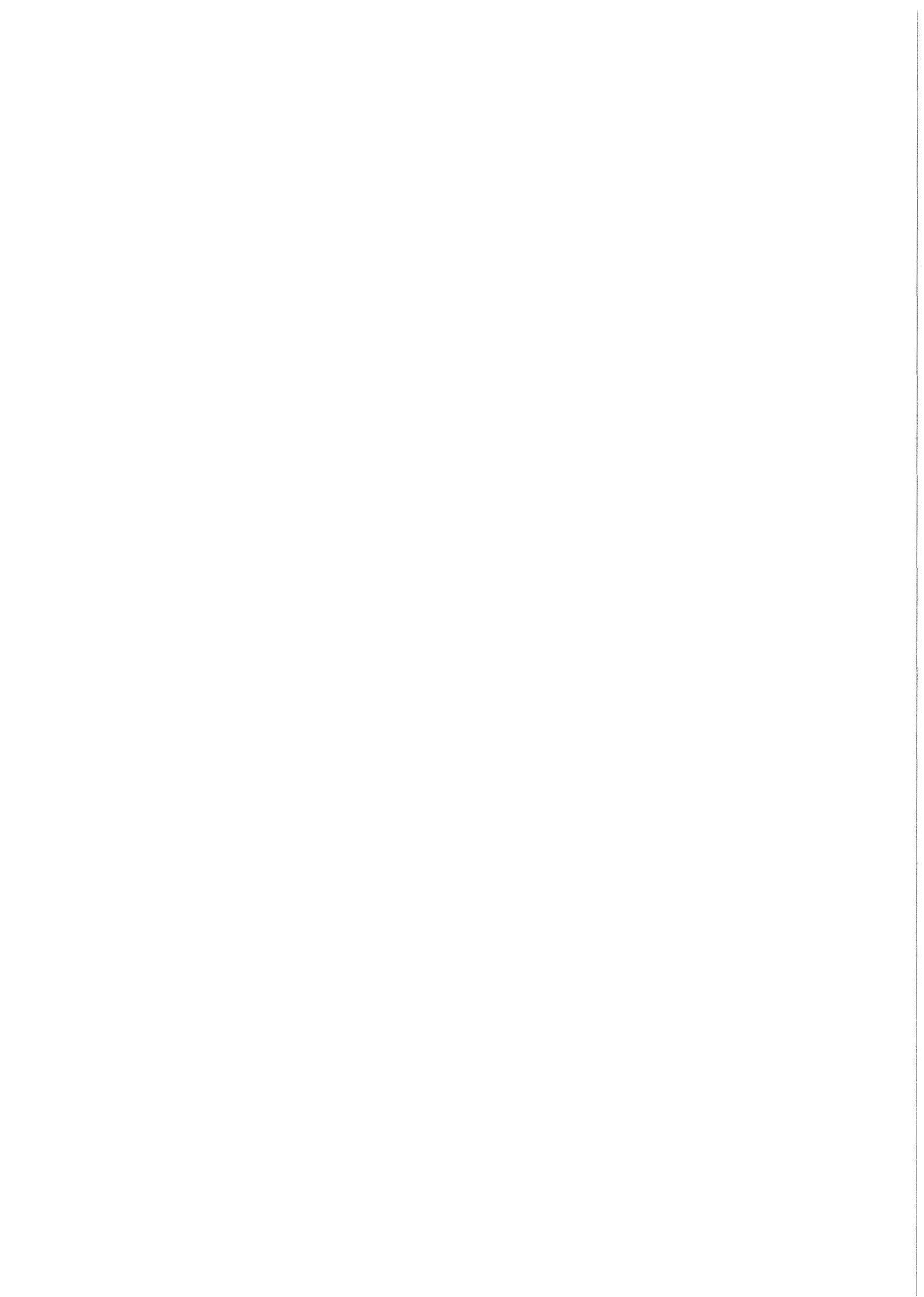


KfK 4321
November 1987

Versuchsanlage zur schnellen Gasinjektion in einen wassergefüllten Behälter

D. Wilhelm, M. Kirstahler
Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik
Projekt Schneller Brüter

Kernforschungszentrum Karlsruhe



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik

Projekt Schneller Brüter

KfK 4321

Versuchsanlage zur schnellen Gasinjektion in einen wassergefüllten
Behälter

D. Wilhelm, M. Kirstahler

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

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

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
Postfach 3640, 7500 Karlsruhe 1

