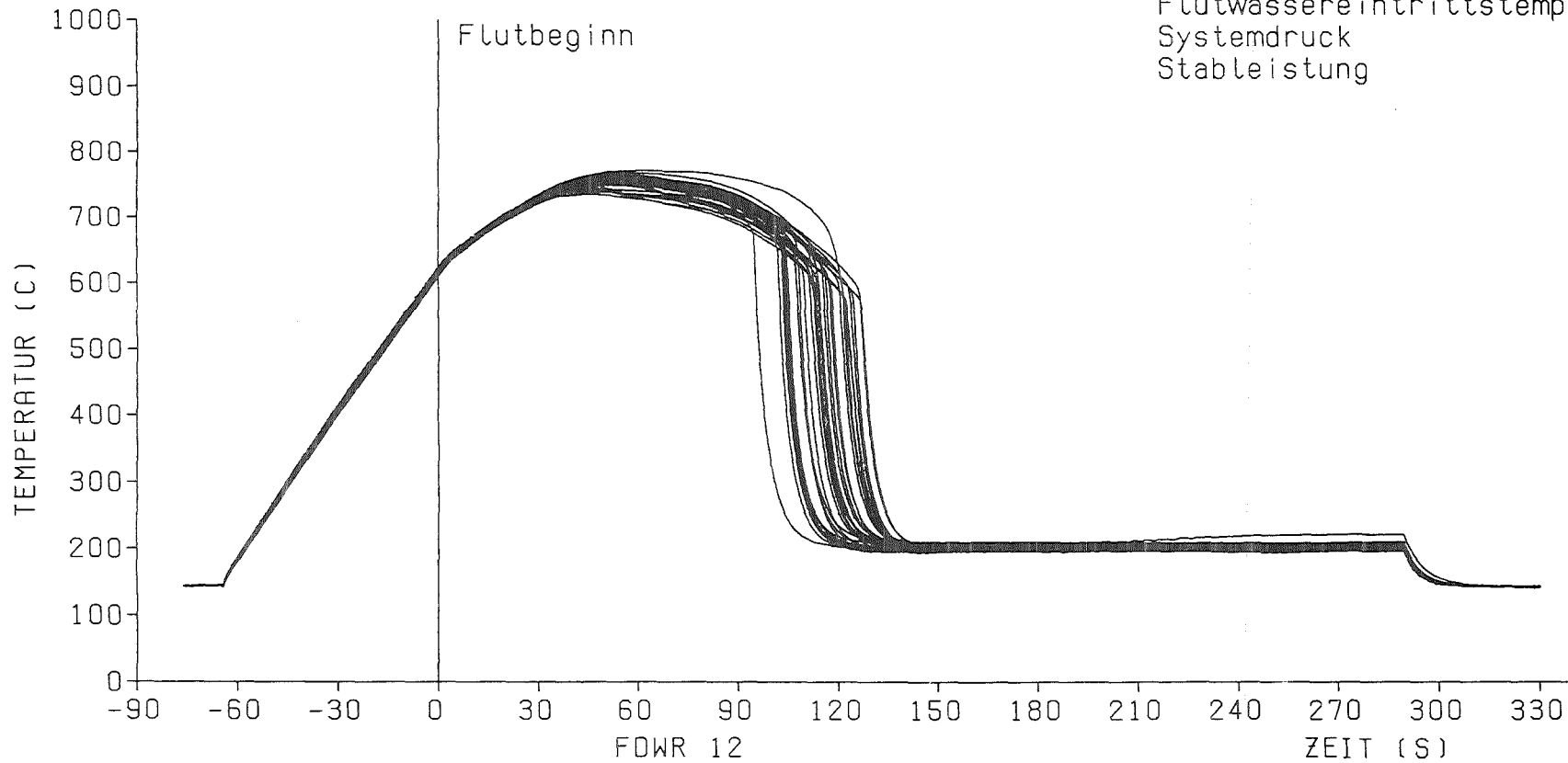
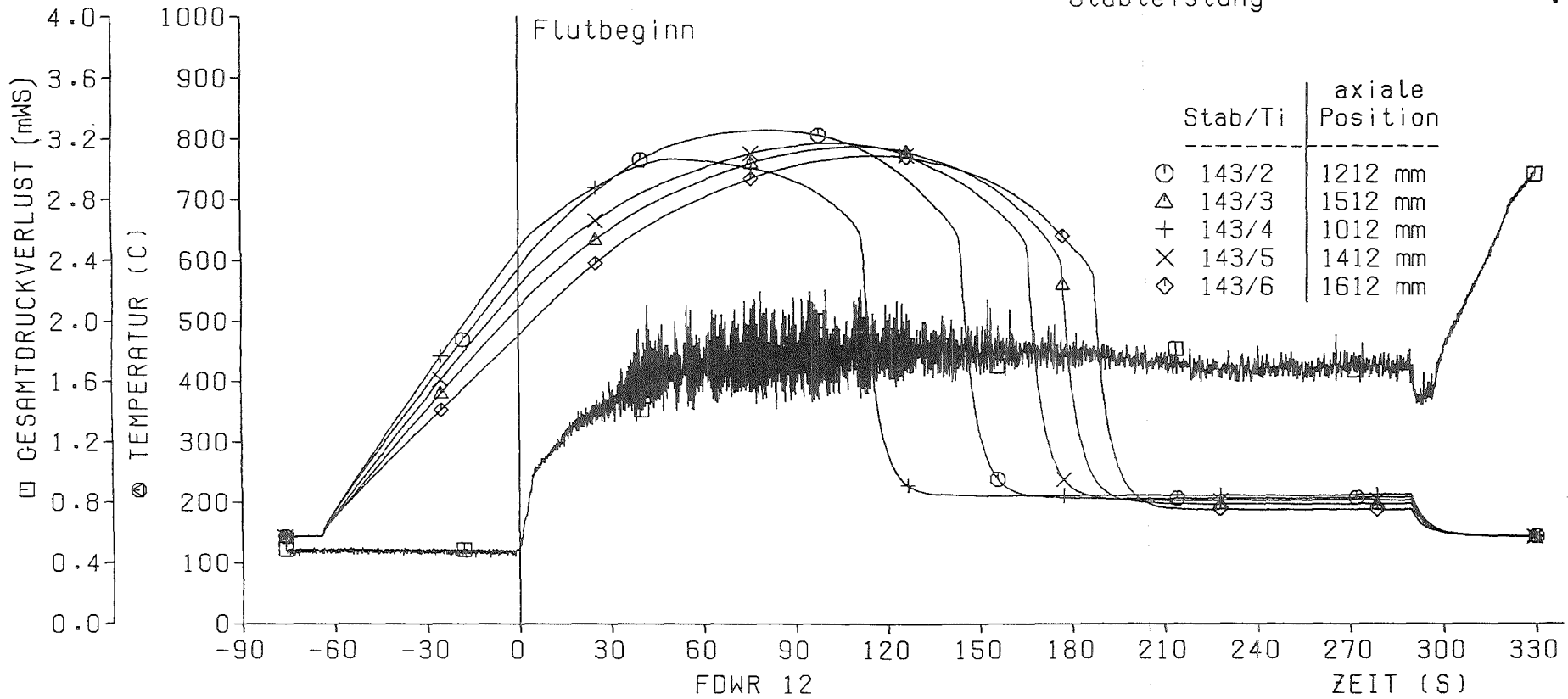


Abb. 51

Heizstabtemperaturen in axialer Mitte im Innenbereich
des Bündels (37 Stäbe)

FDWR 12

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 600 C
 Kalte Flutrate : 4,2 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 4,1 bar
 Stabileistung : 3,0 KW



— 06 —

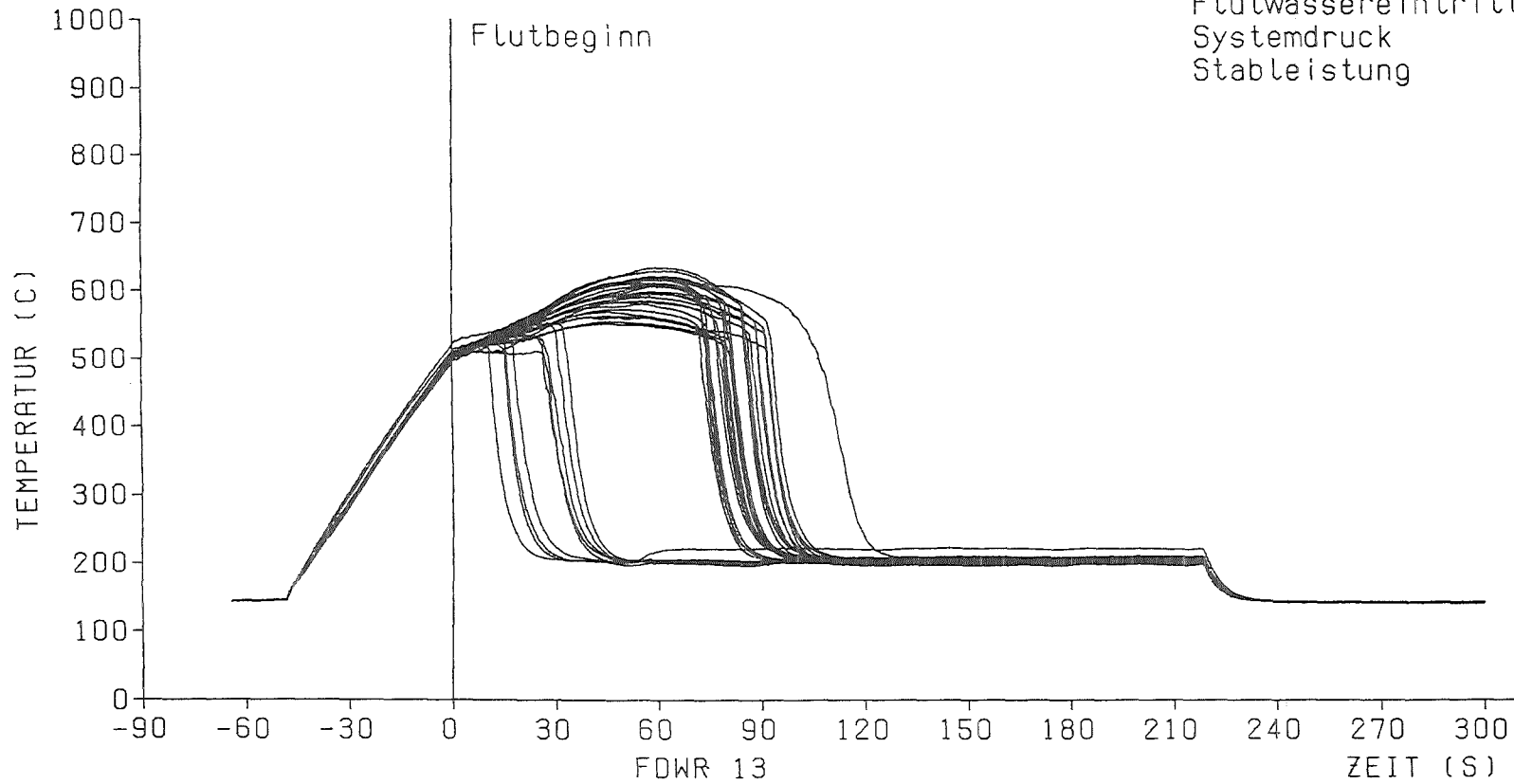


Abb. 52

Heizstabtemperaturen in verschiedenen axialen Höhen des Stabes 143 und Gesamtdruckverlust

FDWR 13

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 500 C
 Kalte Flutrate : 4,2 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 4,1 bar
 Stabileistung : 3,0 KW



— 91 —



Abb.53

Heizstabtemperaturen in axialer Mitte im Innenbereich des Bündels(37 Stäbe)

FDWR 13

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 500 C
 Kalte Flutrate : 4,2 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 4,1 bar
 Stableistung : 3,0 KW

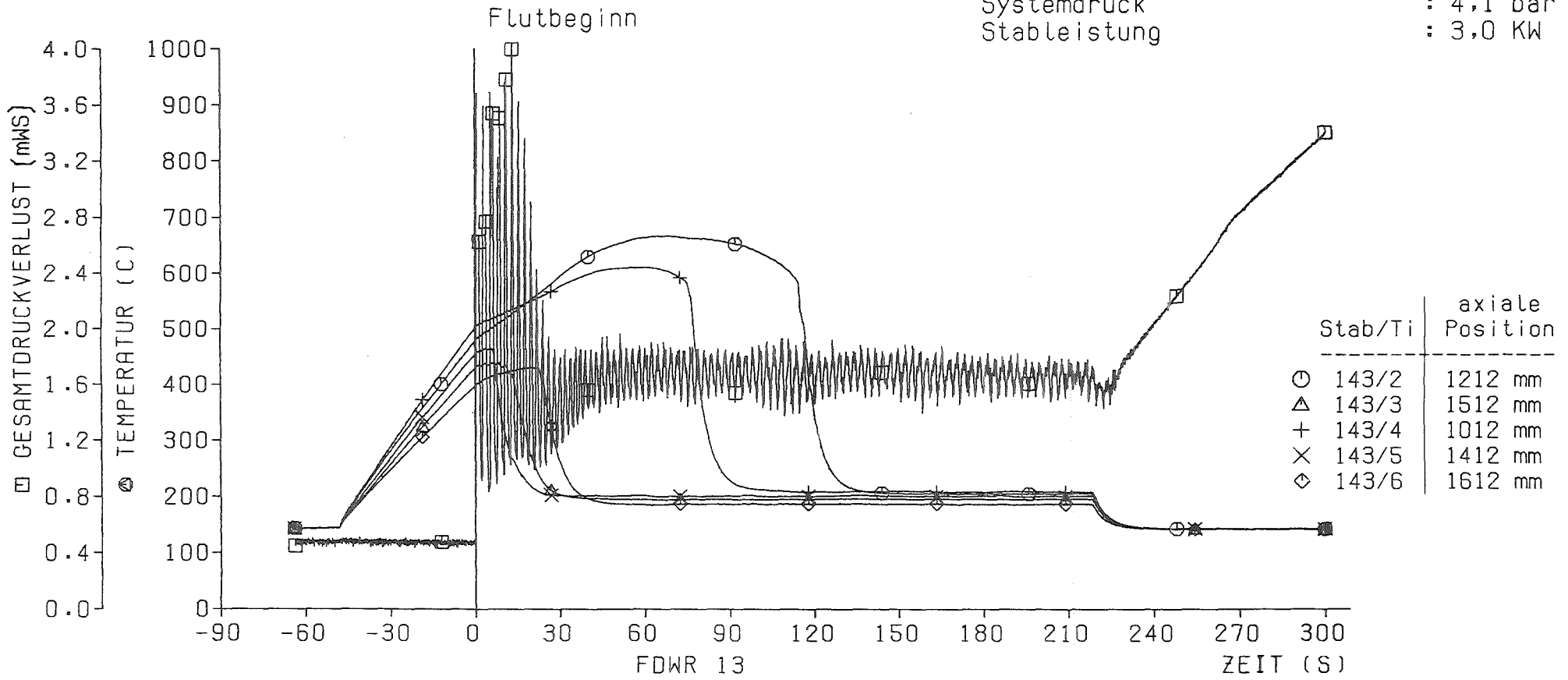


Abb .54

Heizstabtemperaturen in verschiedenen axialen Höhen
 des Stabes 143 und Gesamtdruckverlust

FDWR 14

Heizstabtemperaturen in
axialer Mitte bei Flutbeginn : 500 C
Kalte Flutrate : 4,2 cm/s
Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
Systemdruck : 4,1 bar
Stableistung : 3,0 KW

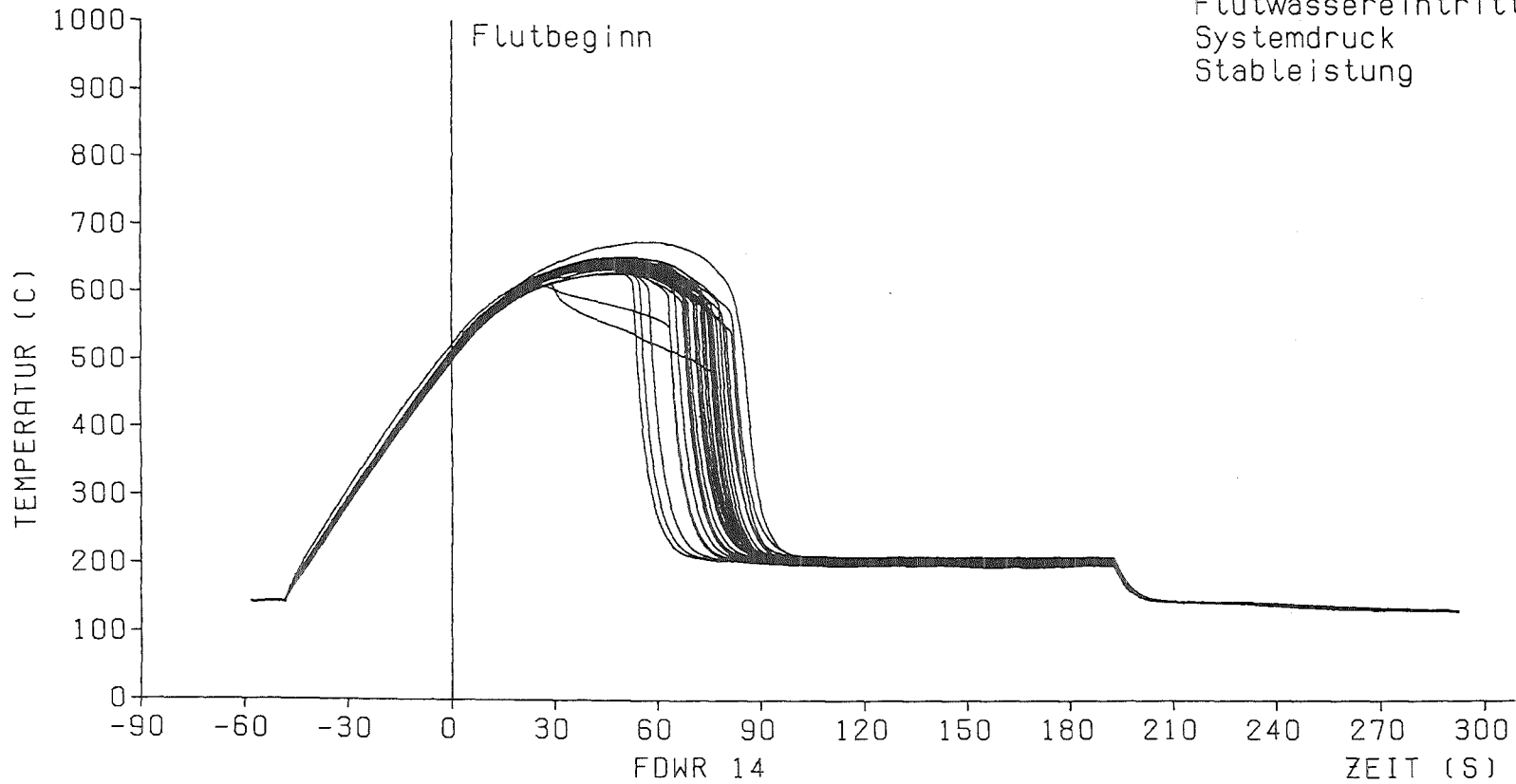
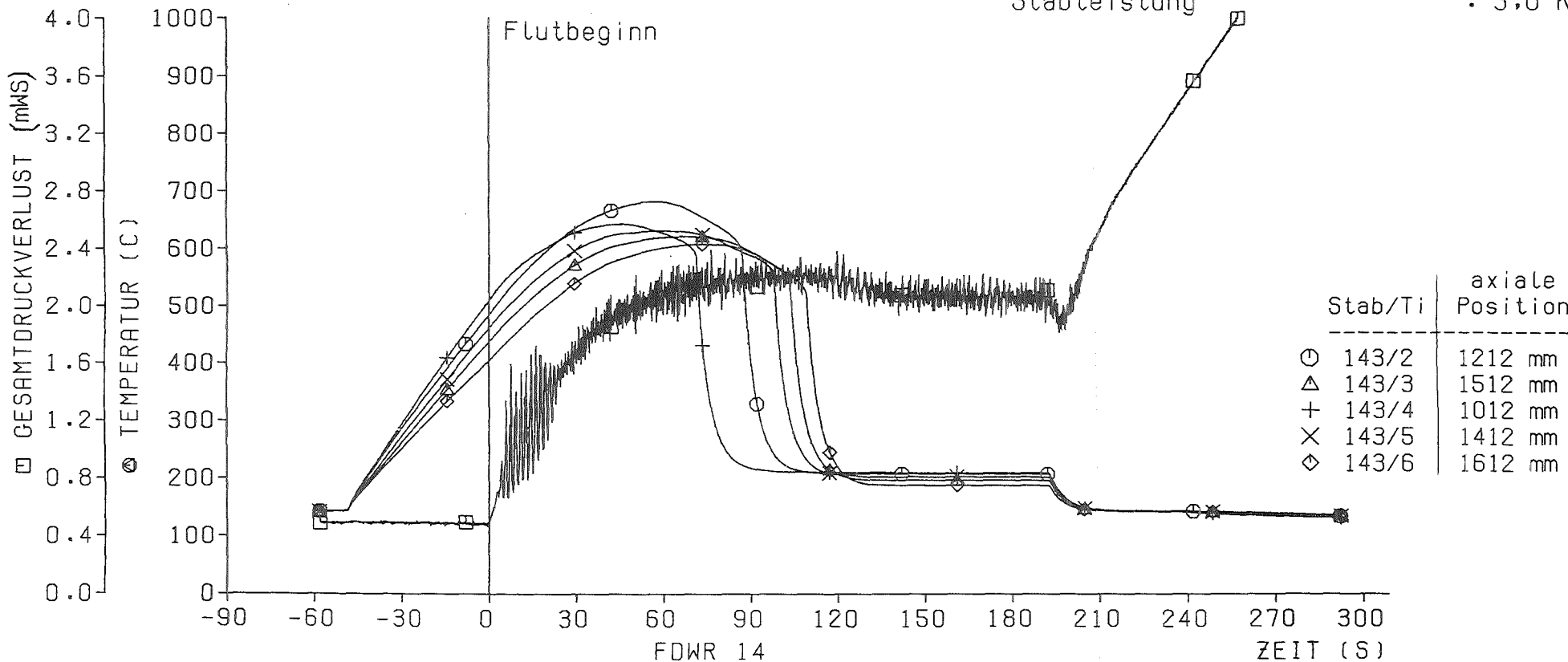