ISSN 0303-4003

Zusammenfassung

Eine Versuchsanlage zur schnellen Gasinjektion (SGI) wurde errichtet, um die Hydrodynamik bei der Expansion einer Gasblase in einen wassergefüllten Tank zu untersuchen. Das Gas tritt dabei aus einem Druckbehälter durch eine kreisförmige Öffnung entgegen der Schwerkraft in einen großen zylindrischen Tank, der zum Teil mit Wasser gefüllt ist. Der Bericht umfaßt die Beschreibung der Anlage und der Meßwerterfassung und stellt die Ergebnisse der ersten Versuchsreihe vor.

Abstract

Test Facility For Fast Gas Injections Into a Vessel Filled With Water

The Fast Gas Injection Test Facility (SGI) was set up to study the hydrodynamics during the expansion of a gas bubble into a vessel filled with water. The gas stored in a pressure vessel expands against gravity through a circular duct into a large cylindrical vessel partly filled with water. This report covers the description of the test facility and the data acquisition. Results of the first test series are added.

Inhalt

Zusammenfassung	Seite
1. Einleitung	1
2. Versuchsanlage	2
3. Öffnungsmechanismus	3
4. Reaktortankmodell	3
5. Gasfüllanlage	5
6. Hochspannungsanlage	5
7. Steuerungsanlage	6
8. Meßwerterfassungsanlage	8
9. Piezoresistive Druckaufnehmer	10
10. Piezoelektrische Druckaufnehmer	12
11. Hochgeschwindigkeitsaufnahmen	12
12. Filmauswertung	13
13. Drucksignalauswertung	13
14. Fehleranalyse	14
15. Wasseraufbereitung und Markierungskugeln	17
16. Testergebnisse	17
17. Erste Ergebnisse zu den verdrängten Volumina	20
18. Danksagung	22
19. Literatur	23
20. Abbildungen	25

1. Einleitung

Die schnelle Gasinjektion in einen wassergefüllten Behälter wurde bereits in mehreren Experimenten untersucht /1,2,3,4/. Ziel dieser Experimente war es, eine Datenbasis für die Expansion großer Gasblasen in Flüssigkeitstanks zu schaffen. Die Daten dienen zur Verifikation von Rechenprogrammen wie SIMMER-II /5/ und AFDM /6/ im physikalischen Rahmen der Experimente. Im Stanford Research Institut wurden mehrere Reihen von Experimenten durchgeführt, an deren letzte /7/ sich das Experiment zur schnellen Gasinjektion direkt anschließt. Die gegenwärtigen Reihe von Experimenten dient zur Vervollkommung der Daten über die Hydrodynamik während der Bewegung einer großen Gasblase entgegen der Schwerkraft in einen wassergefüllten Tank. Von besonderem Interesse sind die Vorgänge an den Phasengrenzen.

2. Versuchsanlage

Die Versuchsanlage zur "schnellen Gas-Injektion" (SGI) wurde von der Firma Stanford Research Institute (SRI), Menlo Park, Californien, an das Kernforschungszentrum geliefert. Sie wurde dort bereits zur Untersuchung der Hydrodynamik von beschleunigtem Wasser verwendet /8/. In einer Reihe von 14 Experimenten wurde mit der Untersuchung der Blasenbewegung in einem zylindrischen Behälter, der als Modell für den Reaktortank eines schnellen natriumgekühlten Reaktors verwendet wird, begonnen /8/. Abb.1 zeigt eine Ansicht der Versuchsanlage, und Abb.2 ein Foto.