Abb .55

Heizstabtemperaturen in axialer Mitte im Innenbereich
des Bündels(37 Stäbe)

FDWR 14

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 500 C
 Kalte Flutrate : 4,2 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 4,1 bar
 Stableistung : 3,0 KW



— 94 —

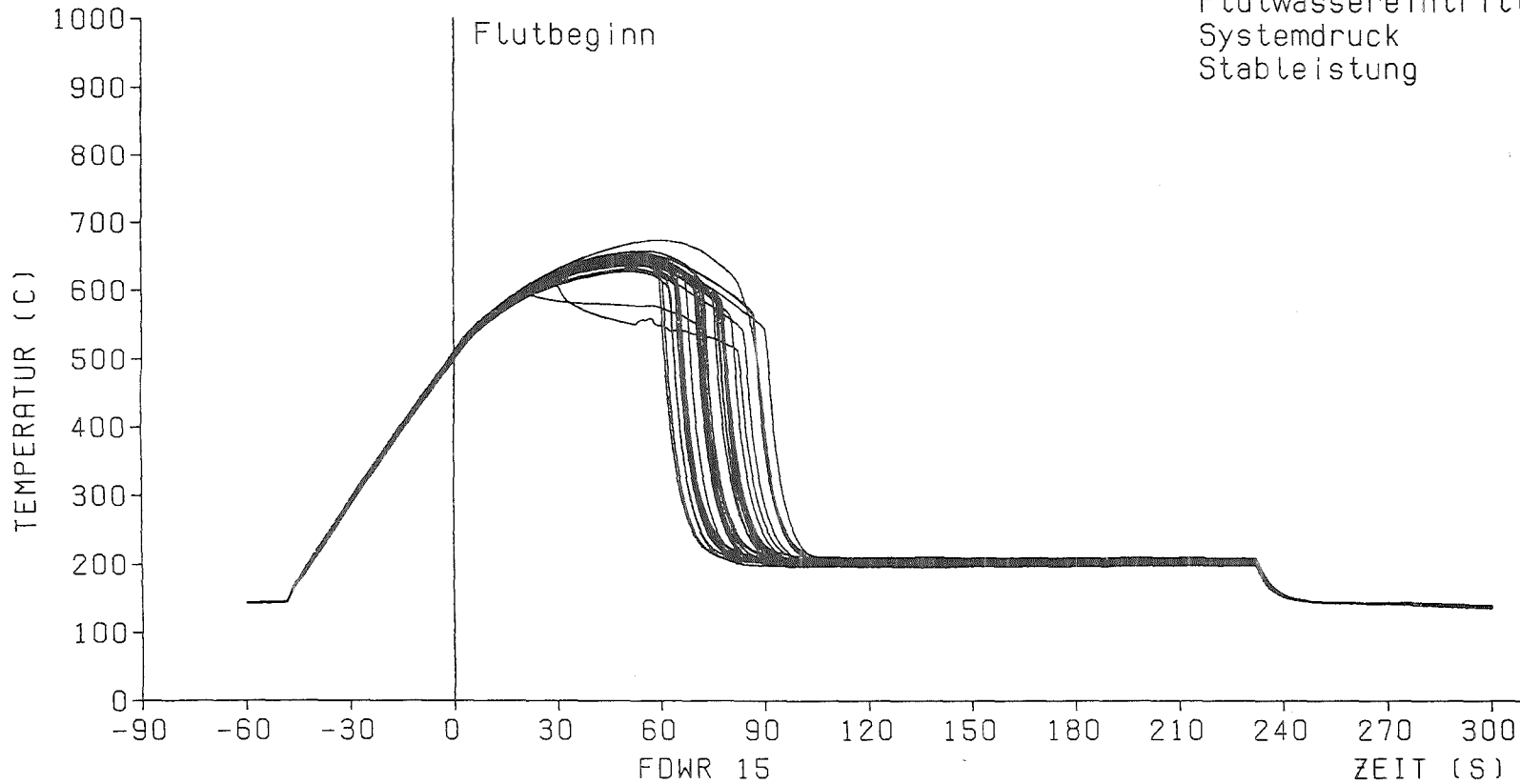


Abb .56

Heizstabtemperaturen in verschiedenen axialen Höhen des Stabes 143 und Gesamtdruckverlust

FDWR 15

Heizstabtemperaturen in
axialer Mitte bei Flutbeginn : 500 C
Kalte Flutrate : 4,2 cm/s
Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
Systemdruck : 4,1 bar
Stableistung : 3,0 KW



— 95 —

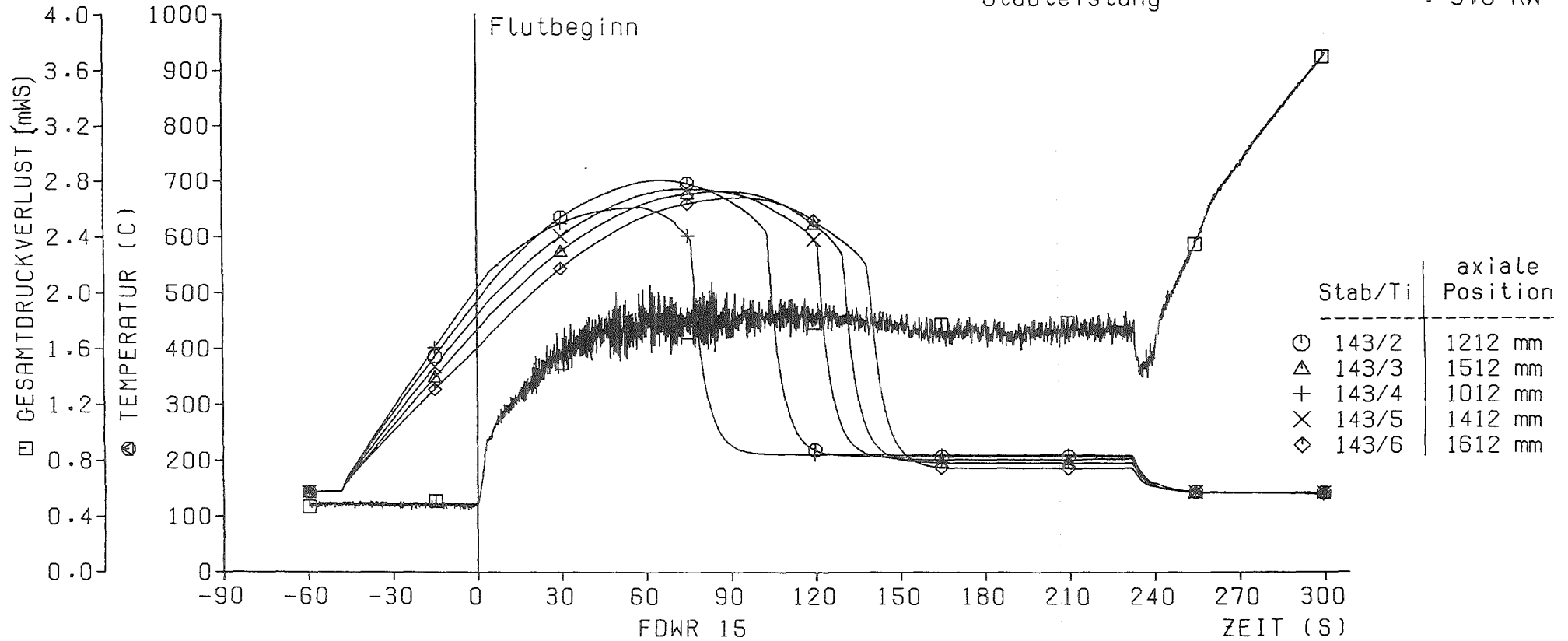
KIK IATF

Abb. 57

Heizstabtemperaturen in axialer Mitte im Innenbereich
des Bündels (37 Stäbe)

FDWR 15

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 500 C
 Kalte Flutrate : 4,2 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 4,1 bar
 Stabileistung : 3,0 KW



— 86 —

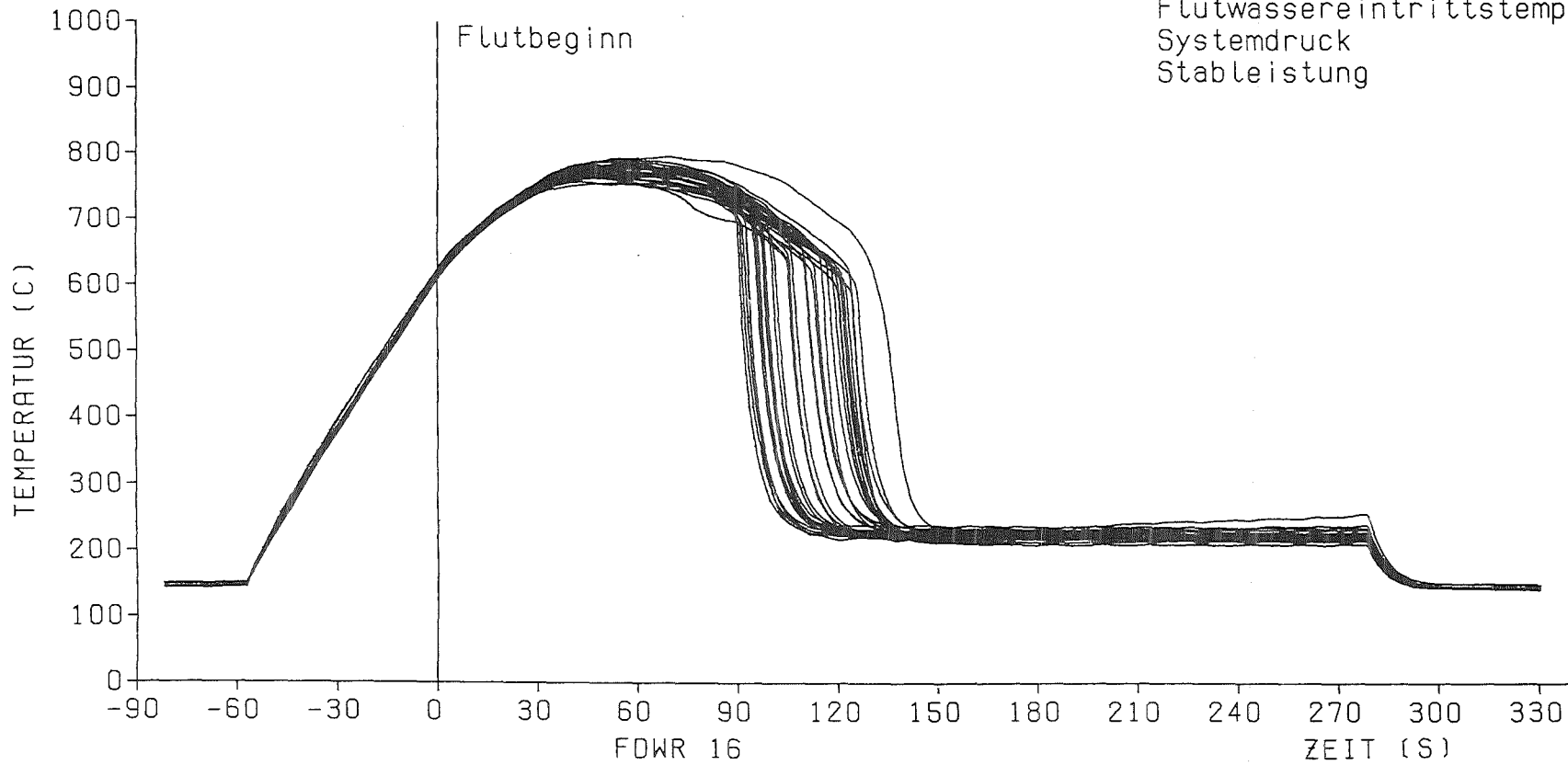


Abb .58

Heizstabtemperaturen in verschiedenen axialen Höhen des Stabes 143 und Gesamtdruckverlust

FDWR 16

Heizstabtemperaturen in
axialer Mitte bei Flutbeginn : 600 C
Kalte Flutrate : 4,4 cm/s
Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
Systemdruck : 4,1 bar
Stableistung : 3,35 KW



— 97 —

KIK IATF

Abb .59

Heizstabtemperaturen in axialer Mitte im Innenbereich
des Bündels(37 Stäbe)

FDWR 16

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 600 C
 Kalte Flutrate : 4,4 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 4,1 bar
 Stableistung : 3,35 KW

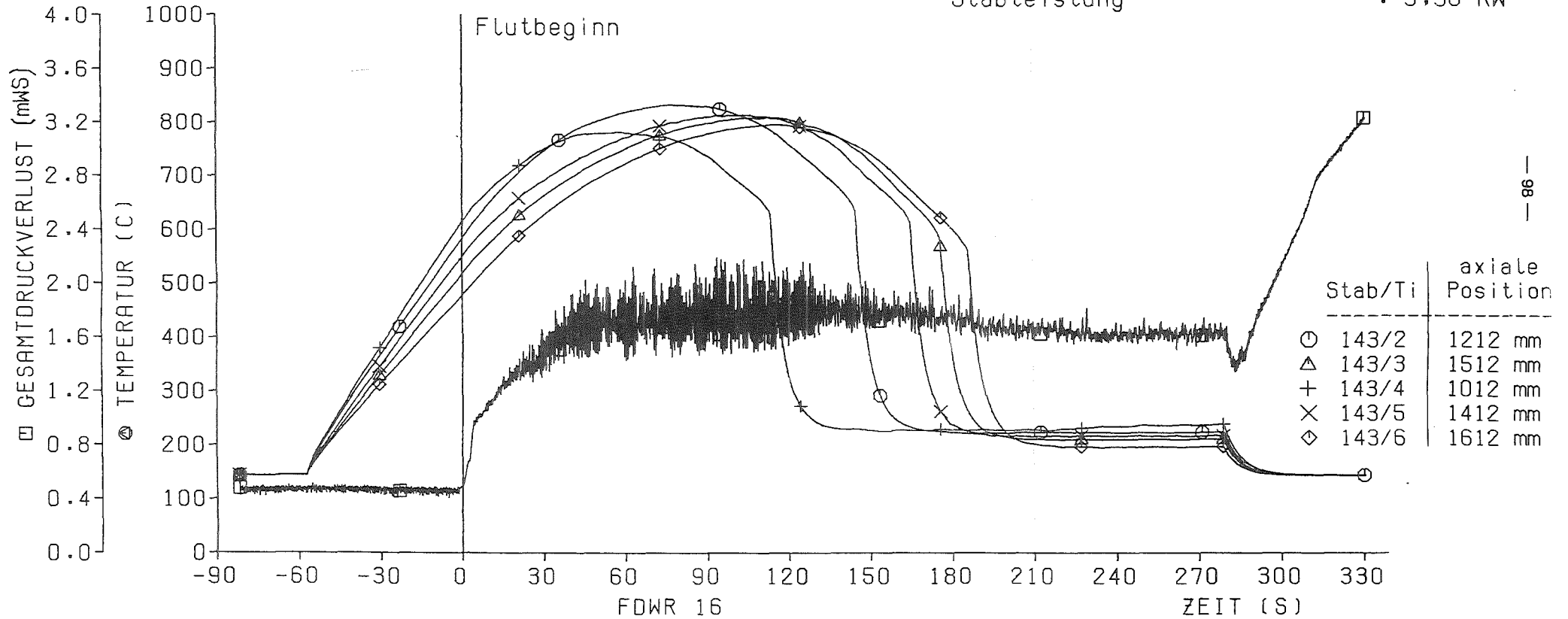


Abb. 60

Heizstabtemperaturen in verschiedenen axialen Höhen des Stabes 143 und Gesamtdruckverlust

FDWR 17

Heizstabtemperaturen in
axialer Mitte bei Flutbeginn : 500 C
Kalte Flutrate : 4,5 cm/s
Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
Systemdruck : 4,1 bar
Stableistung : 3,35 KW

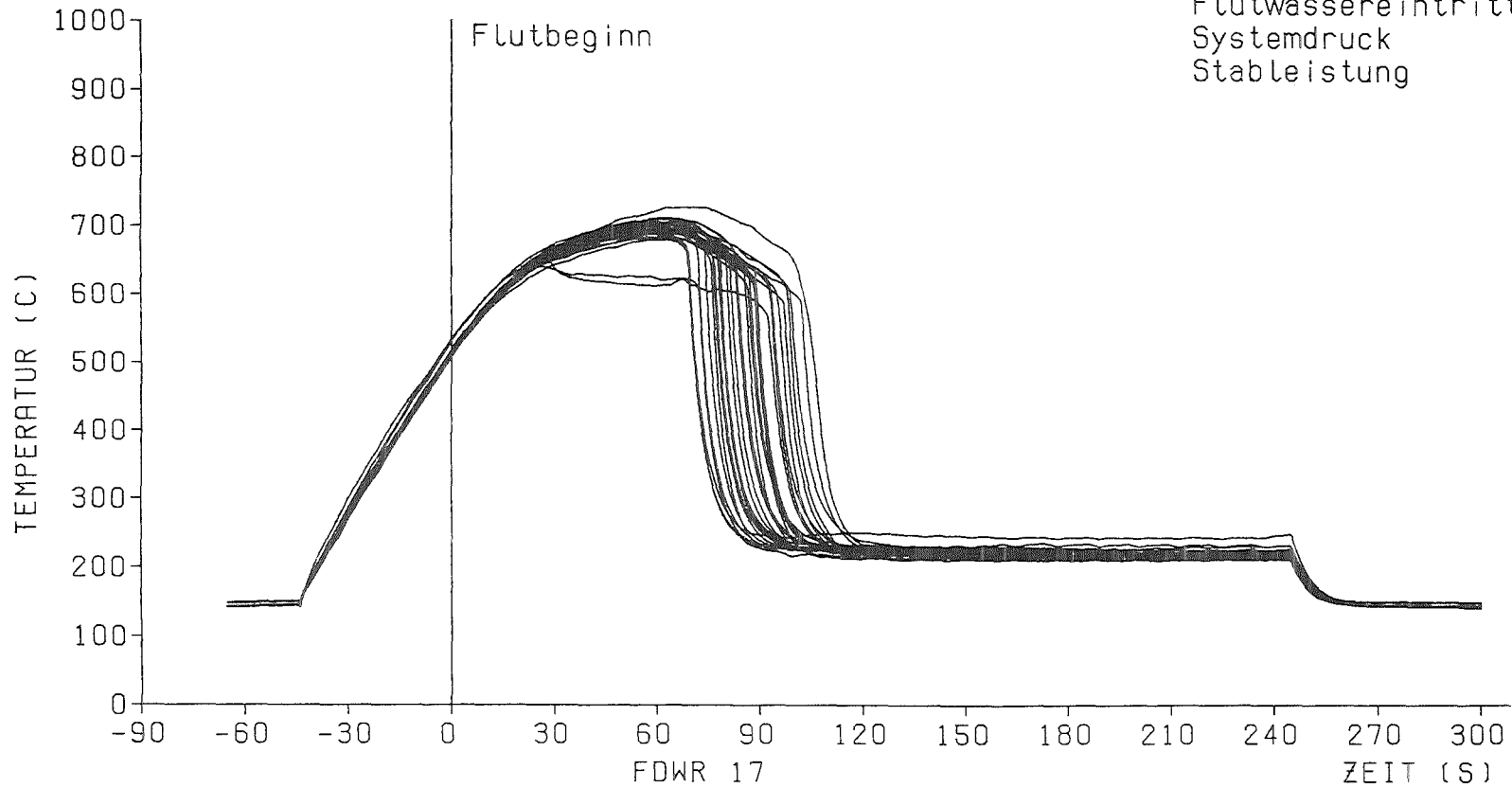


Abb. 61

Heizstabtemperaturen in axialer Mitte im Innenbereich
des Bündels (37 Stäbe)

FDWR 17

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 500 C
 Kalte Flutrate : 4,5 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 4,1 bar
 Stableistung : 3,35 KW