Der Experimentierbehälter besteht aus einem Plexiglaszylinder mit einem Innendurchmesser von 0.33 m und einer Höhe von 0.33 m. Das Innere des Behälters ist ein Modell des Reaktortanks des schnellen natriumgekühlten Reaktors oberhalb der Kernaustrittskante im Maßstab 1:20. In Abb. 1 ist auch der thermische Schild zu sehen, der aus einem nach oben offenen Plexiglaszylinder besteht. Ferner ist der Wasserspiegel und ein Bolzen zur Aufnahme eines Druckaufnehmers eingezeichnet. Der Bolzen ist in der oberen Abschlußplatte befestigt, die wegen der hohen mechanischen Belastung bis zu 16 cm stark ist. Die Abschlußplatte wird mit vier großen Gewindestangen gegen den großen Plexiglaszylinder verspannt. Auflager ist eine Grundplatte aus Stahl, in die zentrisch zu den Zylindern eine Öffnung von der Größe der maßstäblichen Kernaustrittsfläche angebracht ist. Die Öffnung wird von zwei Schiebetüren abgeschlossen. Unterhalb der Schiebetüren ist der Tank des Kernvolumens an die Grundplatte angeflanscht. In ihm befindet sich vor Testbeginn Gas unter hohem Druck. Die Schiebetüren sind innerhalb der Grundplatte mit einem Öffnungsmechanismus verbunden, dessen zwei Treiberzylinder in Abb.1 und 2 zu beiden Seiten der Grundplatte in waagerechter Lage zu sehen sind. Die Treiberzylinder werden durch je zwei dicke Verschlussplatten verschlossen, die auch für die Befestigung der Zylinder auf zwei Doppel-T-Trägern sorgen. Auch die Grundplatte ist mit den T-Trägern verbunden. Die T-Träger stehen wiederum auf zwei festen Sockeln, die im Boden verankert sind. In der Seitenansicht der Abb.1 ist ferner die Lage gegen die Wand des Raumes angegeben. An der Wand ist eine Beleuchtungseinrichtung zu sehen, die für die Filmaufnahmen des Inneren des Hauptplexiglaszylinders benötigt wird. Die Versuchsanlage steht in einem Bunker aus Schwerbetonteilen, der einen Schutz gegen mechanisches Versagen hochbeanspruchter Teile der Anlage bietet.

3. Öffnungsmechanismus

Ziel der Konstruktion des Öffnungsmechanismus war es, eine vollständige Öffnung des Kernaustrittsquerschnitts mit dem Durchmesser von 9 cm in einer halben Millisekunde zu gewährleisten. Diese kurze Zeit ist vorgesehen durch die Bedingung, daß sie klein sein muß gegen die Zeit, in der der Versuch abläuft. Abb. 3 zeigt einen Querschnitt durch einen der beiden Treiberzylinder mit der Darstellung der sich öffnenden Schiebetür. Der Treiberzylinder wird durch die hintere Verschußplatte wasserstoffdicht verschlossen. In dieser Platte befindet sich ein Zünddraht und zentrisch zum Zylinder eine Haltestange. Die Haltestange hält einen Kolben in Position. Zwischen Kolben und hinterer Verschußplatte liegt der Brennraum, der mit einem Gemisch aus Sauerstoff und Wasserstoff gefüllt wird. Zu Beginn des Experimentes wird das Gemisch über den Zünddraht von einer Hochspannungsanlage gezündet. Bei Druckaufbau in dem Brennraum versagt die Haltestange an einer Sollbruchstelle bei 0.42 MPa und gibt den Kolben frei, der sich auf einer Strecke von ca. 0.3 m frei bewegen kann. Er trifft dann auf einen Amboß und gibt seine kinetische Energie über Pufferplatten an ihn ab. Der Amboß ist über ein System von Verbindungsplatten mit der Schiebetür verbunden. Die Bewegung des Amboß wird durch ein Wabengitter aus Aluminium gebremst. Die Schiebetür, die aus Gründen der Dämpfung von Schwingungen nicht starr mit dem Amboß verbunden ist, wird durch eine Prellscheibe abgebremst. Wabengitter und Prellscheibe stützen sich gegen die vordere Verschußplatte ab, die mit einem Schlitz zur Führung der Verbindungsplatte versehen ist. Vordere und hintere Verschußplatten sind an Flanschen befestigt, die über Zugstangen den Treiberzylinder verspannen. Die Öffnung der beiden Türen wird über Photodioden kontrolliert. Dazu ist in jeder der Türen eine Markierungsnut gefräßt. Abb.4 zeigt die Schiebetüren und die Position der Photodioden mit Bemaßung. Bei Überdeckung der Achse der Photodiode durch die Nut wird ein Signal erzeugt. Die Nut ist so angebracht, daß das Signal genau den Beginn der Öffnung und den Abschluß des Öffnungsvorgangs aufzeichnet. Beide Photodioden erzeugen getrennte Signale (s. Kap. 12), so daß die Synchronisation der Bewegung kontrolliert werden kann.