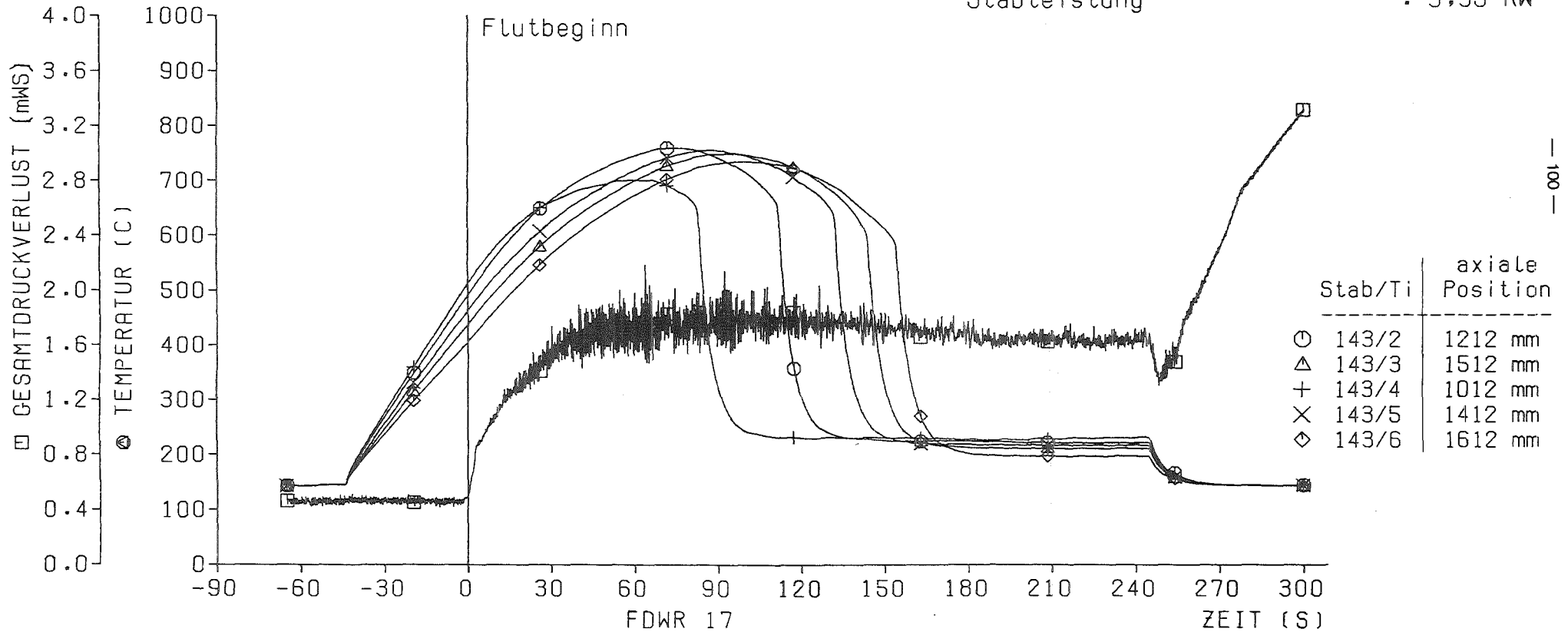
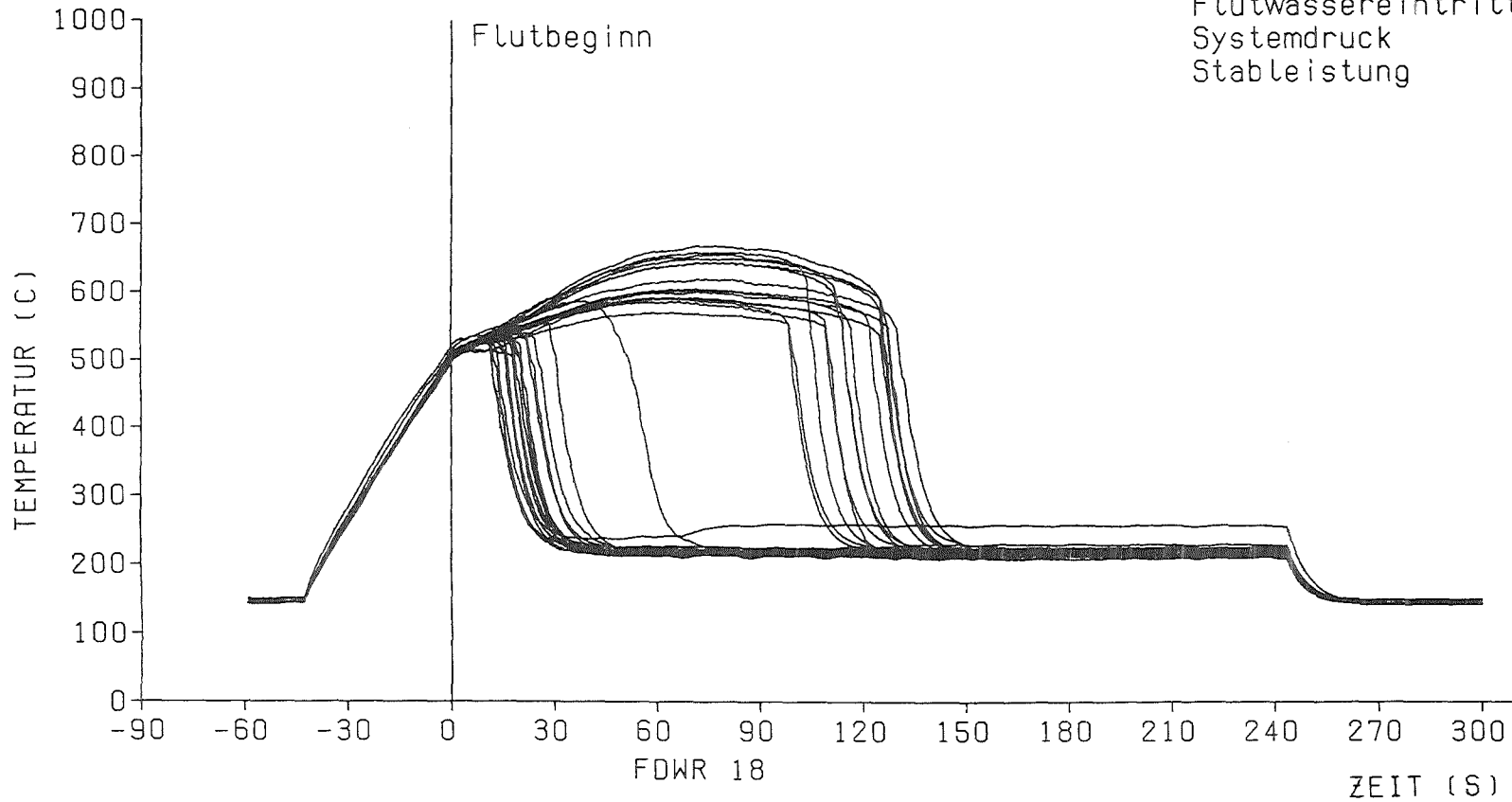


Abb .62

Heizstabtemperaturen in verschiedenen axialen Höhen des Stabes 143 und Gesamtdruckverlust

FDWR 18

Heizstabtemperaturen in
axialer Mitte bei Flutbeginn : 500 C
Kalte Flutrate : 4,5 cm/s
Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
Systemdruck : 4,0 bar
Stableistung : 3,35 KW



— 101 —



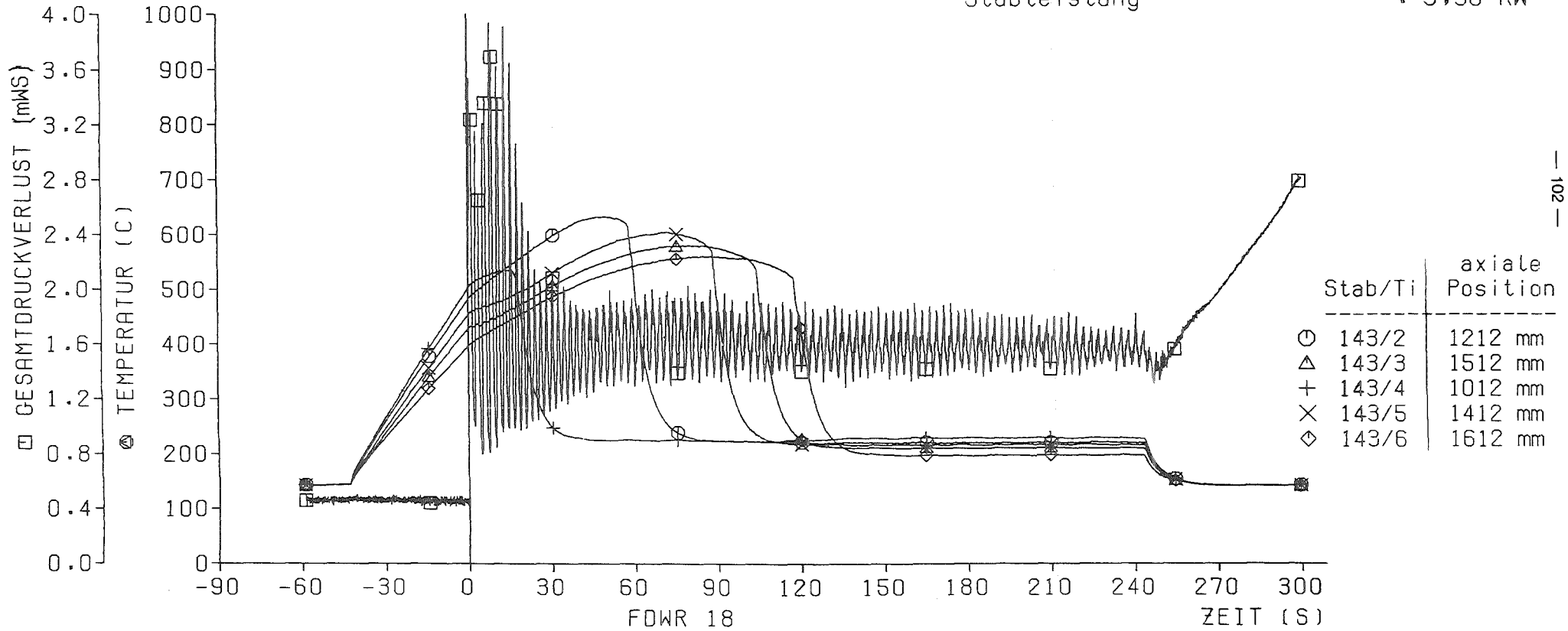
Abb .63

Heizstabtemperaturen in axialer Mitte im Innenbereich
des Bündels(37 Stäbe)

FDWR 18

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 500 C
 Kalte Flutrate : 4,5 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 4,0 bar
 Stableistung : 3,35 KW

Flutbeginn



102

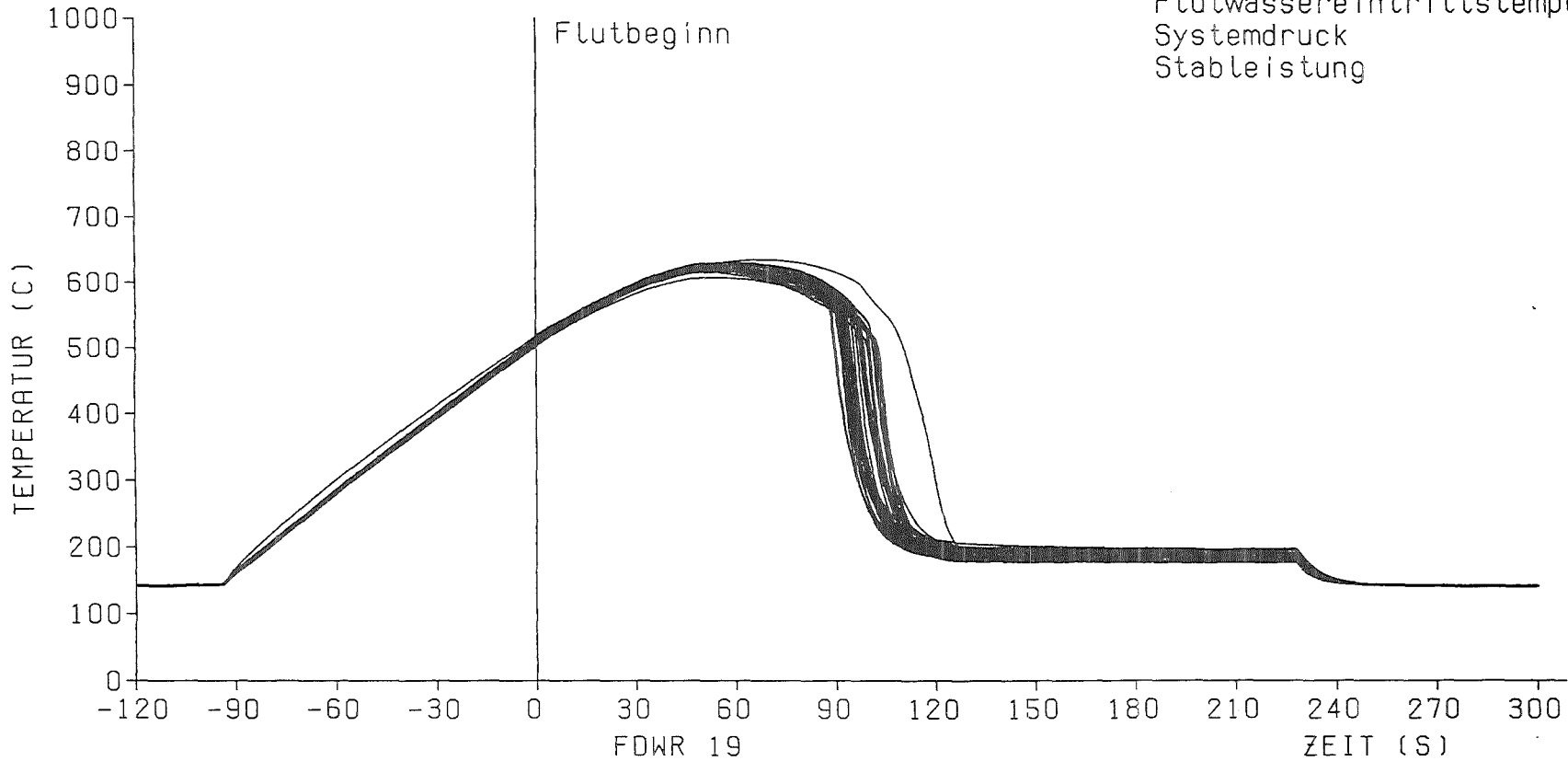


Abb. 64

Heizstabtemperaturen in verschiedenen axialen Höhen des Stabes 143 und Gesamtdruckverlust

FDWR 19

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 500 C
 Kalte Flutrate : 2,5 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 4,1 bar
 Stableistung : 1,6 KW



— 103 —



Abb. 65

Heizstabtemperaturen in axialer Mitte im Innenbereich
 des Bündels (37 Stäbe).

FDWR 19

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 500 C
 Kalte Flutrate : 2,5 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 4,1 bar
 Stableistung : 1,6 KW

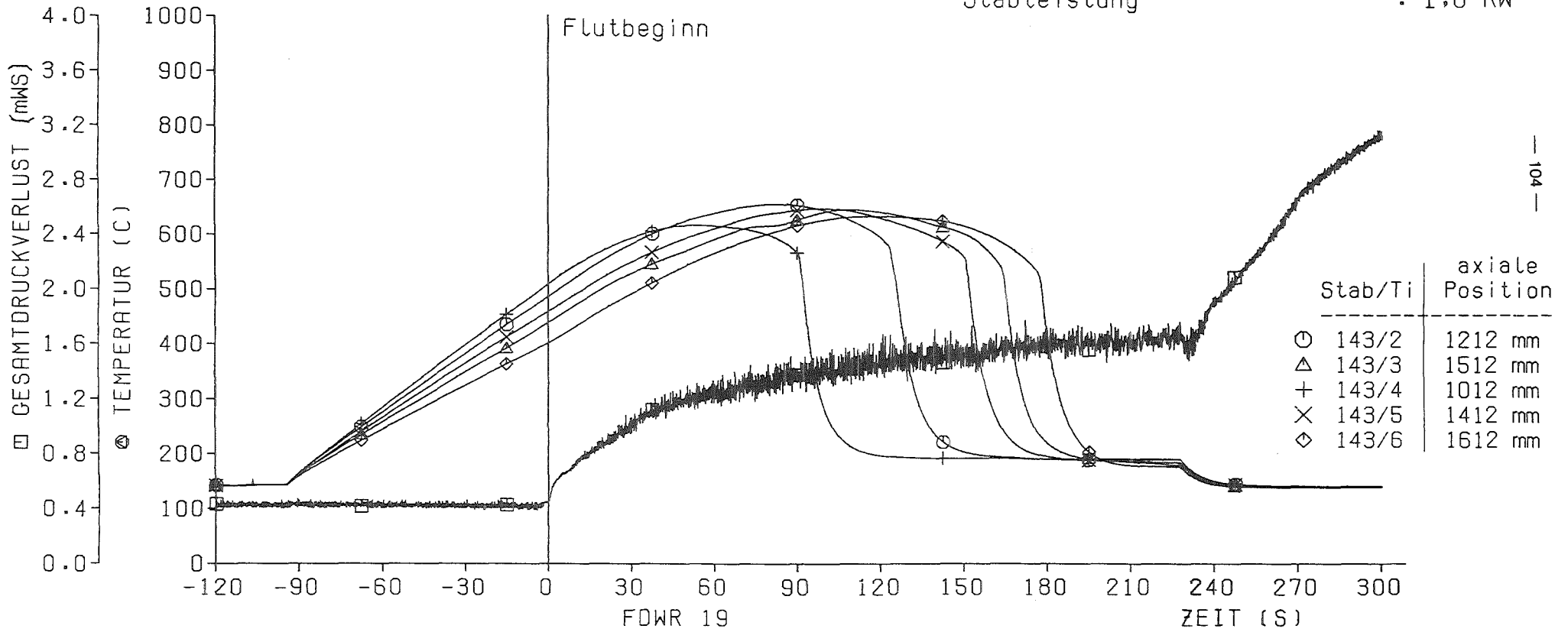
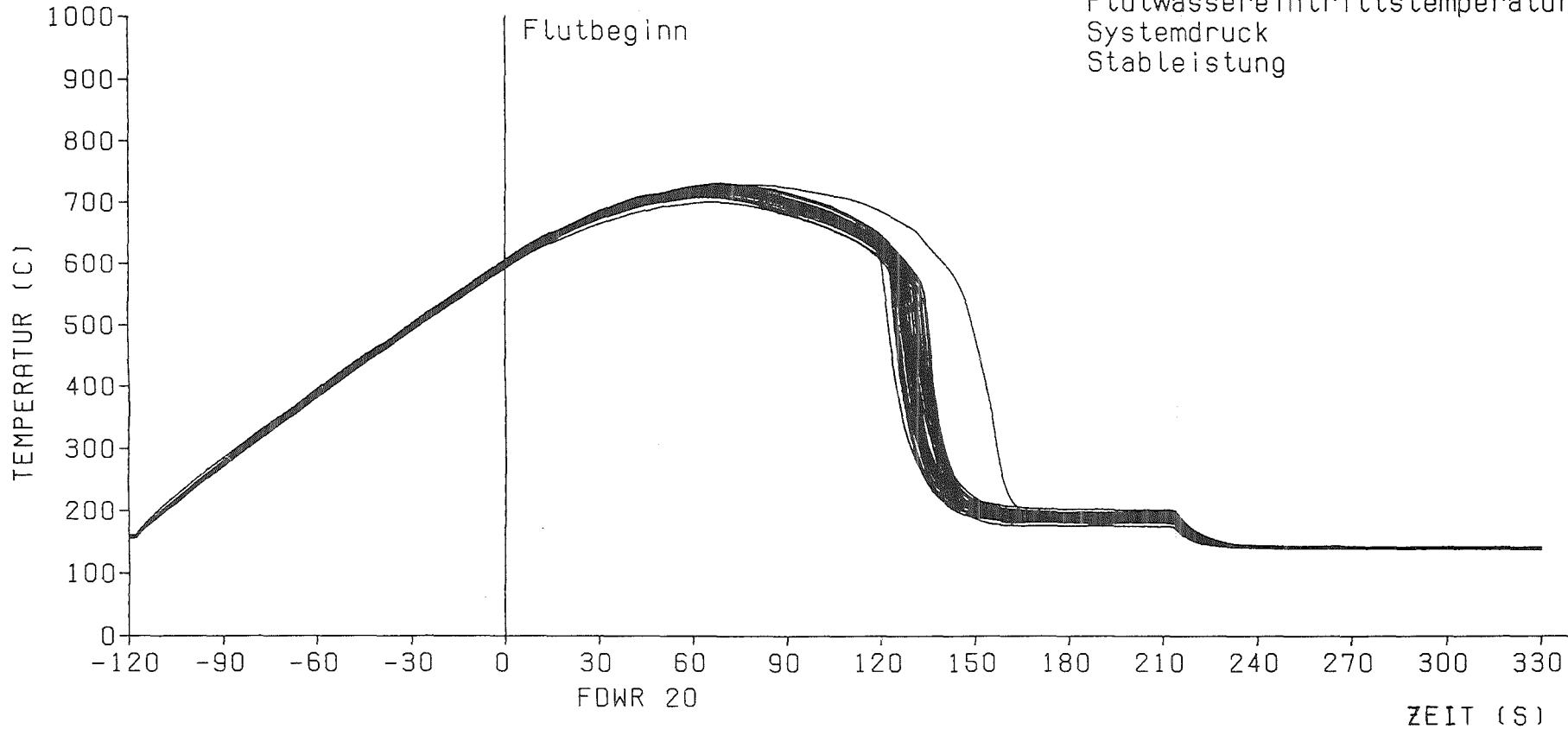