4. Reaktortankmodell

Das Reaktortankmodell besteht aus zwei Teilen, unterhalb und oberhalb der Schiebetüren. Unterhalb der Türen können zwei nicht maßstäbliche Tanks des

Kernvolumens angeflanscht werden, in die Stickstoff von vorgegebenem Druck eingeleitet werden kann.

Das maßstäbliche Reaktortankmodell oberhalb der Schiebetüren ist vom Öffnungsmechanismus möglichst weitgehend mechanisch entkoppelt, um Schwingungen, die durch die Öffnung hervorgerufen wurden, zu dämpfen. Abb.5 zeigt einen Aufriß des Tankmodells inklusive verschiedener Kernvolumina. Das Tankmodell oberhalb des Reaktorkernes befindet sich innerhalb des 33 cm hohen Plexiglaszylinders. Der innere Plexiglaszylinder ist ein Modell des Schildtanks. Der Innendurchmesser ist maßstäblich, die Stärke jedoch aus Festigkeitsgründen um den Faktor 5 größer gewählt als ein maßstäbliches Modell. Der innere Plexiglaszylinder ist fest mit der Grundplatte verbunden. Am Kernaustritt befindet sich ein Stahlring, in dem zwei Druckaufnehmer (Position H) befestigt werden können. Der Stahlring kann durch eine Lochplatte ersetzt werden, die links unten in Abb.5 zu sehen ist. Sie stellt den Strömungswiderstand eventueller oberer Kernstrukturen (UCS) dar. Über die Querschnittsfläche sind 187 Bohrungen von 5.4 mm Durchmesser gleichmäßig verteilt. Die Lochplatte ist 4.5 cm dick. Oberhalb des thermischen Schildes kann bei Bedarf ein Modell der Tauchplatte mit ihren Tragestrukturen an dem Tankdeckel befestigt werden. Der Einbau von Modellen der Instrumentierungsarme (obere interne Strukturen = UIS) ist ebenfalls möglich. Die Tauchplatte, deren Position in Abb.5 eingezeichnet ist, hat einen Durchmesser von 24 cm. Aus Festigkeitsgründen hat der Plexiglaszylinder, an dem sie befestigt ist, eine 2.48 cm starke Wandung, die von 15 Löchern mit einem Durchmesser von 6 mm an der eingezeichneten Höhe durchbrochen ist. Der Plexiglaszylinder endet 2.23 cm unterhalb des Tankdeckels. Er ist an 12 Bolzen aufgehängt. Die Tauchplatte liegt in vier Ausführungen vor, die sich durch das Verhältnis von offener Querschnittsfläche zu Gesamtquerschnittsfläche unterscheidet. Das prototypische Öffnungsverhältnis liegt bei 20%. Von den folgenden vier Tauchplatten wurde die mit dem Kennbuchstaben (d) verwendet. Die Kennbuchstaben entsprechen denen in /7/:

- (a) 15% offen, 725 Löcher, 3 Instrumentierungsbohrungen
- (b) 20% offen, 966 Löcher, 4 Instrumentierungsbohrungen
- (c) 20% offen, 966 Löcher, 3 Instrumentierungsbohrungen,
12 Löcher für obere interne Strukturen (UIS)
- (d) 30% offen, 1404 Löcher, 3 Instrumentierungsbohrungen.

An allen Tauchplatten sind im Abstand von 4 cm von der Zentralachse 6 Bolzen mit einem Durchmesser von 9.5 mm angebracht.

Abb.6 zeigt den Grundriß des Tankdeckels mit verschiedenen Positionen der verwendeten Druckaufnehmer. Jede Position eines Druckaufnehmers ist gekennzeichnet durch eine Kennung im Grund- und Aufriß. Die Position im Grundriß wird durch eine Zahl von 0 bis 7 angegeben, die im Aufriß durch einen Buchstaben von A bis H. Die Position 0 bezeichnet eine Stelle im Kernvolumen, sie wird entweder mit E oder G kombiniert. Die Positionen B,C,D und F im Aufriß werden dadurch erreicht, daß die Druckaufnehmer in Bolzen (siehe auch Abb.1) eingebaut werden. Die Position A ist dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzebene des Druckaufnehmers bündig mit der Unterkante des Tankdeckels ist.