Abb .66

Heizstabtemperaturen in verschiedenen axialen Höhen
 des Stabes 143 und Gesamtdruckverlust

FDWR 20

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 600 C
 Kalte Flutrate : 2,5 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 4,1 bar
 Stableistung : 1,6 KW



— 105 —



Abb .67

Heizstabtemperaturen in axialer Mitte im Innenbereich des Bündels(37 Stäbe)

FDWR 20

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 600 C
 Kalte Flutrate : 2,5 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 4,1 bar
 Stabileistung : 1,6 KW

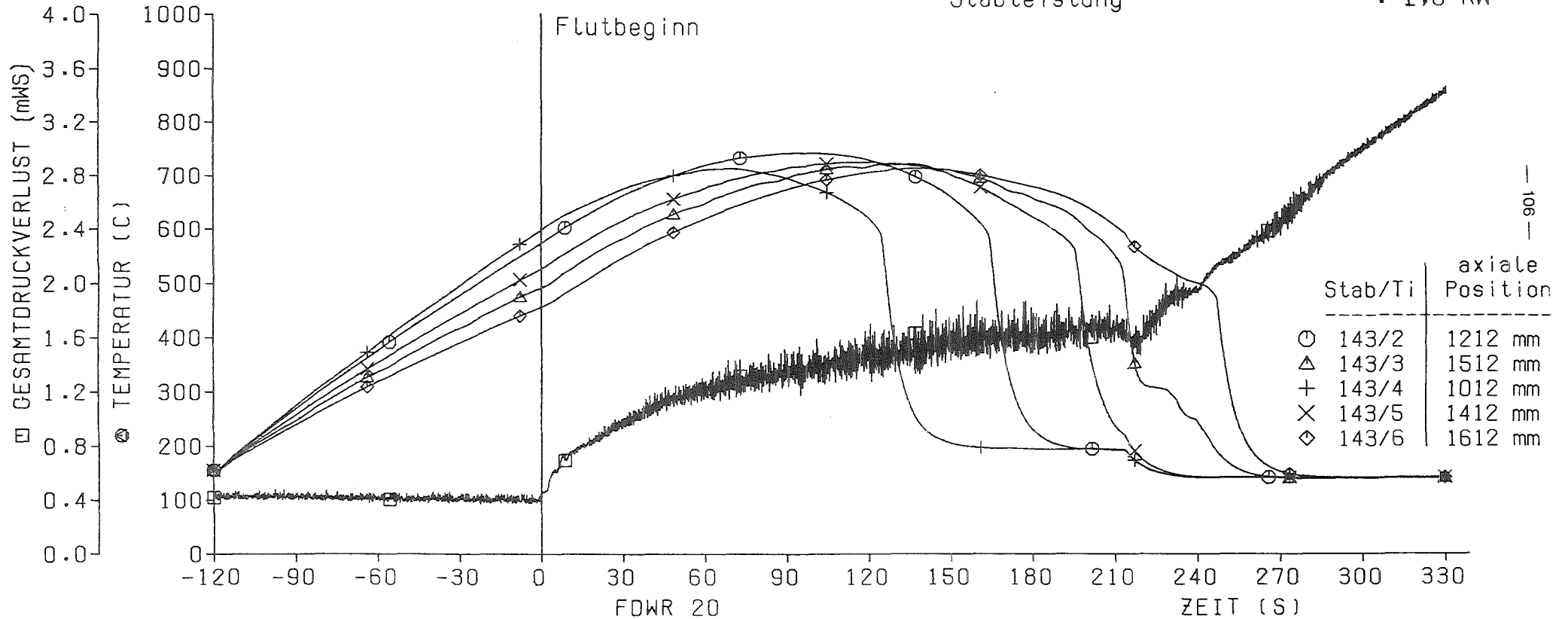
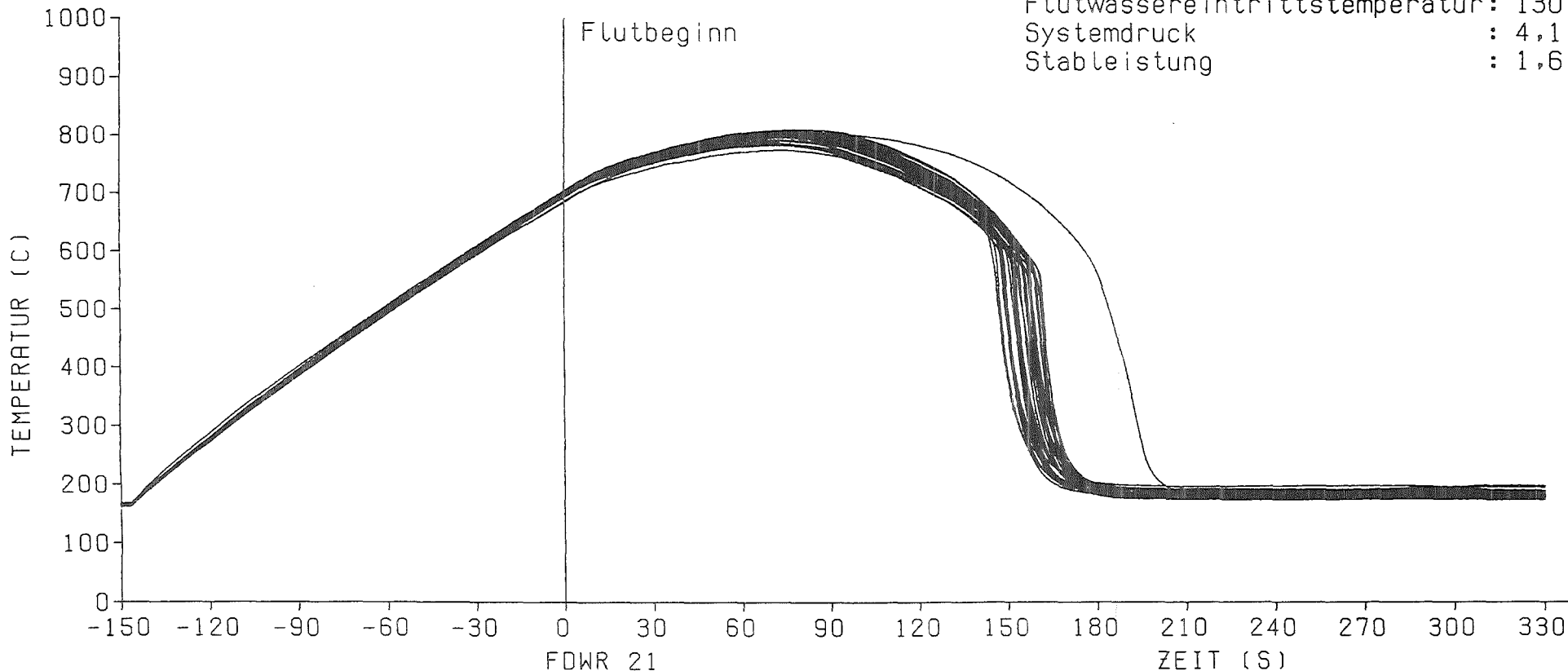


Abb .68

Heizstabtemperaturen in verschiedenen axialen Höhen des Stabes 143 und Gesamtdruckverlust

FDWR 21

Heizstabtemperaturen in
axialer Mitte bei Flutbeginn : 700 C
Kalte Flutrate : 2,5 cm/s
Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
Systemdruck : 4,1 bar
Stableistung : 1,6 KW



— 107 —

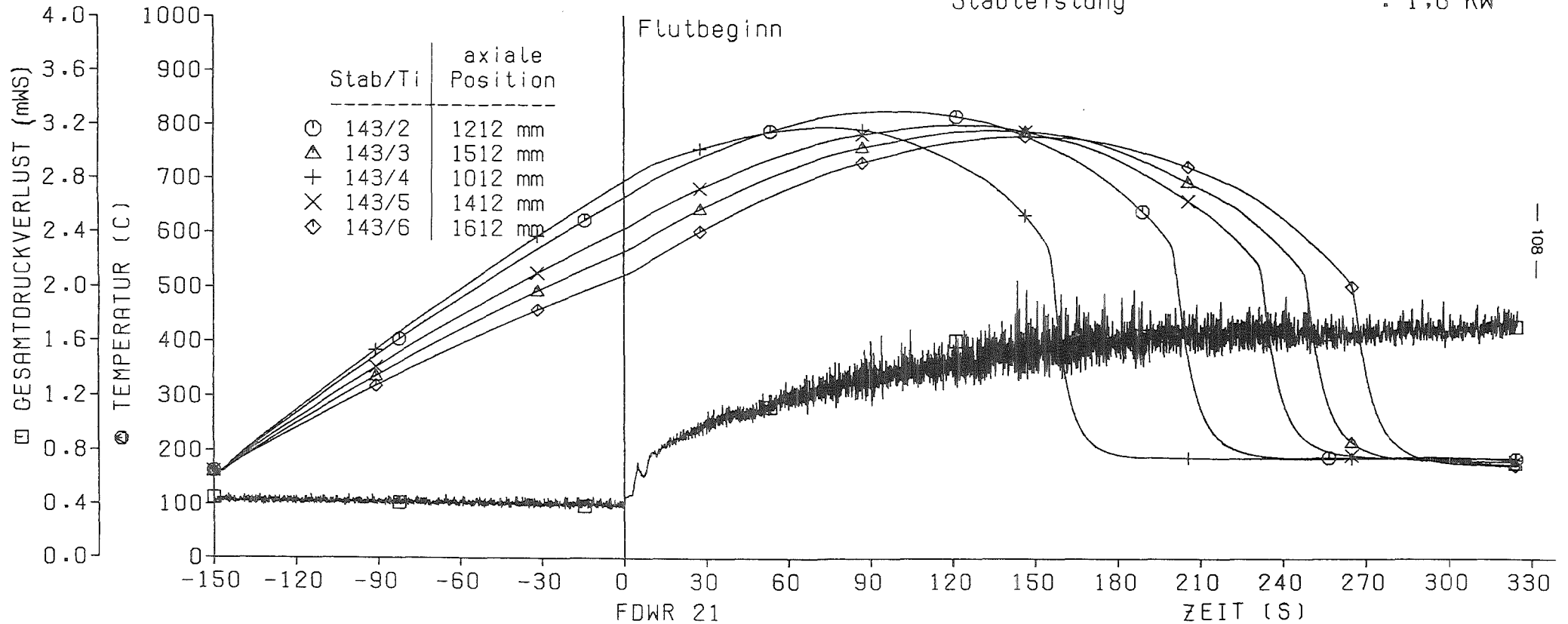


Abb .69

Heizstabtemperaturen in axialer Mitte im Innenbereich
des Bündels(37 Stäbe)

FDWR 21

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 700 C
 Kalte Flutrate : 2,5 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 4,1 bar
 Stableistung : 1,6 KW



— 108 —



Abb. 70

Heizstabtemperaturen in verschiedenen axialen Höhen des Stabes 143 und Gesamtdruckverlust

FDWR 22

Heizstabtemperaturen in
axialer Mitte bei Flutbeginn : 400 C
Kalte Flutrate : 2,5 cm/s
Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
Systemdruck : 4,1 bar
Stableistung : 2,3 KW

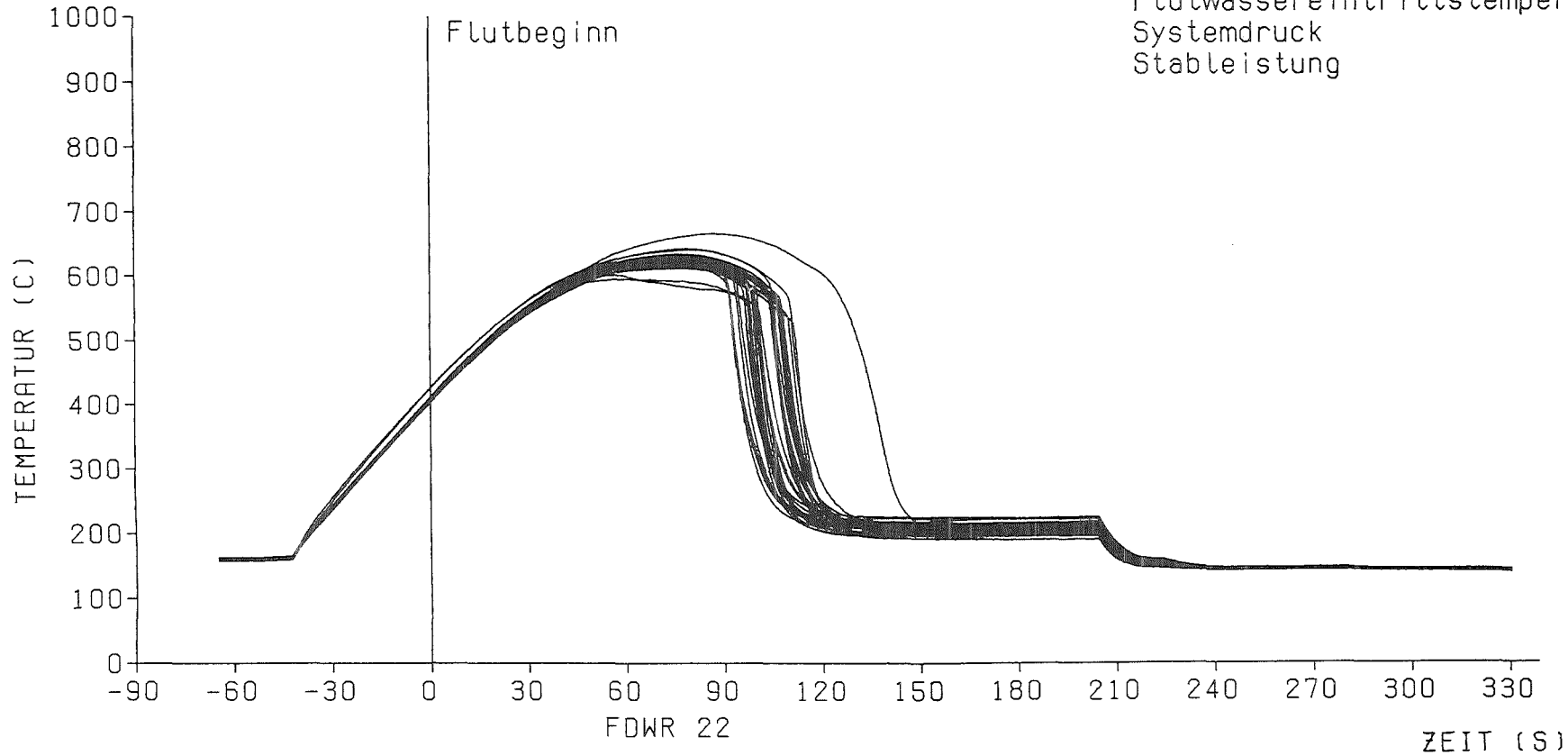


Abb. 71

Heizstabtemperaturen in axialer Mitte im Innenbereich
des Bündels (37 Stäbe)

FDWR 22

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 400 C
 Kalte Flutrate : 2,5 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 4,1 bar
 Stableistung : 2,3 KW

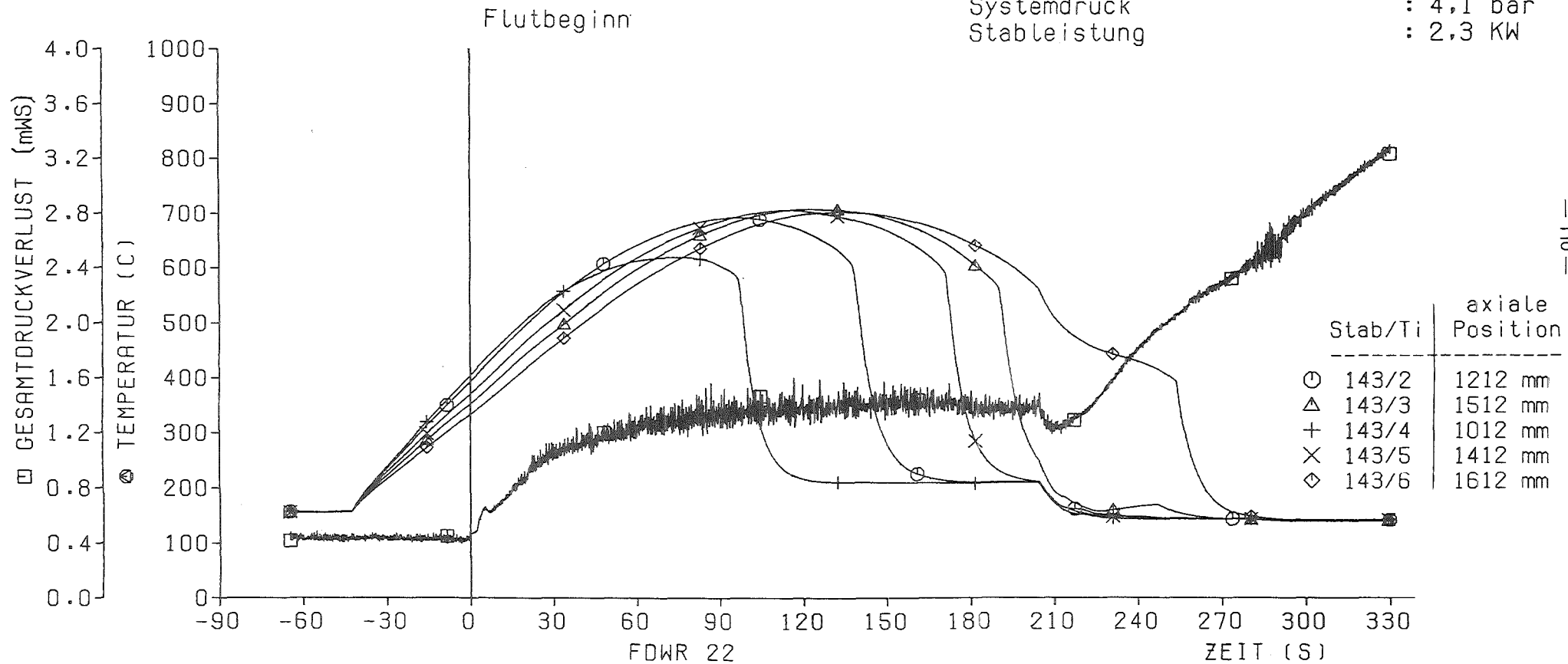
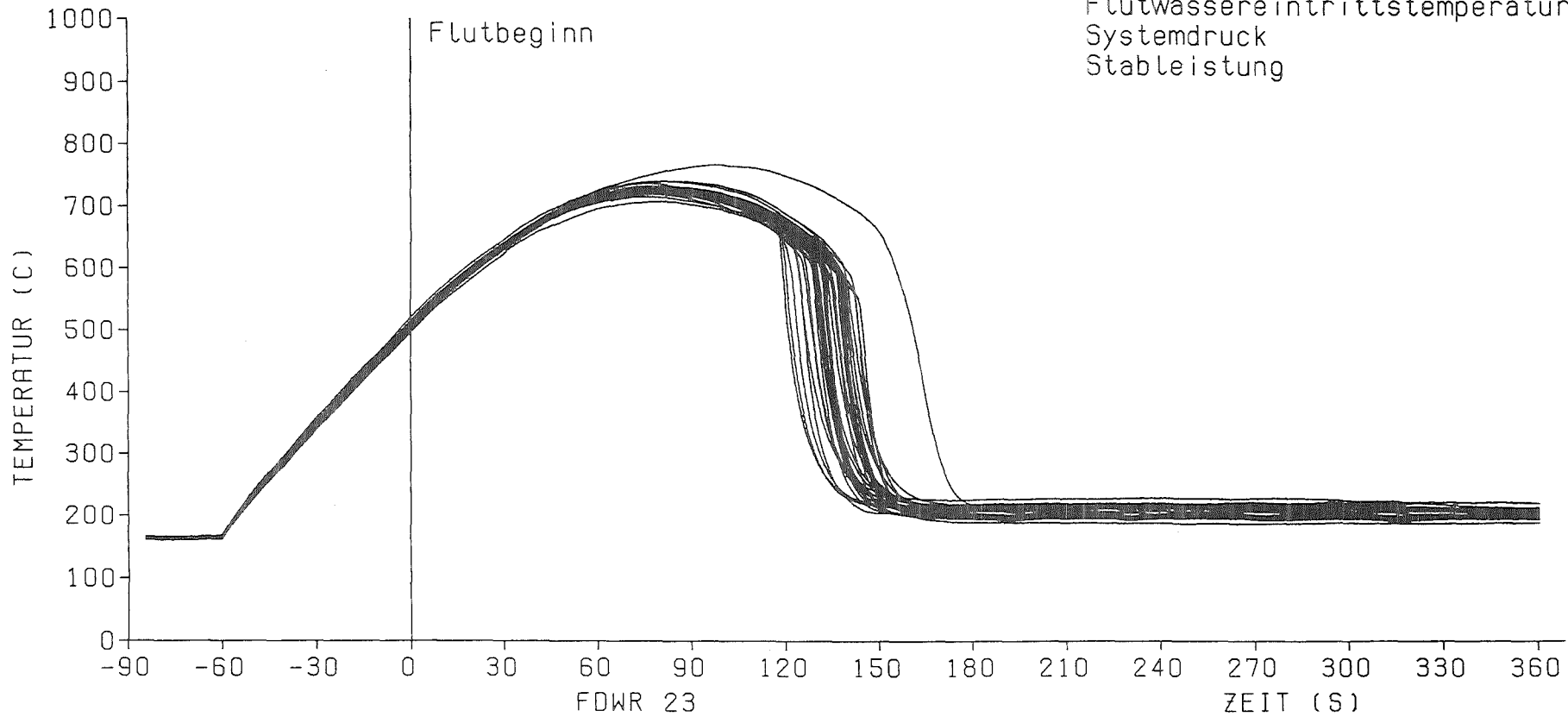