5. Gasfüllanlage

Die Gasfüllanlage versorgt das Experiment sowohl mit Stickstoff für das Kernvolumen, als auch mit Treibgas für die Treiberzylinder. Sie befindet sich außerhalb des Bunkers und ist unter allen Umständen erreichbar. Mit ihr können das gesamte Leitungssystem und die Brennräume mit Inertgas gespült werden. Die Gasfüllanlage ist mit einer Reihe von Präzisionsmanometern mechanischer Bauart (WIKA-Feindruckmeßgerät 6 und 16 MPa, absoluter Fehler 0.2% Vollausschlag) versehen, über die die Drücke in den Brennräumen und dem Kernvolumen kontrolliert werden. Ferner können mit ihrer Hilfe über eine spezielle Einrichtung die Druckaufnehmer kalibriert werden.

6. Hochspannungsanlage

Die Hochspannungsanlage befindet sich außerhalb des Bunkers. Sie besteht aus einem Hochspannungsgerät mit einer einstellbaren Spannung bis zu 6.5 kV. Über das Hochspannungsgerät wird ein Kondensator von 200 μ F aufgeladen. Zum Start des Experiments wird mittels einer Fernsteuerung der Kondensator über die Zünddrähte der beiden Brennräume und einen Referenzblitz entladen. Der Referenzblitz wird von der Hochgeschwindigkeitskamera registriert und dient zur Synchronisation der Auswertung der Meßwerterfassungsanlage und des Hochgeschwindigkeitsfilmes.

7. Steuerungsanlage

Das Experiment wird von einem Laborrechner des Typs PDP-11/23 gesteuert. Abb.7 zeigt das Prinzip der Steuersignalleitungen. Vier verschiedene Labor-moduln des Rechners werden benutzt. Zur Ausgabe der Steuerbefehle und zur Erfassung von Störmeldungen werden zwei MINC-Module benutzt. Eine Uhr erzeugt eine über die Software definierte Frequenz mit Rückmeldung. Ein Kanal des an die DMA (Direkt Memory Access) angeschlossenen Analog/Digital-Wandlers wird dazu benutzt, den Druck im Kernvolumen zu überwachen und damit die Sicherheitsmaßnahmen zu unterstützen. Abb.8 ist ein Foto der benutzten Geräte im Terminalraum. Neben der Konsole des Rechners hat der Versuchsleiter noch das Störmeldegerät zur Lokalisierung der Störungen und die manuelle Bedienung der Hochspannung zu beobachten. Durch diese Bedienung kann das Gerät geladen und für den Start freigegeben werden. Das Hochspannungsgerät befindet sich außerhalb des Bunkers. Der Bunker ist elektronisch gesichert. Bei Öffnen der Sicherung wird der Start des Experimentes blockiert. Im Bunker befindet sich ein Startzeitgeber mit Steuergerät, die Hochgeschwindigkeitskamera mit Steuergerät, zwei Arten von Blitzgeräten mit Steuerung, piezoelektrische und piezoresistive Druckaufnehmer mit Steuereinheiten und die Zünddrähte der Treiberzylinder (s.Abb.7).

Bunker und Terminalraum sind durch Kabel von einer Länge von ca. 30 m miteinander verbunden. Die Signalleitungen müssen dementsprechend ausgelegt sein. Bei wichtigen Signalen, wie dem Startsignal, sind besondere elektronische Sicherungsvorkehrungen getroffen worden.

Das Startzeitgeber- und Steuergerät im Bunker synchronisiert den Ablauf der schnellen Steuerbefehle während des Starts des Experiments. Dazu müssen die Hochgeschwindigkeitskamera, die Blitzgeräte und das Hochspannungsgerät hintereinander in einer vorgegebenen Abfolge aktiviert werden.

Nach dem Aufbau des Experimentes werden sämtliche Steuersignal- und Meßsignalleitungen durchgetestet. Danach wird das Kernvolumen mit Stickstoff und das Reaktortankmodell mit Wasser gefüllt. Nach der Sicherung des Bunkers läuft ein Programm auf dem Rechner ab, der den nun folgenden Ablauf des Experimentes kontrolliert. Abb.9 zeigt die einzelnen FORTRAN-Programme, aus denen sich der Command-File RUNSGI zusammensetzt.

SGITXT schreibt Anweisungen auf den Bildschirm der Konsole in Form einer Checkliste. Wie bei allen folgenden Programmteilen wird solange mit der Fortsetzung gewartet, bis der Versuchsleiter gepromptet hat.

SGINIT bereitet die Aufnahme der Kalibriersignale vor.

PREKA1 steuert die Aufnahme der Kalibriersignale der Druckaufnehmer. Zunächst werden vom Eichgerät (siehe Abb. 10) zwei vorgegebene Spannungen auf das FM-Band gegeben um die Kette linearer Eingabe- und Ausgabeverstärker des Bandgerätes zu kalibrieren. Die piezoresistiven Druckaufnehmer erfordern eine zusätzliche Kalibrierung, da sie im Verbund mit logarithmischen Verstärkern verwendet werden. Dazu wird sowohl das vor dem Start bekannte Nullsignal und ein elektronisch erzeugter Vollausschlag aufgenommen. Der Vollausschlag wird durch eine vorgegebene Verstimmung der Wheatstoneschen Meßbrücke des Druckaufnehmers (s. Kap.9) simuliert. Bei jedem der einzelnen Kalibriersignalaufnahmen wird ein unterschiedliches Frequenzsignal auf die Zeitleitung gelegt, um bei der Auswertung die Signale identifizieren zu können.

SGICHK gibt Anweisungen zur Füllung der Treiberzylinder mit Sauerstoff und Wasserstoff. Dazu muß die Gasfüllanlage außerhalb des Bunkers manuell bedient werden. Nach Überprüfung einer Checkliste wird die Aufforderung zum Laden des Hochspannungskondensators gegeben. Das Störmeldegerät wird abgefragt.

PREKAJ liest die Kalibrierströme der piezoresistiven Druckaufnehmer und schreibt die über den Drucker aus. Diese Werte werden später bei den Auswerteprogrammen zur Kontrolle verwendet. Die Meßbrücke eines jeden piezoresistiven Druckaufnehmers wird mit einem vom Werk ermittelten Kalibrierstrom beaufschlagt.

SETFRE setzt die Frequenz der Uhr auf den Wert, der bei Aufzeichnung des Experimentes auf der Zeitspur gewünscht wird.

SGISTA gibt die Anweisung zur Entsicherung des Hochspannungsgerätes und zum Start des FM-Bandgerätes, prüft das Störmeldegerät, entlädt die Ladungsverstärker und wartet auf das Startsignal. Bei Eingabe dieses Signal wird der Startzeitgeber aktiviert, der in vorgegebener Reihenfolge die Hochgeschwindigkeitskamera, die Blitzgeräte und die Zündung einschaltet. Eine interne Kontrolle stoppt die Zündung, wenn die Kamera nicht vorschriftsmäßig angelaufen

ist. Nach Beendigung des Experiments wird die Anweisung zum Stopp des FM-Bandgerätes und zum Entladen des Kondensators gegeben.

STOFRE stoppt die Uhr.

SAMPL2 und MITTEL steuern die Aufnahme des Drucks im Kernvolumen. Der Wert des Druckes wird auf dem Bildschirm der Konsole angegeben. Dadurch wird geprüft ob sich die Schiebetüren geöffnet haben. Anschließend wird nochmal der Kalibrierstrom der piezoresistiven Druckaufnehmer ausgedruckt. Bei starken Abweichungen vom Wert vor dem Test muß man mit dem Versagen des Druckaufnehmers rechnen.

SGIEND gibt die Bunkertür frei und beendet den Ablauf der Steuerung.

8. Meßwerterfassungsanlage

Die Transiente des Experimentes wird von einer Hochgeschwindigkeitskamera gefilmt. Zur gleichen Zeit werden an den in Kap. 4 angegebenen Stellen transiente Drücke gemessen. In einigen Referenzexperimenten wird auch die Temperatur gemessen. Der Anschluß zusätzlicher Meßinstrumente ist möglich, wird jedoch in diesem Kapitel nicht beschrieben. Wie bereits in Kap. 3 erwähnt, wird der Öffnungsvorgang der Schiebetüren durch Fotodioden registriert.

Die Signale der Druckaufnehmer, der Thermoelemente und der Fotodioden werden auf einem Magnetbandgerät zur Aufzeichnung analoger Signale aufgezeichnet. Das Magnetbandgerät SE 7000A der Firma EMI hat 14 Kanäle und eine Bandbreite von maximal 80 kHz bei einer Zentralfrequenz von 432 kHz. Diese Werte beziehen sich auf eine Bandgeschwindigkeit von 120 Zoll pro Sekunde, die als Aufnahmegeschwindigkeit beim Experiment verwendet wird. Die Beschreibung der Wiedergabe der auf Magnetband gespeicherten Daten erfolgt in Kap. 13. Der Signal zu Rauschabstand bei den angegebenen Werten wird mit 48 dB angegeben.