Abb.72

Heizstabtemperaturen in verschiedenen axialen Höhen
 des Stabes 143 und Gesamtdruckverlust

FDWR 23

Heizstabtemperaturen in
axialer Mitte bei Flutbeginn : 500 C
Kalte Flutrate : 2,5 cm/s
Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
Systemdruck : 4,1 bar
Stableistung : 2,3 KW



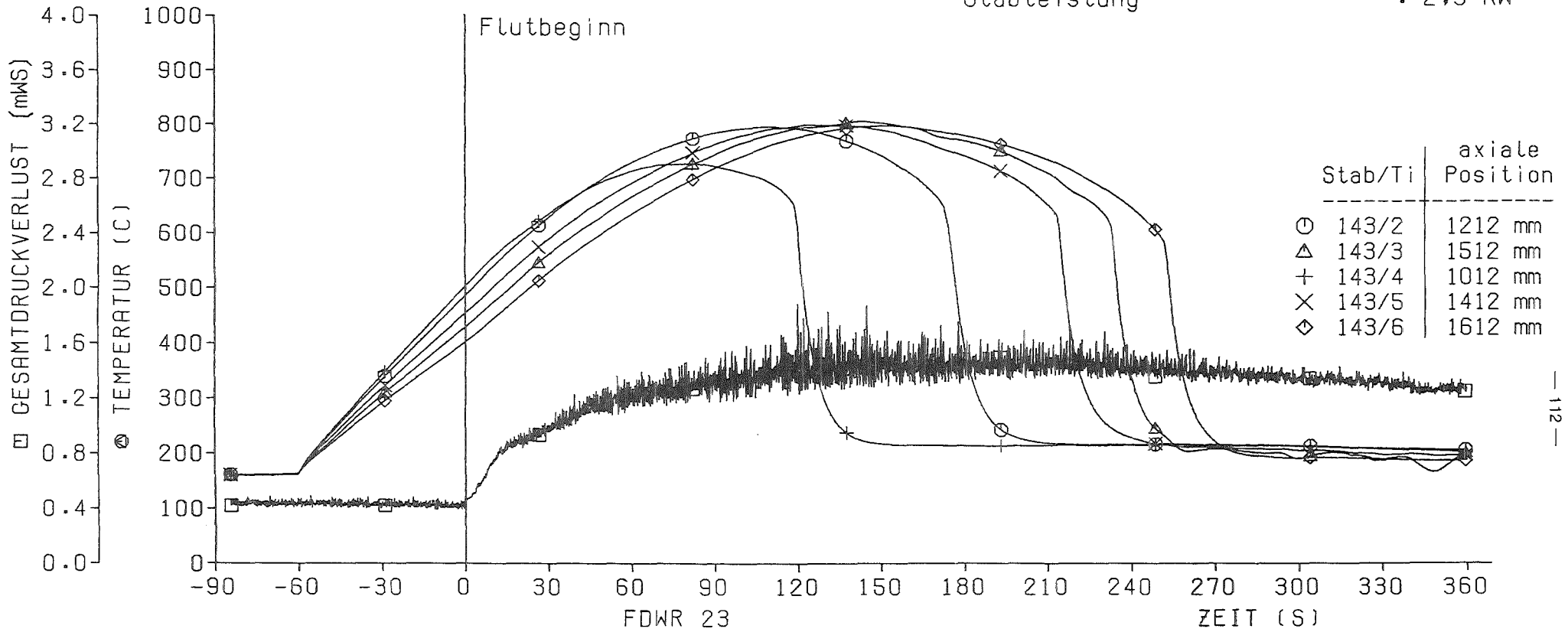
KfK IATF

Abb. 73

Heizstabtemperaturen in axialer Mitte im Innenbereich
des Bündels(37 Stäbe)

FDWR 23

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 500 C
 Kalte Flutrate : 2,5 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 4,1 bar
 Stableistung : 2,3 KW



— 112 —



Abb. 74

Heizstabtemperaturen in verschiedenen axialen Höhen des Stabes 143 und Gesamtdruckverlust

FDWR 24

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 600 C
 Kalte Flutrate : 2,5 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 4,1 bar
 Stabileistung : 2,3 KW

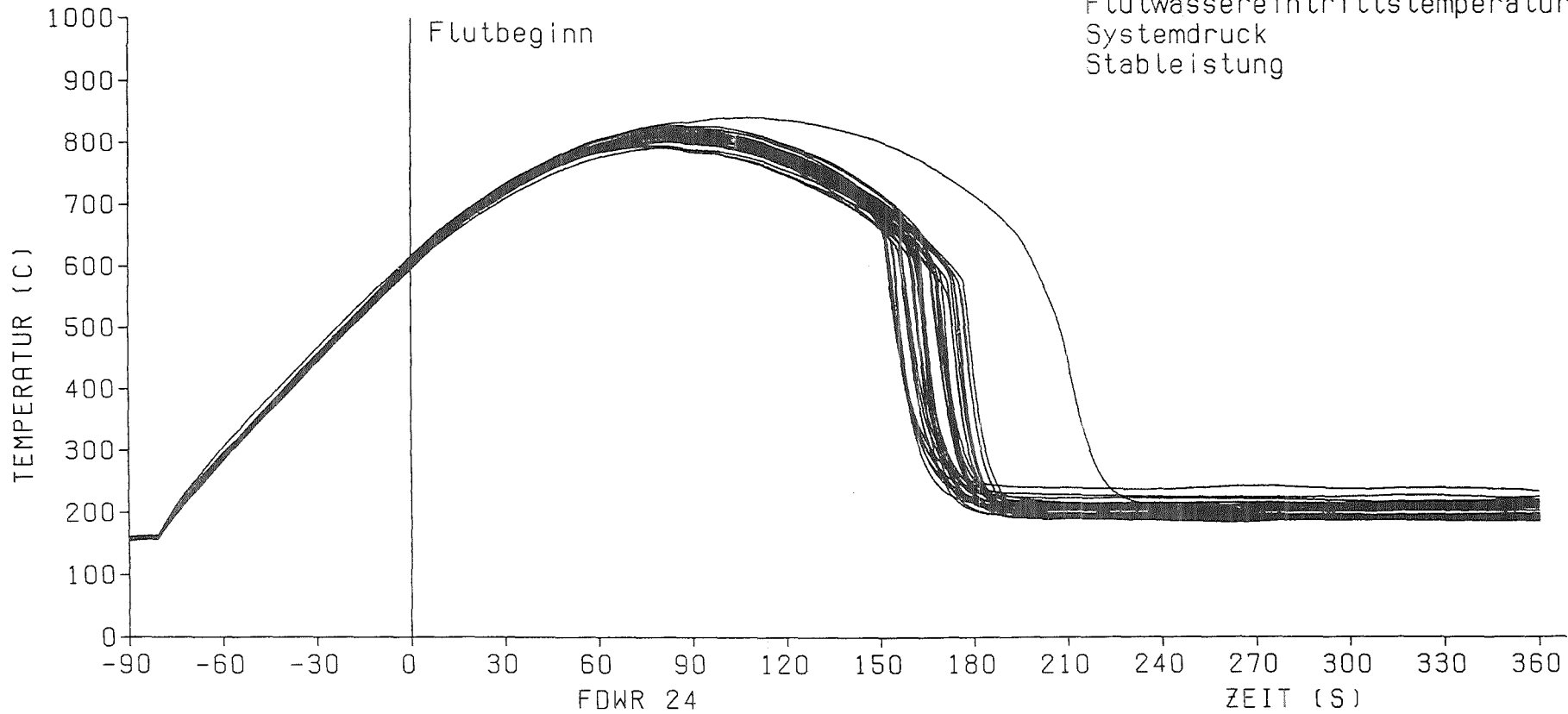
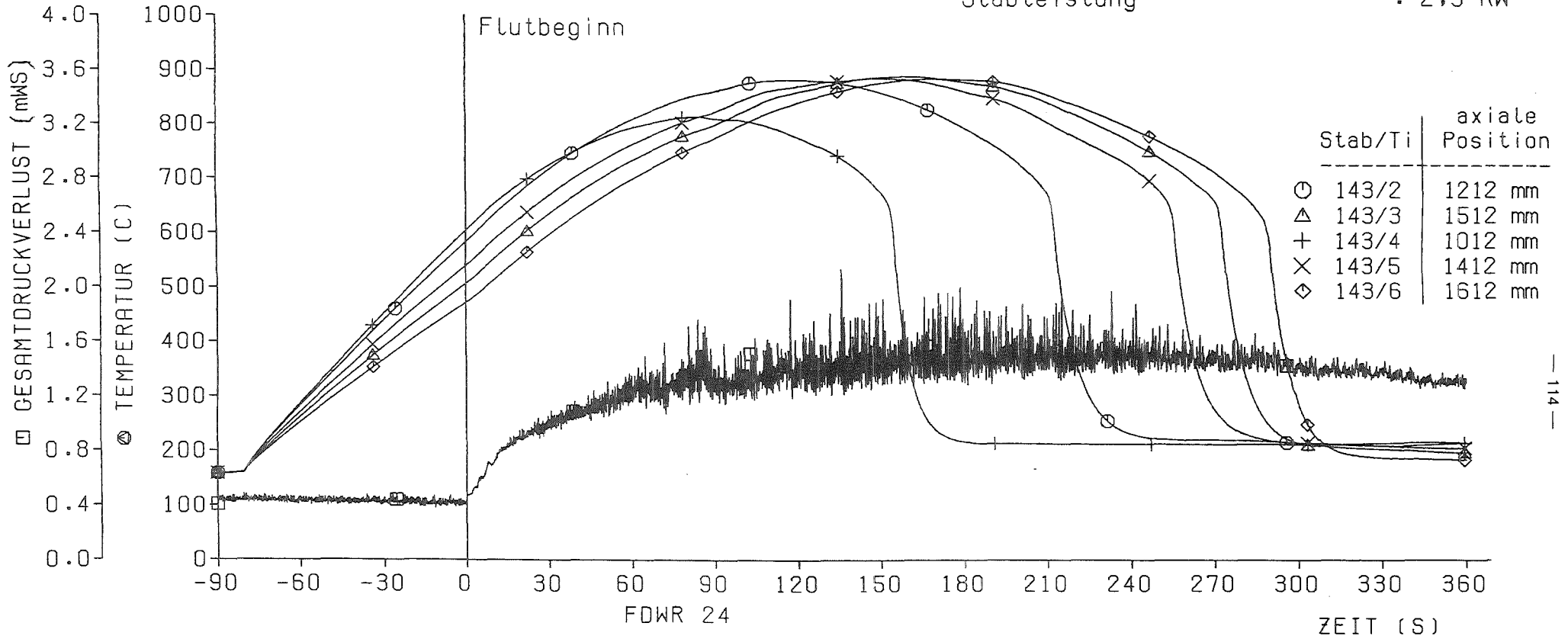


Abb. 75

Heizstabtemperaturen in axialer Mitte im Innenbereich des Bündels (37 Stäbe)

FDWR 24

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 600 C
 Kalte Flutrate : 2,5 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 4,1 bar
 Stableistung : 2,3 KW



- 114 -

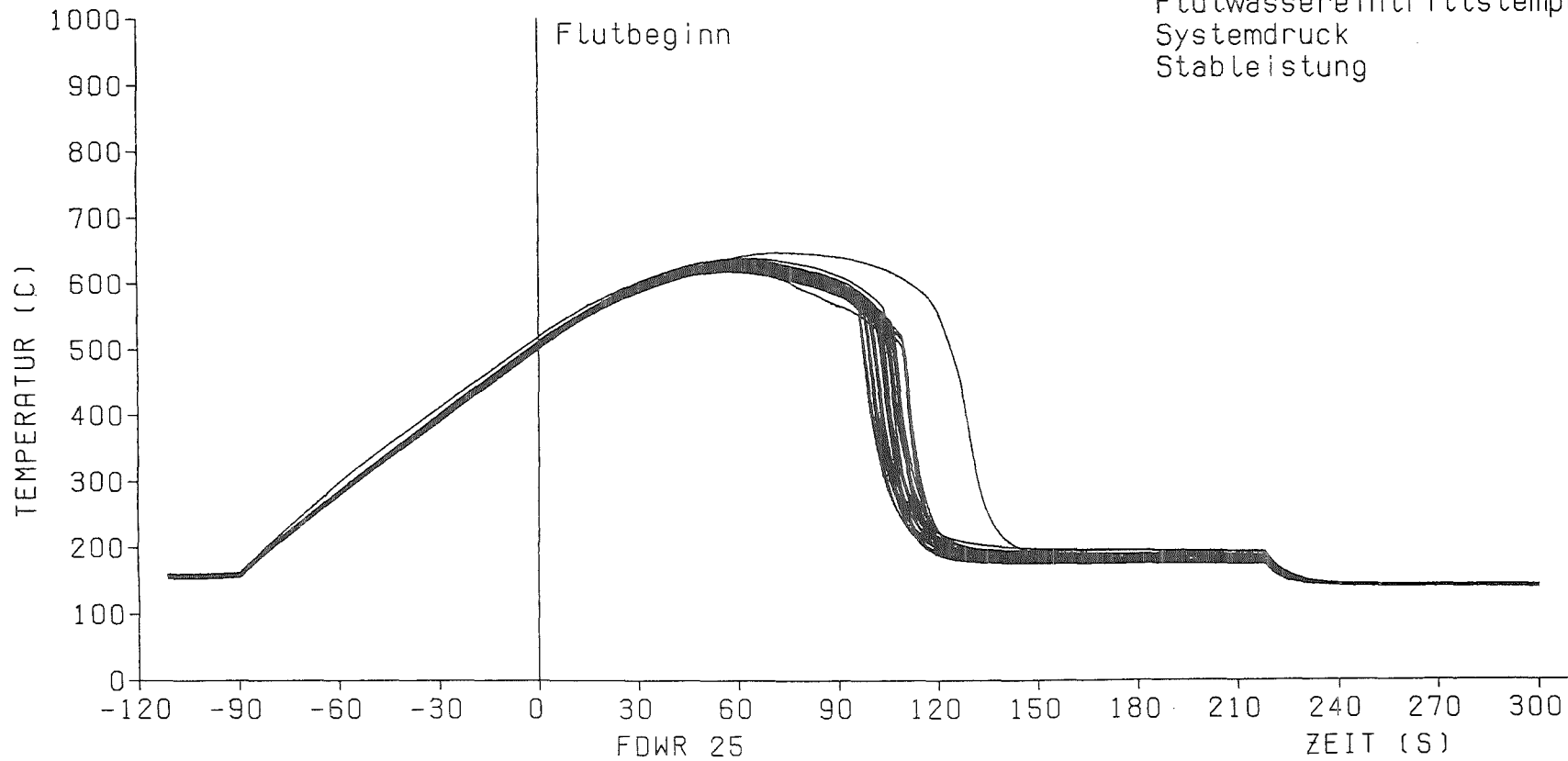


Abb. 76

Heizstabtemperaturen in verschiedenen axialen Höhen
 des Stabes 143 und Gesamtdruckverlust

FDWR 25

Heizstabtemperaturen in
axialer Mitte bei Flutbeginn : 500 C
Kalte Flutrate : 2,5 cm/s
Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
Systemdruck : 4,1 bar
Stableistung : 1,6 KW



— 115 —



Abb.77

Heizstabtemperaturen in axialer Mitte im Innenbereich
des Bündels(37 Stäbe)

FDWR 25

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 500 C
 Kalte Flutrate : 2,5 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 4,1 bar
 Stableistung : 1,6 KW

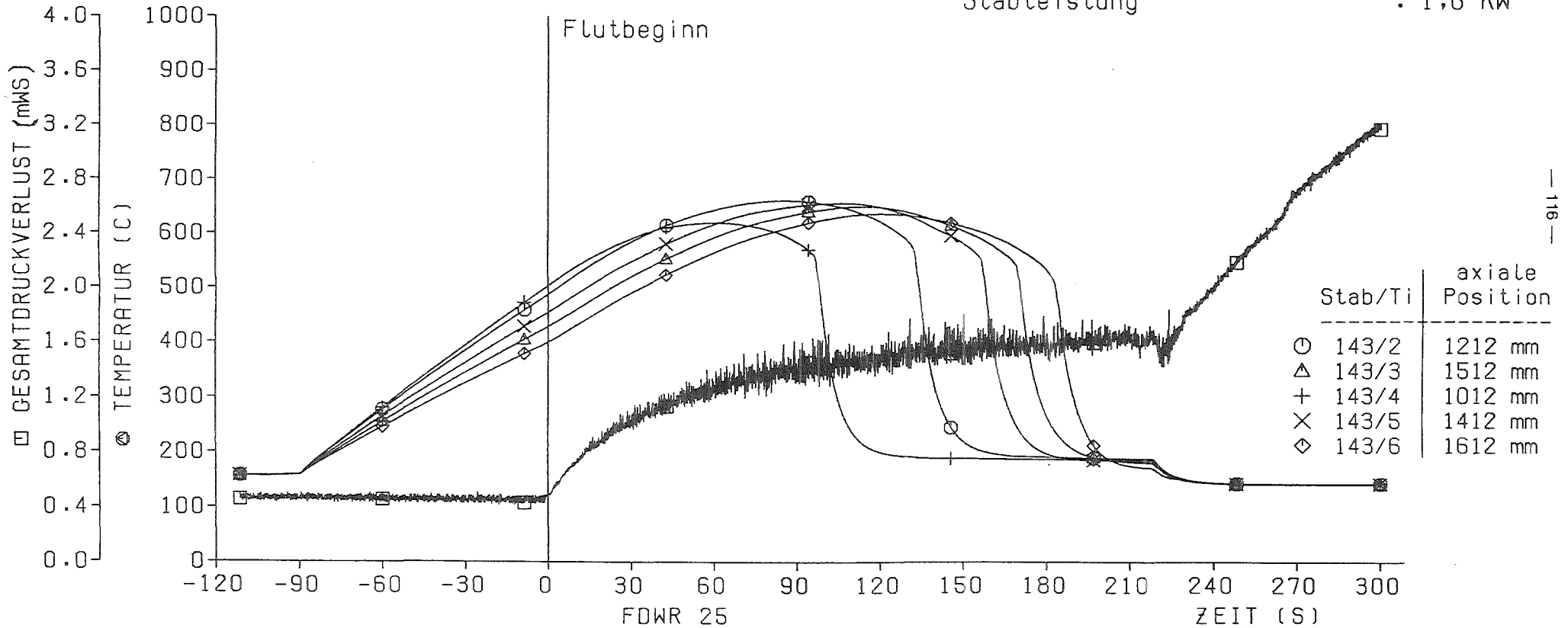
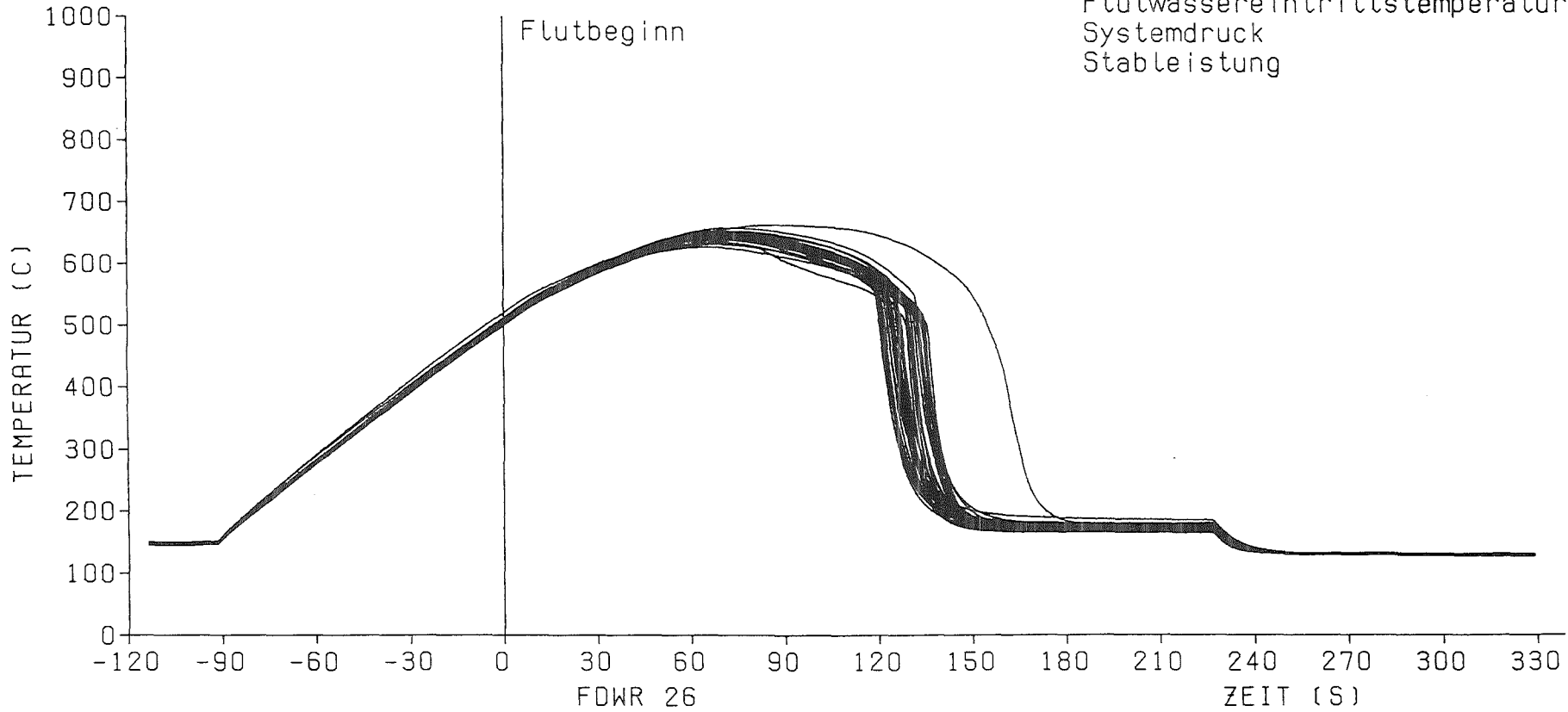


Abb. 78

Heizstabtemperaturen in verschiedenen axialen Höhen des Stabes 143 und Gesamtdruckverlust

FDWR 26

Heizstabtemperaturen in
axialer Mitte bei Flutbeginn : 500 C
Kalte Flutrate : 2,5 cm/s
Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
Systemdruck : 2,8 bar
Stableistung : 1,6 KW



— 117 —



Abb. 79

Heizstabtemperaturen in axialer Mitte im Innenbereich des Bündels(37 Stäbe)

FDWR 26

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 500 C
 Kalte Flutrate : 2,5 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 2,8 bar
 Stableistung : 1,6 KW

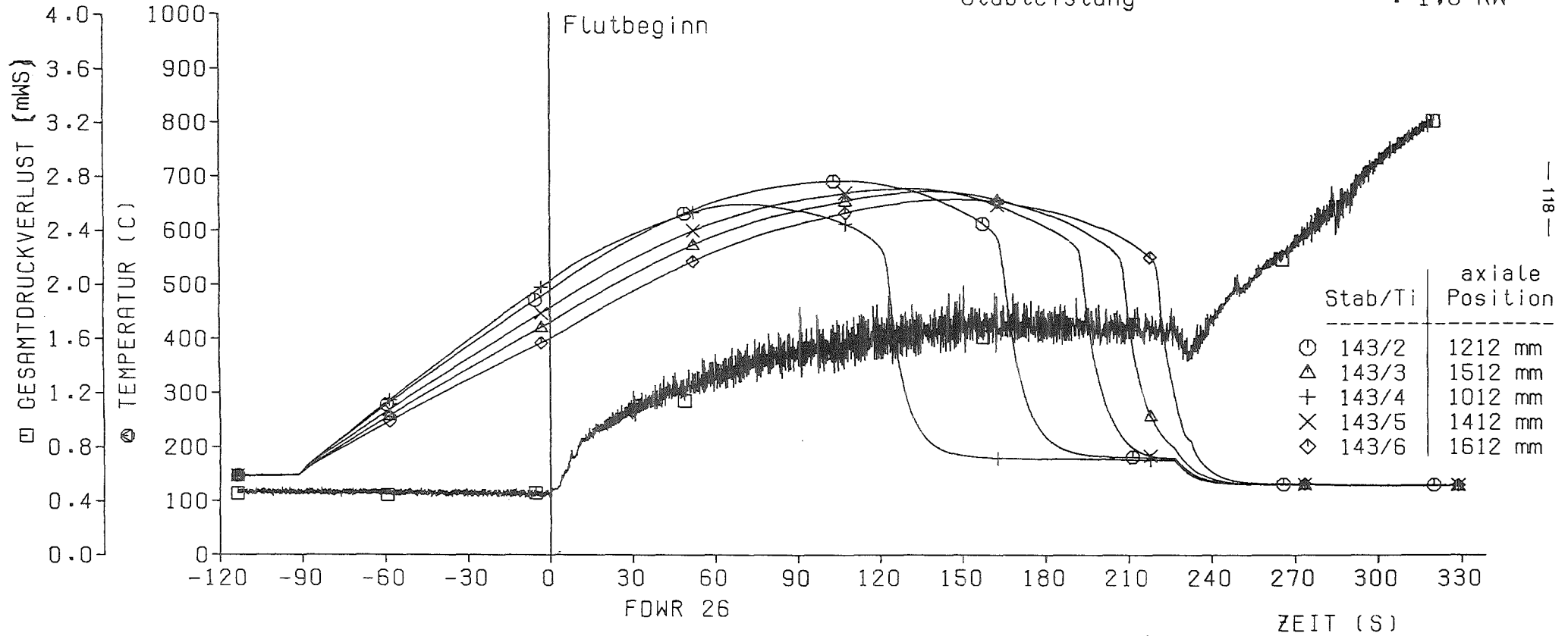
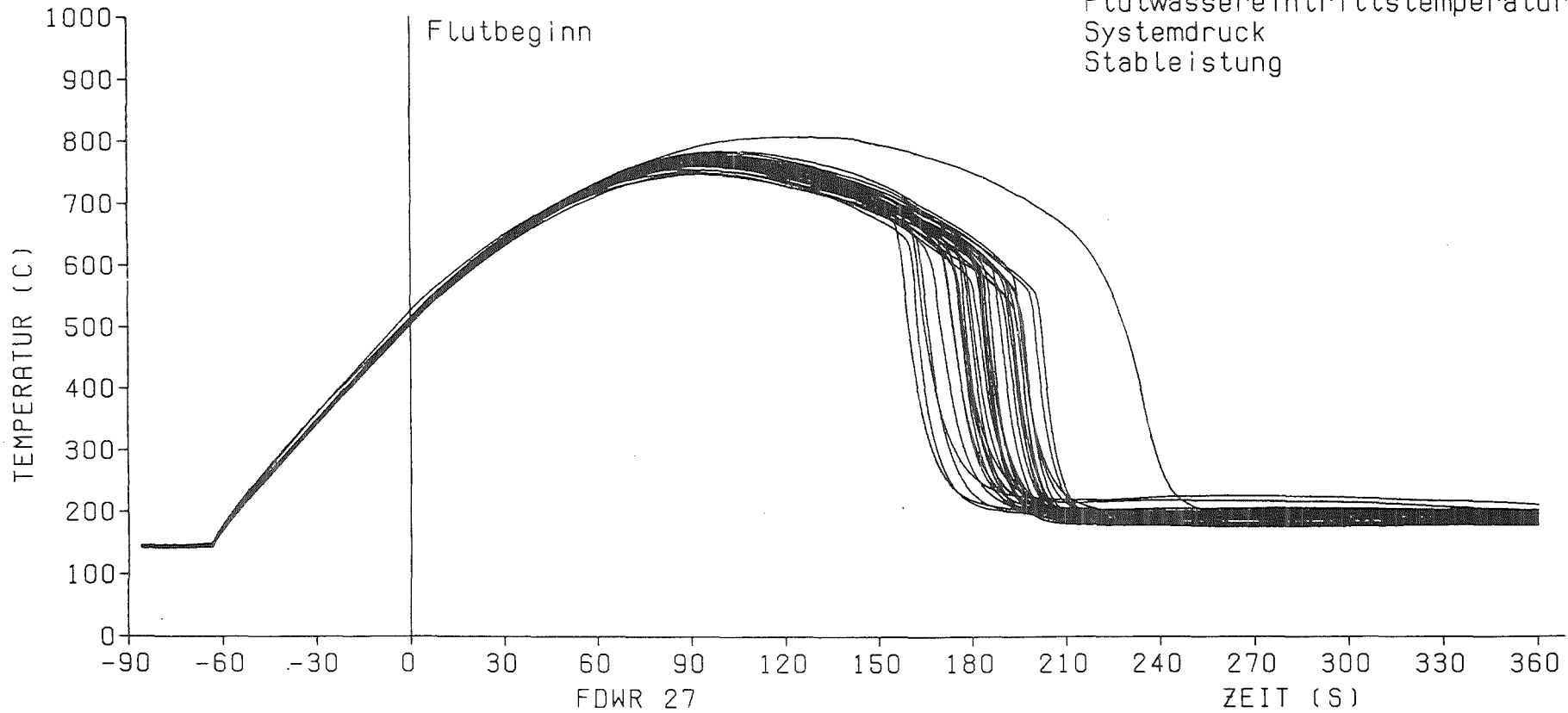


Abb.80

Heizstabtemperaturen in verschiedenen axialen Höhen
 des Stabes 143 und Gesamtdruckverlust

FDWR 27

Heizstabtemperaturen in
axialer Mitte bei Flutbeginn : 500 C
Kalte Flurrate : 2,5 cm/s
Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
Systemdruck : 2,8 bar
Stableistung : 2,3 KW



— 119 —

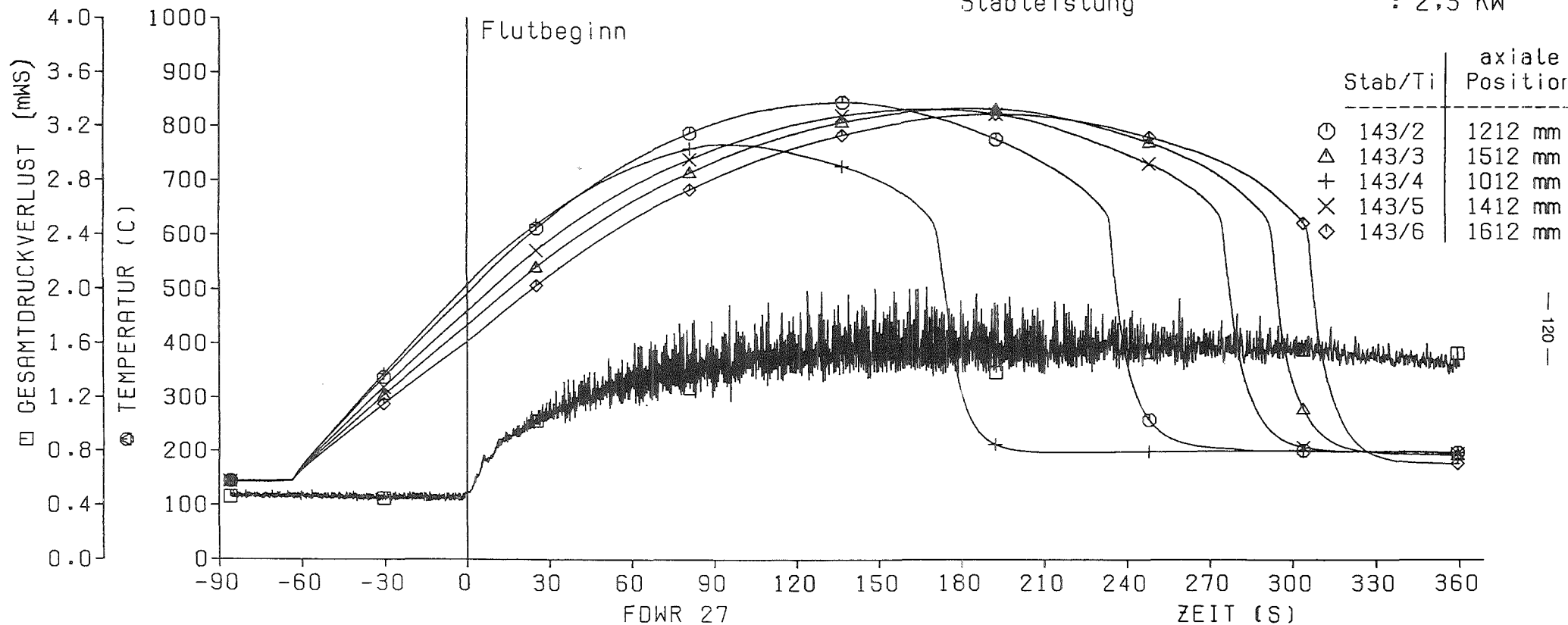


Abb .81

Heizstabtemperaturen in axialer Mitte im Innenbereich
des Bündels(37 Stäbe)

FDWR 27

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 500 C
 Kalte Flutrate : 2,5 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 2,8 bar
 Stabileistung : 2,3 KW



— 120 —

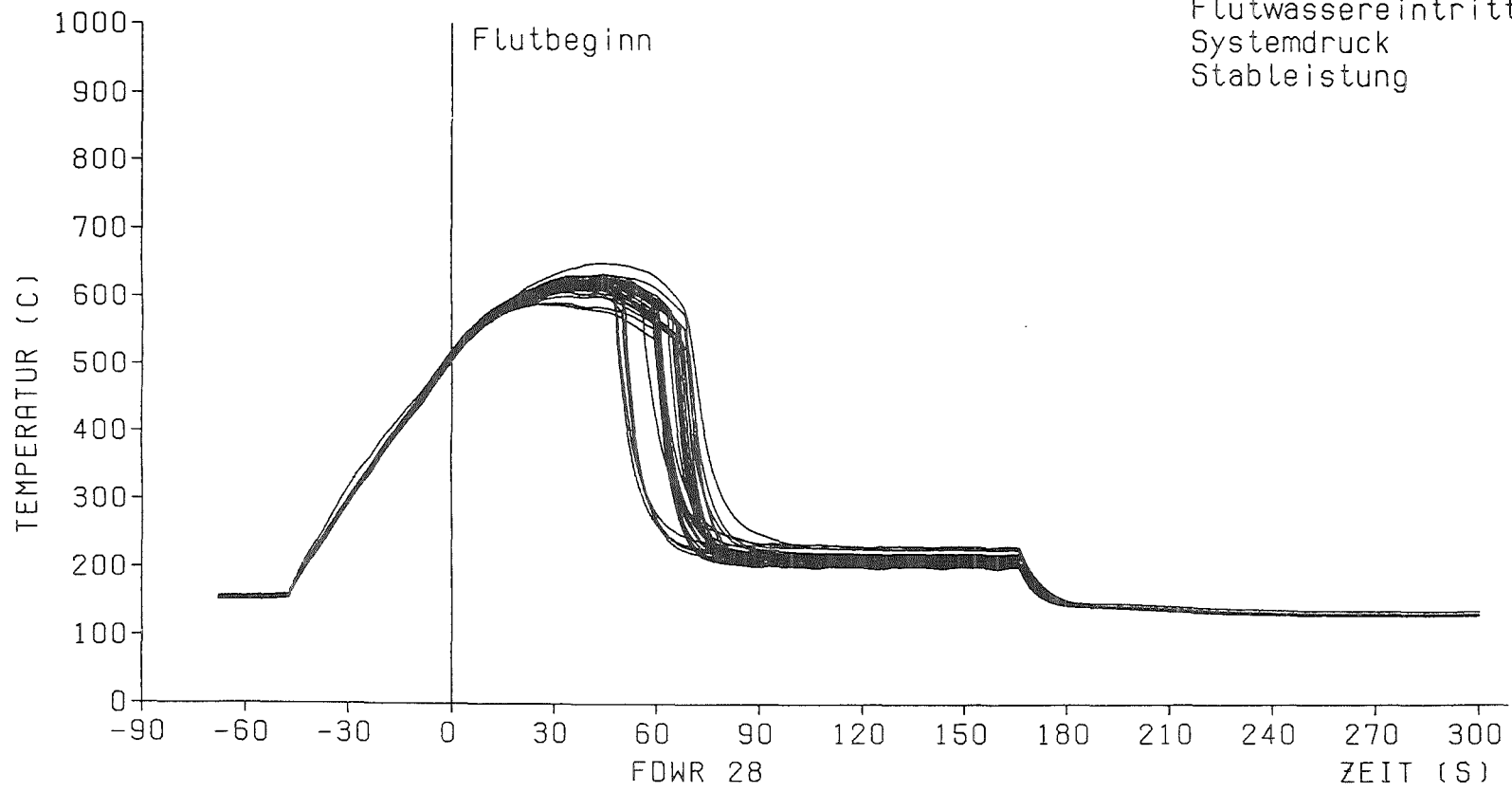


Abb. 82

Heizstabtemperaturen in verschiedenen axialen Höhen des Stabes 143 und Gesamtdruckverlust

FDWR 28

Heizstabtemperaturen in
axialer Mitte bei Flutbeginn : 500 C
Kalte Flutrate : 5,8 cm/s
Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
Systemdruck : 4,1 bar
Stableistung : 3,0 KW



— 121 —



Abb. 83

Heizstabtemperaturen in axialer Mitte im Innenbereich des Bündels (37 Stäbe)

FDWR 28

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 500 C
 Kalte Flutrate : 5,8 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 4,1 bar
 Stableistung : 3,0 KW

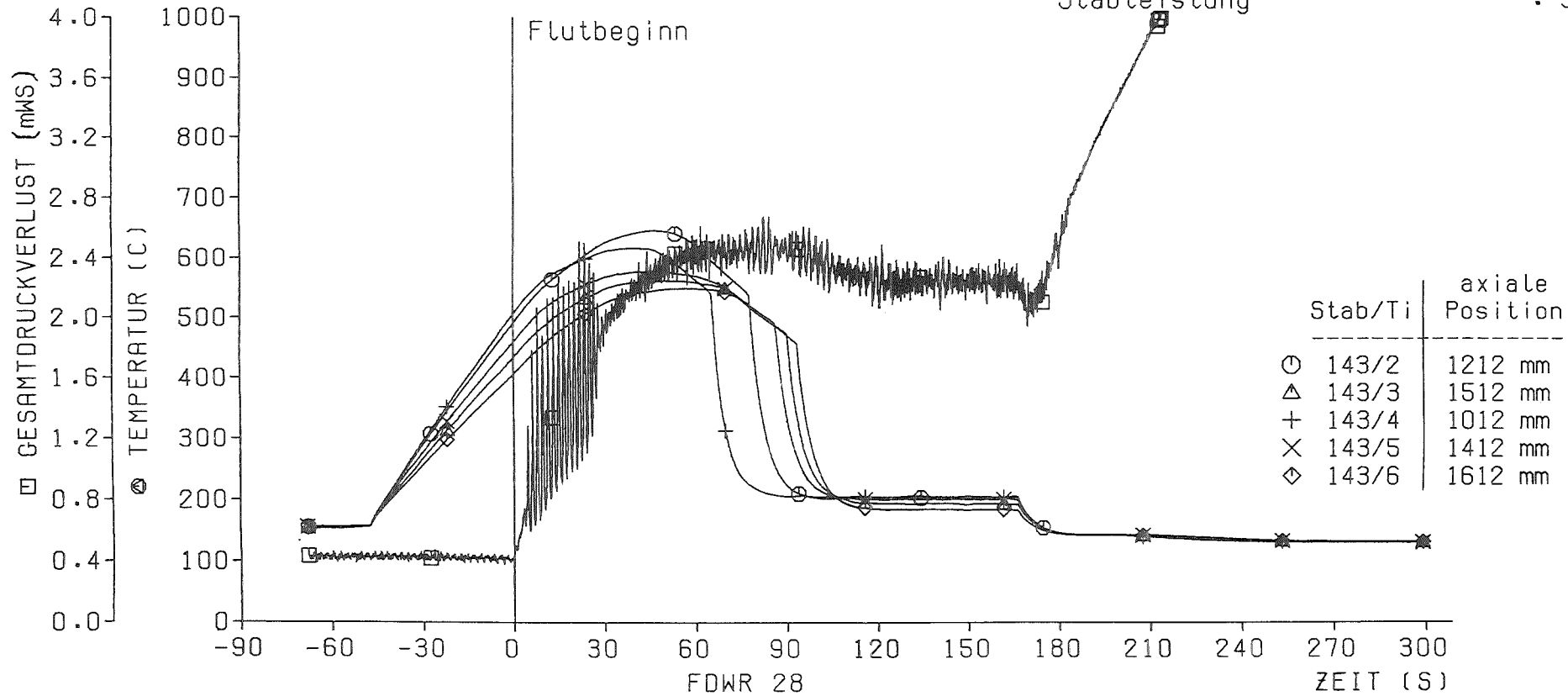
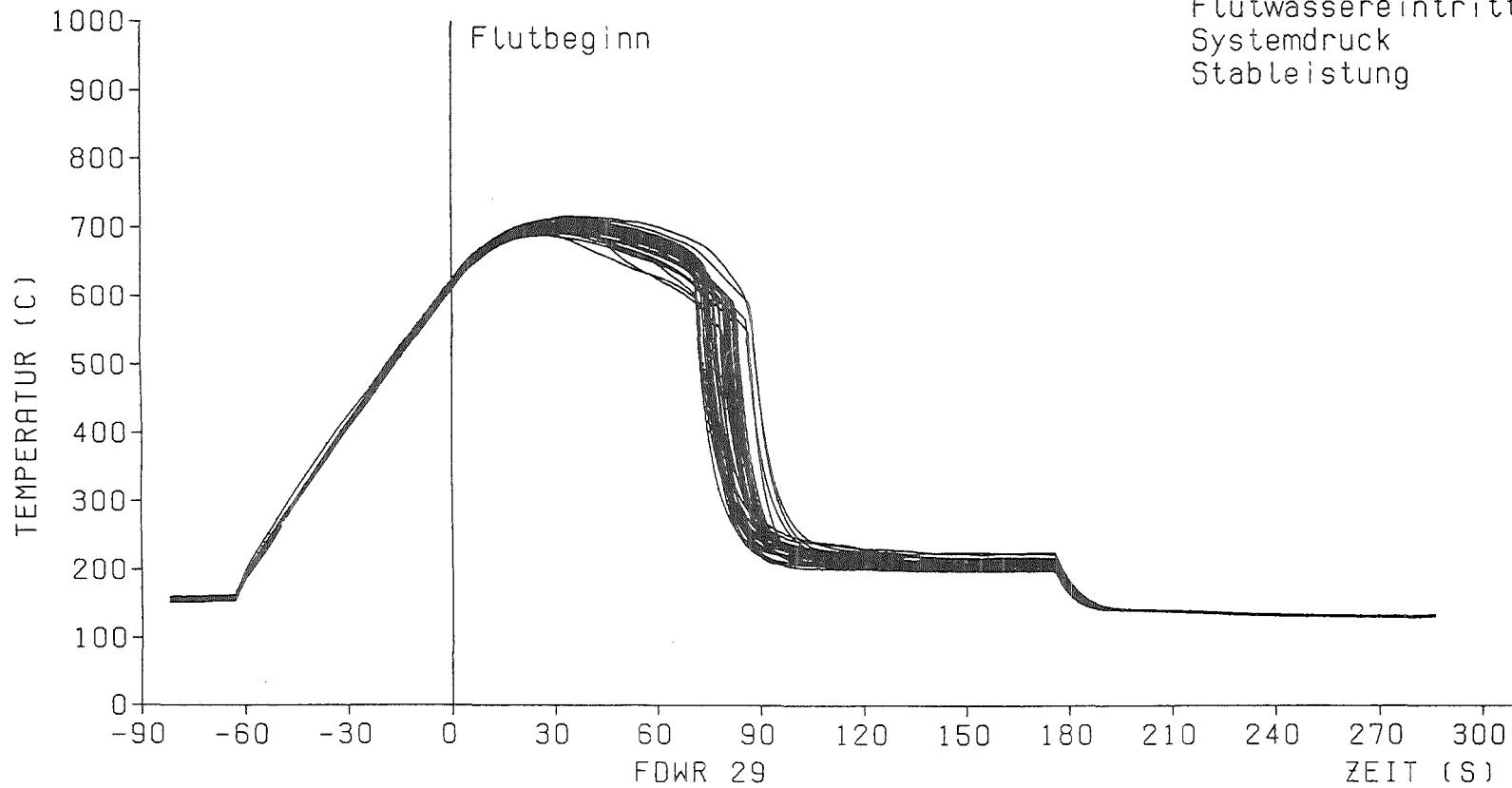


Abb .84

Heizstabtemperaturen in verschiedenen axialen Höhen
 des Stabes 143 und Gesamtdruckverlust

FDWR 29

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 600 C
 Kalte Flutrate : 4,5 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 4,1 bar
 Stableistung : 3,0 KW



— 123 —



Abb. 85

Heizstabtemperaturen in axialer Mitte im Innenbereich des Bündels (37 Stäbe)

FDWR 29

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 600 C
 Kalte Flutrate : 4,5 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 4,1 bar
 Stabileistung : 3,0 KW

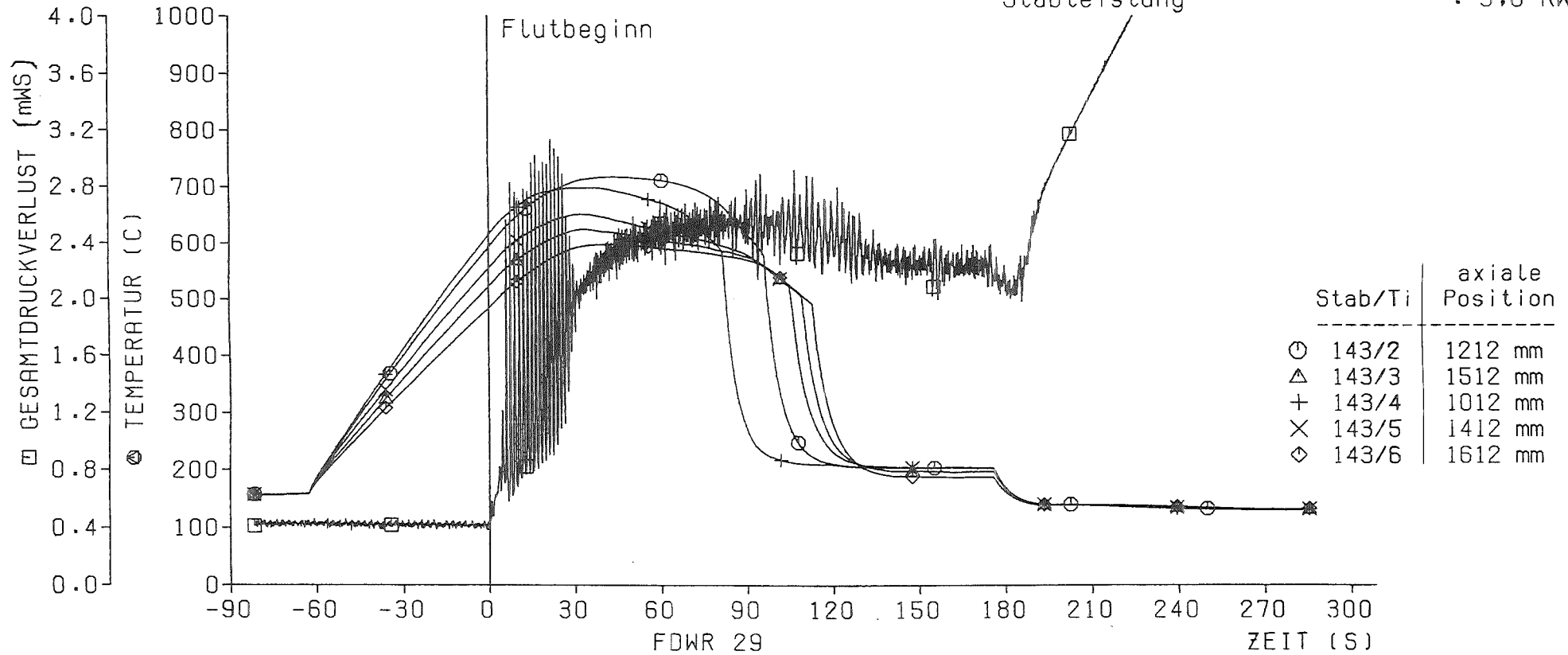


Abb .86

Heizstabtemperaturen in verschiedenen axialen Höhen
 des Stabes 143 und Gesamtdruckverlust

FDWR 30

Heizstabtemperaturen in
axialer Mitte bei Flutbeginn : 600 C
Kalte Flutrate : 4,5 cm/s
Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
Systemdruck : 4,1 bar
Stableistung : 3,0 KW

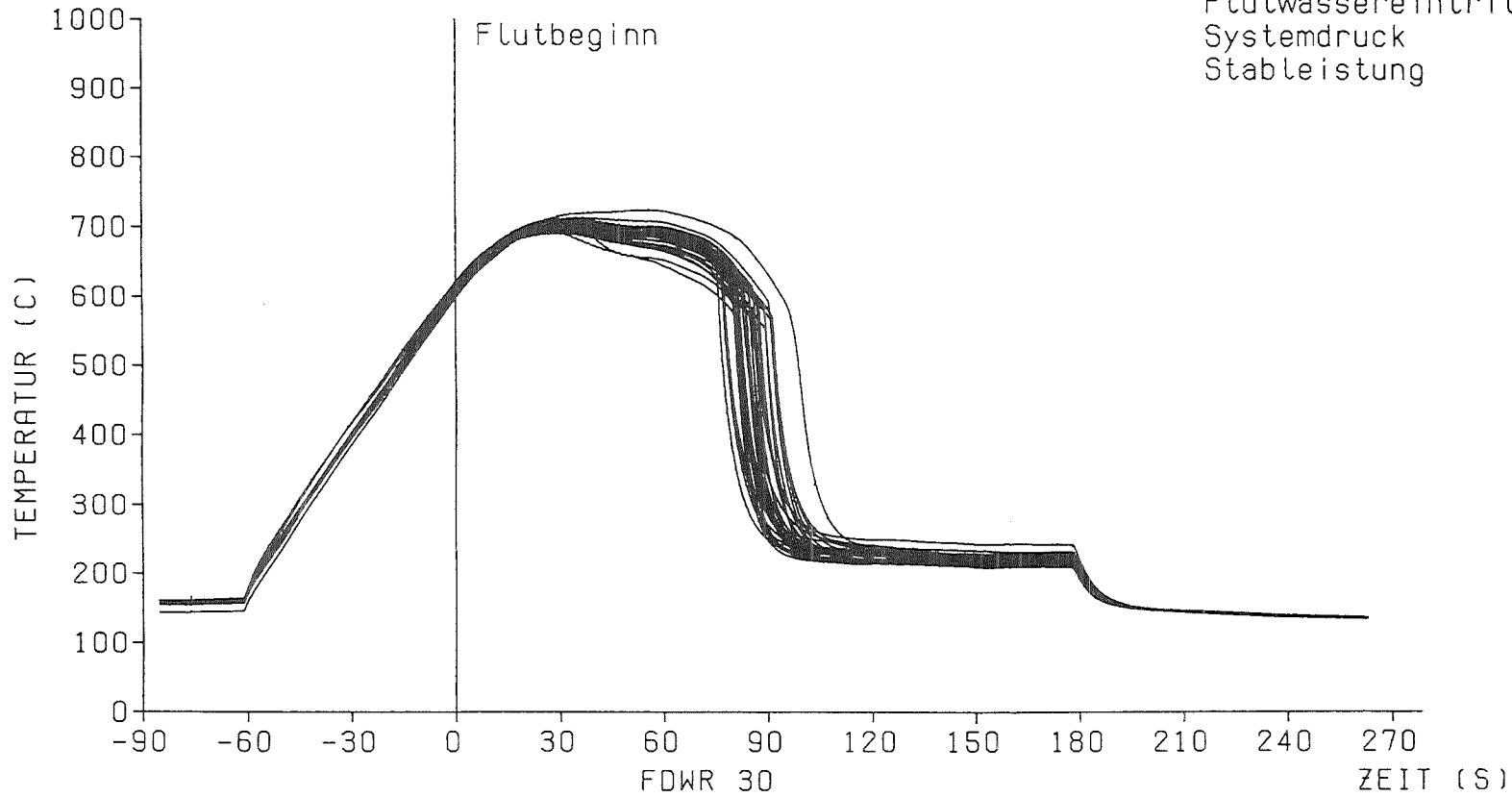


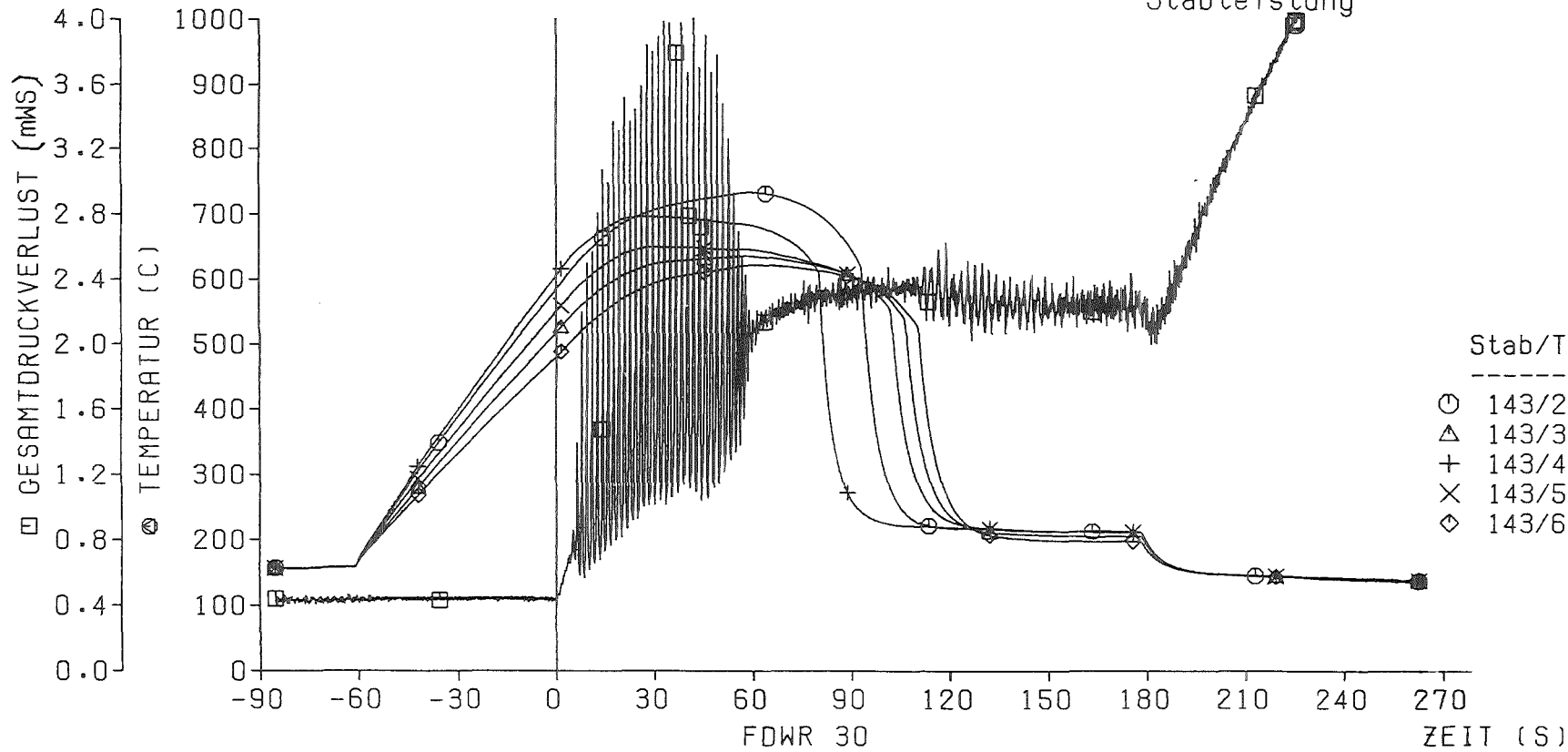
Abb. 87

Heizstabtemperaturen in axialer Mitte im Innenbereich
des Bündels (37 Stäbe)

FDWR 30

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 600 C
 Kalte Flutrate : 4,5 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 4,1 bar
 Stableistung : 3,0 KW

Flutbeginn



Stab/Ti	axiale Position
○ 143/2	1212 mm
△ 143/3	1512 mm
+ 143/4	1012 mm
× 143/5	1412 mm
◇ 143/6	1612 mm



Abb. 88

Heizstabtemperaturen in verschiedenen axialen Höhen des Stabes 143 und Gesamtdruckverlust

FDWR 31

Heizstabtemperaturen in
axialer Mitte bei Flutbeginn : 700 C
Kalte Flutrate : 5,8 cm/s
Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
Systemdruck : 4,1 bar
Stableistung : 3,0 KW

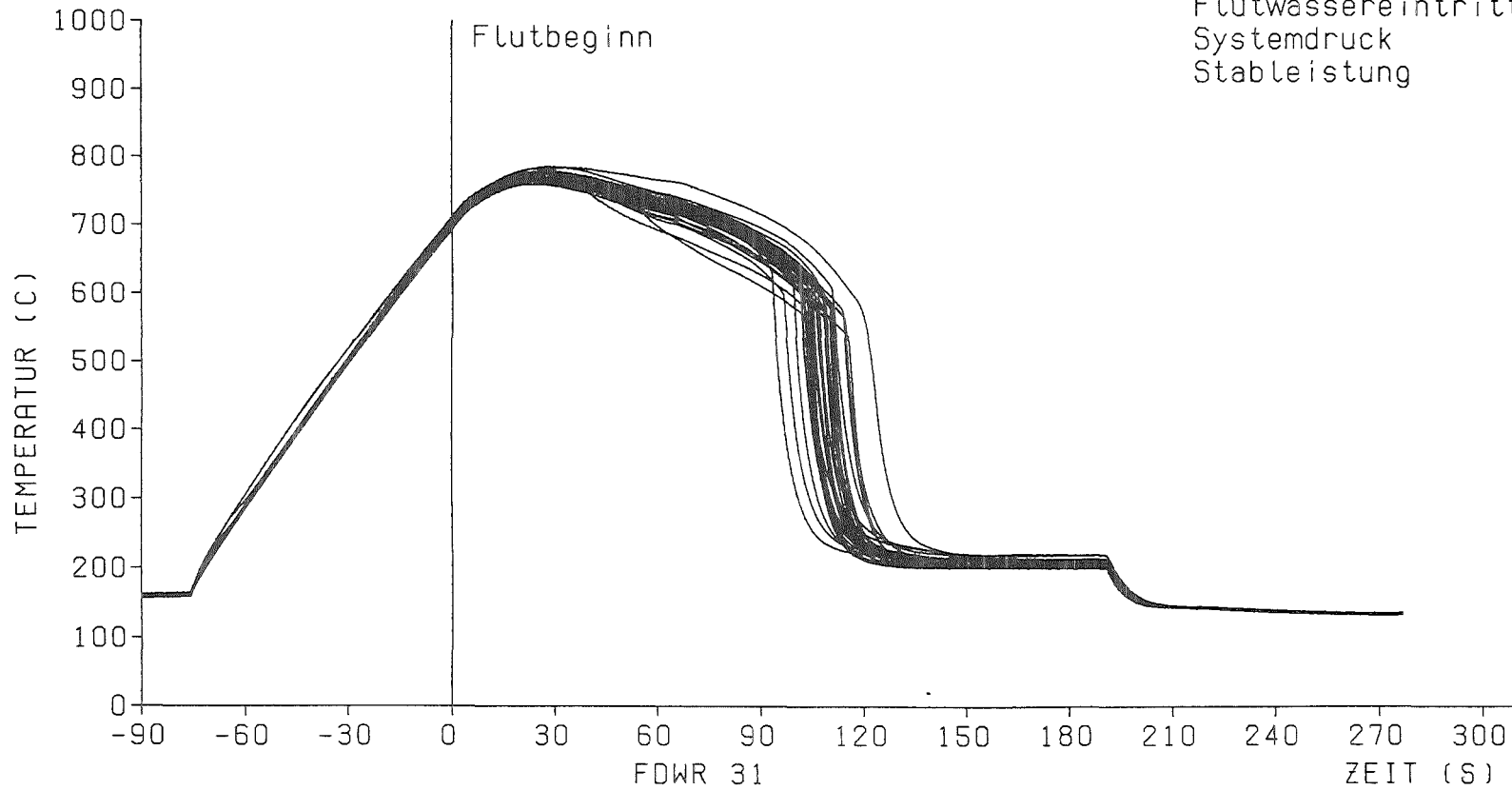


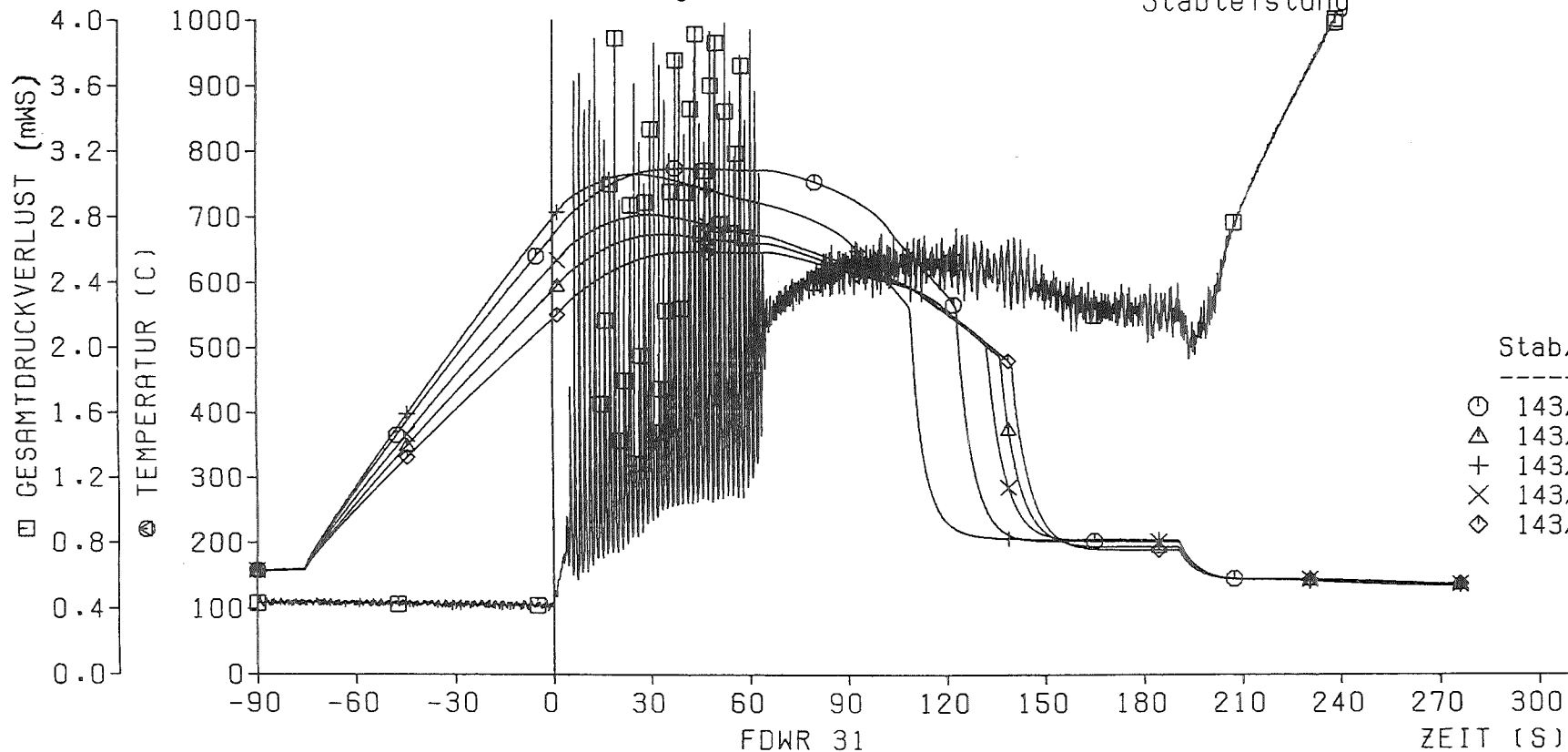
Abb. 89

Heizstabtemperaturen in axialer Mitte im Innenbereich
des Bündels (37 Stäbe)

FDWR 31

Heizstabtemperaturen in
 axialer Mitte bei Flutbeginn : 700 C
 Kalte Flutrate : 5,8 cm/s
 Flutwassereintrittstemperatur: 130 C
 Systemdruck : 4,1 bar
 Stableistung : 3,0 KW

Flutbeginn



Stab/Ti	axiale Position
○ 143/2	1212 mm
△ 143/3	1512 mm
+ 143/4	1012 mm
× 143/5	1412 mm
◇ 143/6	1612 mm



Abb. 90

Heizstabtemperaturen in verschiedenen axialen Höhen
 des Stabes 143 und Gesamtdruckverlust

4. Literatur

- /1/ M.C. Edlund. "High Conversion Ratio Plutonium Recycle in Pressurized Water Reactors". Ann. Nucl. Energy, 2, 801 (1979).
- /2/ B. Kuczera, C.A. Goetzmann, R. Brogli. "Der Fortgeschrittene Druckwasserreaktor (FDWR). ATW, Jg. XXXI, Nr. 6, Juni 86.
- /3/ K. Wiehr. "FLORESTAN-Materialtest". KfK 4694, März 1990.
- /4/ K. Wiehr. "REBEKA-Bündelversuche. Untersuchungen zur Wechselwirkung zwischen aufblähenden Zircaloyhüllen und einsetzender Kernnotkühlung. Abschlußbericht." KfK 4407, Mai 88.
- /5/ F.J. Erbacher et al. "Untersuchungen zum Störfallverhalten Fortgeschrittener Druckwasserreaktoren (FDWR)." In: Projekt Nukleare Sicherheit, Jahresbericht 1985, KfK-4000 (Juli 1986), S. 4200/142-4200/154.
- /6/ K. Wiehr, F.J. Erbacher. "Untersuchungen zum Fluten einer engen Stab-bündelgeometrie". Jahrestagung Kerntechnik 1987, 2.-4. Juni 1987, Karlsruhe, ISSN 0720-9207, S. 137-140.
- /7/ F.J. Erbacher, K. Wiehr. "Experimental investigations on the reflooding and deformation behavior of an APWR tight lattice fuel rod bundle in a LOCA." Nuclear Technology, Special Issue "Advanced Light Water Reactors", January 1988, Vol. 80, No. 1, S. 153 - 160.
- /8/ F.J. Erbacher, K. Wiehr. "On the reflooding and deformation behavior of tight lattice PWR fuel rod bundles in a LOCA." ANS Topical Meeting "Safety of Next Generation Power Reactors". May 1-5, 1988, Seattle, Washington, USA.
- /9/ K. Wiehr, F.J. Erbacher et al. "Untersuchungen zum Flutverhalten enger Bündelanordnungen im Rahmen des FLORESTAN-Programmes." In: Sicherheitsorientierte LWR-Forschung, Jahresbericht 1988, KfK 4550, Juli 1989, S. 229 - 45.
- /10/ K. Wiehr, F.J. Erbacher. "Reflooding behavior of tight lattice PWR fuel rod bundles." Fourth Int. Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal-Hydraulics, Oct. 10-13, 1989, Karlsruhe, FRG, Vol. 2, S. 794 - 98.
- /11/ K. Wiehr, F.J. Erbacher. "Thermohydraulik und Hüllrohrverformung an hexagonalen Brennstab-Simulatorbündeln (FDWR)". Jahrestagung Kerntechnik '90, 15.-17. Mai 1990, Nürnberg, FRG. INFORUM 1990, S. 65 - 68.
- /12/ K. Wiehr, F.J. Erbacher. "Thermal-hydraulics of tight-lattice PWRs in a LOCA." 1990 ASME Winter Annual Meeting, Dallas, Texas, USA, November 25-30, 1990.

- /13/ K. Wiehr, F.J. Erbacher, U. Harten, W. Just. "Investigations of the reflooding behaviour in tight lattice rod bundles in the frame of the FLORESTAN-program (FLORESTAN-Materialtest)." Projektgruppe LWR-Sicherheit. Sicherheitsorientierte LWR-Forschung. Jahresbericht 1989, KfK-4700 (November 90), S. 271 - 84.
- /14/ K. Wiehr, F.J. Erbacher, W. Just, Her. Schmidt. "Brennstabverhalten eines FDWR bei Kühlmittelverluststörfällen." Sicherheitsorientierte LWR-Forschung, Jahresbericht 1990, KfK-4850 (Juli 1991).
- /15/ F.J. Erbacher, K. Wiehr. "Untersuchungen zum Brennelementverhalten eines FDWR beim Kühlmittelverluststörfall - Ergebnisse des FLORESTAN-Programms." KfK-Nachrichten, Heft 1/1991, S. 51 - 56.
- /16/ K. Wiehr, F.J. Erbacher. "Thermal-hydraulics and clad deformation of triangular lattice advanced pressurized water reactors in a LOCA." ANS 1991 Winter Meeting, San Francisco, California, November 10-14, 1991. Transactions of the American Nuclear Society, 64(1991) S. 706 - 08.

Anhang

Stoffwerte des Brennstabsimulators

aus: KFK-Ext. 7/76-1, Dezember 1976

Institut für Reaktorbauelemente
Projekt Nukleare Sicherheit

Ersatztable

IW = 1	ALUMINIUMOXID 96 %	DICHTE = 3.700 GR/CM**3
TEMP.	W. LEITFÄHIGKEIT	SPEZ. WAERME
GRAD C	W/(CM*K)	W*SEC/(GR*K)
20.00	0,160	0.820800
50.00		0.870000
100.00	0,140	0.934000
150.00		0.985000
200.00	0,110	1.028000
250.00		1.064000
300.00	0,091	1.094000
350.00		1.119000
400.00	0,073	1.141000
450.00		1.159000
500.00	0,056	1.174000
550.00		1.186000
600.00	0,044	1.198000
650.00		1.208000
700.00	0,036	1.218000
750.00		1.226500
800.00	0,031	1.235000
850.00		1.242499
900.00	0,027	1.250000
950.00		1.256000
1000.00	0,023	1.262000
1050.00		1.266500
1100.00	0,021	1.271000
1150.00		1.274500
1200.00	0,019	1.278000
1250.00		1.281500
1300.00	0,017	1.285000

Tabelle 1

IW= 2 BORNITRID		DICHTE= 1.900 GR/CM**3
TEMP.	W.LEITFAEHIGKEIT	SPEZ. WAERME
GRAD C	W/(CM*K)	W*SEC/(GR*K)
20.00	0.187600	0.741800
50.00	0.187600	0.842000
100.00	0.187600	0.973800
150.00	0.187600	1.096000
200.00	0.187600	1.200000
250.00	0.187600	1.300000
300.00	0.187600	1.381000
350.00	0.187600	1.456000
400.00	0.187600	1.518500
450.00	0.187600	1.566000
500.00	0.187600	1.611900
550.00	0.187527	1.650000
600.00	0.187367	1.687800
650.00	0.187208	1.723100
700.00	0.187049	1.758400
750.00	0.186889	1.789100
800.00	0.186730	1.819800
850.00	0.186571	1.845900
900.00	0.186412	1.872000
950.00	0.186252	1.893450
1000.00	0.186093	1.914900
1050.00	0.185934	1.931749
1100.00	0.185774	1.948600
1150.00	0.185615	1.960899
1200.00	0.185456	1.973200
1250.00	0.185296	1.980849
1300.00	0.185137	1.988500

LITERATUR

DIE DATEN FUER DIE DICHTEN UND DIE WAERMELEITFAEHIGKEIT WURDEN ZUSAMMENGESTELLT NACH ANGABEN VON:
 D. EWERS AND J. R. LARSON: EVALUATION OF FILAMENT-TYPE ELECTRIC HEATER RODS AS EMPLOYED IN SINGLE-LOOP SEMISCALE TO SIMULATE UO₂ FUEL RODS
 ANCR-1038, MAY 1972
 ANGENOMMEN WURDE EINE DICHTEN VON 85% D.T.H.D.

DIE DATEN FUER DIE SPEZIFISCHE WAERME WURDEN ZUSAMMENGESTELLT NACH ANGABEN VON:
 Y. S. TOULOUKIAN: THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF HIGH TEMPERATURE SOLID MATERIALS
 MACMILLAN COMPANY, NEW YORK, 1967

IW= 3 MAGNESIUMOXID		DICHTE= 3.222 GR/CM**3
TEMP.	W.LEITFAEHIGKEIT	SPEZ. WAERME
GRAD C	W/(CM*K)	W*SEC/(GR*K)
20.00	0.029860	0.916800
50.00	0.032200	0.972000
100.00	0.035700	1.039000
150.00	0.039000	1.084000
200.00	0.041900	1.117000
250.00	0.044100	1.143000
300.00	0.045500	1.164000
350.00	0.046200	1.181000
400.00	0.046500	1.196000
450.00	0.046600	1.209000
500.00	0.046600	1.220000
550.00	0.046400	1.231000
600.00	0.046200	1.240000
650.00	0.045800	1.248000
700.00	0.045300	1.257000
750.00	0.044800	1.264000
800.00	0.044200	1.272000
850.00	0.043800	1.279000
900.00	0.043300	1.285000
950.00	0.042800	1.292000
1000.00	0.042400	1.298000
1050.00	0.041900	1.304000
1100.00	0.041500	1.311000
1150.00	0.041100	1.317000
1200.00	0.040700	1.322000
1250.00	0.040300	1.328000
1300.00	0.040000	1.333000

LITERATUR

DIE DATEN FUER DIE DICHTE WURDEN ZUSAMMENGESTELLT NACH ANGABEN VON:
 W. D. KINGERY: DATA FOR SEVERAL PURE OXIDE MATERIALS CORRECTED TO
 ZERO POROSITY
 JOURNAL OF THE AMERICAN CERAMIC SOCIETY 37, P. 107, (1957)
 ANGENOMMEN WURDE EINE DICHTE VON 90% D.TH.D.

DIE DATEN FUER DIE WAERMELEITFAEHIGKEIT WURDEN ZUSAMMENGESTELLT
 NACH ANGABEN VON:
 V. CASAL: HEIZSTAEBE MIT INDIRECTER WIDERSTANDSBEHEIZUNG ZUR
 SIMULIERUNG VON KERNBRENNSTAEBEN
 KFK-BERICHT 894, MAERZ 1969
 M. KISS: MESSUNG UND THEORETISCHE BESTIMMUNG DER WAERMELEIT-
 FAEHIGKEIT VON GJLEITENDEN PULVERN
 NEUE TECHNIK 5, NR. 5, (1963)
 ANGENOMMEN WURDE EINE DICHTE VON 90% D.TH.D.

DIE DATEN FUER DIE SPEZIFISCHE WAERME WURDEN ZUSAMMENGESTELLT
 NACH ANGABEN VON:
 Y. S. TOULOUKIAN: THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF HIGH TEMPERATURE
 SOLID MATERIALS.
 MACMILLAN COMPANY, NEW YORK, 1967

IN= 9 INCONEL 600

DICHTE= 8.430 GR/CM**3

TEMP.	W.LEITFAEHIGKEIT	SPEZ. WAERME	EL. WIDERSTAND
GRAD C	W/(CM*K)	W*SEC/(GR*K)	OHM*CM*E+6/4
20.00	0.176898	0.438800	1.132670
50.00	0.182270	0.449000	1.135779
100.00	0.191240	0.463500	1.140959
150.00	0.200210	0.476000	1.146138
200.00	0.209180	0.487500	1.151319
250.00	0.218150	0.497500	1.156499
300.00	0.227120	0.507200	1.161679
350.00	0.236090	0.516000	1.166860
400.00	0.245060	0.525000	1.172038
450.00	0.254030	0.534200	1.177218
500.00	0.263000	0.543300	1.182399
550.00	0.273250	0.553000	1.177199
600.00	0.283500	0.565000	1.172999
650.00	0.295250	0.580000	1.170000
700.00	0.307000	0.598700	1.168399
750.00	0.319500	0.608500	1.167800
800.00	0.332000	0.614000	1.169399
850.00	0.345750	0.618500	1.170000
900.00	0.359500	0.621500	1.172799
950.00	0.373250	0.624500	1.176500
1000.00	0.387000	0.627500	1.180800
1050.00	0.400750	0.630500	1.185101
1100.00	0.414500	0.633500	1.189401
1150.00	0.428250	0.636500	1.193701
1200.00	0.442000	0.639500	1.198001
1250.00	0.455750	0.642500	1.202301
1300.00	0.469500	0.645500	1.206601

LITERATUR

DIE DATEN FUER DIE DICHTE, FUER DIE WAERMELEITFAEHIGKEIT UND FUER DIE SPEZIFISCHE WAERME WURDEN ZUSAMMENGESTELLT NACH ANGABEN VON:
 INTERNATIONAL NICKEL: NICKEL-CHROM-EISEN-KNETLEGIERUNGEN
 INTERNATIONAL NICKEL DEUTSCHLAND GMBH
 POSTFACH 5925, 4000 DUESSELDORF 1
 AUFLAGE JAN. 1975

DIE DATEN FUER DEN ELEKTRISCHEN WIDERSTAND WURDEN ZUSAMMENGESTELLT NACH ANGABEN VON:
 H. E. MCCOY AND D. L. MCELROY: ELECTRICAL RESISTIVITY ANOMALY
 IN NICKEL-BASE ALLOYS
 TRANSACTIONS OF ASM, VOL. 61, P. 730-741, (1968)

IW= 5 ZIRCALOY-4

DICHTE= 6.490 GR/CM**3

TEMP. GRAD C	W.LEITFAEHIGKEIT W/(CM*K)	SPEZ. WAERME W*SEC/(GR*K)
20.00	0.137636	0.293380
50.00	0.134815	0.292900
100.00	0.141780	0.297100
150.00	0.148040	0.301300
200.00	0.154300	0.305500
250.00	0.160120	0.309650
300.00	0.165940	0.313800
350.00	0.171585	0.320100
400.00	0.177230	0.326400
450.00	0.182955	0.328500
500.00	0.188630	0.333600
550.00	0.194750	0.336529
570.00	0.197178	0.338900
600.00	0.200920	0.359900
650.00	0.207500	0.359900
700.00	0.214180	0.359900
750.00	0.221725	0.359900
800.00	0.229270	0.359900
810.00	0.231004	0.359900
820.00	0.232738	0.502100
830.00	0.234472	0.546050
840.00	0.236206	0.590000
850.00	0.237940	0.602550
860.00	0.239674	0.615100
870.00	0.241408	0.667400
880.00	0.243142	0.719700
890.00	0.244876	0.767850
900.00	0.246610	0.816000
910.00	0.248623	0.792950
920.00	0.250636	0.769900
930.00	0.252649	0.694600
940.00	0.254662	0.619300
950.00	0.256675	0.544000
960.00	0.258688	0.468700
970.00	0.260701	0.393367
975.00	0.261707	0.355700
990.00	0.264727	0.355700
1000.00	0.266740	0.355700
1050.00	0.278455	0.355700
1100.00	0.290170	0.355700
1150.00	0.303795	0.355700
1200.00	0.317420	0.355700
1250.00	0.333220	0.355700
1300.00	0.349020	0.355700
1350.00	0.367260	0.355700
1400.00	0.385500	0.355700
1450.00	0.406435	0.355700
1500.00	0.427370	0.355700

LITERATUR

ALLE DATEN WURDEN ZUSAMMENGESTELLT NACH ANGABEN VON:
 P. E. MACDONALD AND L. B. THOMPSON: MATPRO - A HANDBOOK OF
 MATERIALS PROPERTIES FOR USE IN THE ANALYSIS OF LIGHT WATER
 REACTOR FUEL BEHAVIOR
 ANCR-1263, FEB. 1976

Stahl 1.4970; X10NiCrMoTiB 1515

Dichte = 8.00 g/cm³

Temp. °C	W. Leitfähigkeit W/(cm K)	Spez. Wärme W sec/(gr K)	el. Widerstand Ohm cm 10 ⁴
20	0.133	0.47	0.75
100	0.145	0.49	0.81
200	0.162	0.5	0.89
300	0.179	0.52	0.96
400	0.193	0.53	1.04
500	0.214	0.55	1.10
600	0.231	0.57	1.11
700	0.251	0.6	1.12
800	0.272	0.63	1.14

Literatur

Sandvik, Stahlsammelmappe FSI, Okt. 1978

Auszug aus

STOFFWERTE-SAMMLUNG "S T O F F M K S" FUER HOCHTEMPERATUR-WERKSTOFFE

von

VOLLMER/WAGNER KFK ABT. IT/PC
STAND: 1.10.1982

ES BEDEUTEN: NS = KENNUNG DES STOFFES
TK = TEMPERATUR IN K
TC = TEMPERATUR IN GRD-C

FUNCTION RHO (NS, TK)

ZRY4
RHO = 6.57E3
RETURN

MGO: RHO (MgO) = 3.62 g/cm³; 100 % theor. density
RHO = 3.149 (≅ 88 % of the theoretical density)
RETURN

Bornitrid: RHO (BN) = 2.26 g/cm³; 100 % theor. density
RHO ≅ 2.102 (≅ 93 % of the theoretical density)
RETURN

INCONEL 600
RHO = 8.43E3
RETURN

AL2O3, 96 %
RHO = 3.7E3

FUNCTION ELAMD (NS,TK)

ZRY4
ELAMD = 7.848E-2+2.2E-4*TK-1.676E-7*TK**2+8.712E-11
1*TK**3
ELAMD = 1.E2*ELAMD
IF (TC.GT.1500.) GOTO 9100
RETURN

HELIUM, 1 BARA
ELAMD = 2.97E-3*TK**0.69+9.23E9*TC/(TC**5+4.29E14)
IF (TC.GT.3000.) GOTO 9100
RETURN

MGO
ELAMD = 2.85E-2+8.33E-5*TC-1.139E-7*TC**2+4.392E-11*TC**3
ELAMD = 1.E2*ELAMD
IF (TC.GT.1300.) GOTO 9100
RETURN

BORNITRID
ELAMD = 0.186E2
RETURN

INCONEL 600
ELAMD = 0.175+1.4876E-4*TC+6.1227E-8*TC**2
ELAMD = 1.E2*ELAMD
IF (TC.GT.1100.) GOTO 9100
RETURN

AL2O3, 96 %
IF (TC.GT.400.) GOTO 1620
ELAMD = 0.17-3.23E-4*TC+2.02E-7*TC**2
ELAMD = 1.E2*ELAMD
RETURN

1620 ELAMD = 5.33E-4+18.81/TC+4.55E3/TC**2
ELAMD = 1.E2*ELAMD
IF (TC.GT.1300.) GOTO 9100
RETURN

FUNCTION CP (NS,TK)

ZRY4
IF (TC.GT.800.) GOTO 201
CP = 0.286+9.286E-5*TC
GOTO 204
201 IF (TC.GT.907.) GOTO 202
CP = -3.341+4.626E-3*TC
GOTO 204
202 IF (TC.GT.985.) GOTO 203
CP = 6.611-6.346E-3*TC
GOTO 204
203 CP = 0.36
204 CP = 1.E3*CP
IF (TC.GT.1500.) GOTO 9100
RETURN

MGO
CP = 0.787+3.075E-2*SQRT(TC)-5.562E-4*TC+9.4823E-8*TC**2
CP = 1.E3*CP
IF (TC.GT.1300.) GOTO 9100
RETURN

AL2O3
CP = 0.7017+2.615E-2*SQRT(TC)-2.06E-4*TC-5.757E-8*TC**2
CP = 1.E3*CP
IF (TC.GT.1300.) GOTO 9100
RETURN

BORNITRID
CP = 0.545+3.953E-2*SQRT(TC)+5.594E-4*TC-4.293E-7*TC**2
CP = 1.E3*CP
IF (TC.GT.1300.) GOTO 9100
RETURN

```
INCONEL
IF (TC.GT.560.) GOTO 1301
CP = 0.435+2.937E-4*TC-1.589E-7*TC**2
GOTO 1310
1301 IF (TC.GT.740.) GOTO 1302
CP = 0.3653+3.333E-4*TC
GOTO 1310
1302 CP = 0.5671+6.071E-5*TC
1310 CP = 1.E3*CP
IF (TC.GT.1300.) GOTO 9100
RETURN
```