Abb.10 zeigt eine Skizze der Meßsignalleitungen. Die Signale der Druckaufnehmer und Thermoelemente gehen über ein Eichgerät getrennt auf je einen Kanal des Magnetbandgerätes. Im Eichgerät können zwei fest vorgegebene Spannungen dazugeschaltet werden, um eine Kalibrierung des Bandgerätes zu ermöglichen. Die Kalibrierung geschieht, wie aus Kap. 7 ersichtlich, unmittelbar vor dem Experiment. Darüberhinaus wird eine Kalibrierung der logarithmischen

Verstärker für die piezoresistiven Druckaufnehmer vorgenommen. Während der Transiente des Experiments schaltet das Eichgerät auf Durchgang, so daß die ankommenden Signale unverändert dem Magnetband zufließen. Ein Kanal ist für die Referenzzeit reserviert. Auf ihm werden sowohl eine vorgegebene Frequenz, als auch das Startsignal des Hochspannungsgerätes bei Zündung der Zünddrähte und die Signale der Fotodiode während des Türöffnungsvorgangs zusammengeführt. Im Startzeitgeber und Steuergerät werden die Signale des Hochspannungsgerätes und der Fotodioden auf eine Leitung zum Terminalraum gegeben. Im Zeittaktgerät wird dem Signal aus dem Startzeitgeber eine in der Uhr des Rechners erzeugte Frequenz überlagert. Damit erhält das Signal, das auf das Bandgerät gegeben wird, die Information über den Zeitpunkt des Zündens der Treiberzylinder, über den Öffnungsvorgang der Schiebetüren und über einen vorgegebenen Zeittakt.

Die auf dem Magnetbandgerät aufgezeichneten Signale können nach Ablauf des Experimentes weiterverarbeitet werden. Dazu gibt es zwei Möglichkeiten. Die erste ist zur schnellen Kontrolle der Meßwerte auf dem Bildschirm des Rechners gedacht. Dazu werden die Ausgänge des Magnetbandgerätes auf den 16-Kanal A/D-Wandler geschaltet. Ein FORTRAN-Programm, das ähnlich wie SAMPL2 (s. Kap.7) aufgebaut ist, liest je einen Kanal des Bandgerätes zusammen mit dem Kanal der Referenzzeit. Weitere Angaben zur Digitalisierung werden bei der Beschreibung der zweiten Möglichkeit angegeben. Ein Plot-Programm bereitet die Daten für den graphischen Bildschirm des Rechners vor. Die digitalisierten Werte werden über einer Zeitachse aufgetragen, deren Skala über Eingabewerte zur Aufnahme- und Wiedergabegeschwindigkeit des Bandgerätes berechnet wird. Die auf dem Bildschirm sichtbaren Diagramme können auch von einem Schnelldrucker gedruckt werden. Wegen der geringen Qualität der Druckausgabe und des Fehlens der Aufbereitung der Daten mit Hilfe der Kalibriersignale ergibt sich aber nur ein grobes qualitatives Bild der Meßsignale.

Die zweite Möglichkeit zur Weiterverarbeitung der auf dem Magnetbandgerät aufgezeichneten Signale ist für die endgültige Auswertung vorgesehen. Der A/D-Wandler, Modell DT 2782-SE der Data Translation Inc., Marlborough Mass., U.S.A., arbeitet über die DMA (Direct Memory Access). Er hat eine 12-bit-Auflösung und ist auf bipolaren Eingang von $\pm 5V$ geschaltet. Damit entsprechen 2.44 mV einem dezimalen Integer-Wert. Die Software zum Betreiben des A/D-Wandlers ermöglicht nur eine Sample-Frequenz vom maximal 3.3 kHz bei 2 Kanälen. Damit wird es notwendig, jeweils nur einen Kanal zusammen mit dem Kanal der Referenzzeit zu bearbeiten. Der A/D-Wandler wird im Sample-

und Hold-Betrieb benutzt, so daß jedem digitalisierten Meßwert genau ein digitaler Referenzzeitwert entspricht. Wegen der Begrenzung der Sample-Frequenz muß die Wiedergabegeschwindigkeit des Bandgerätes auf 15/16 Zoll pro Sekunde reduziert werden. Das entspricht einer Zeitdehnung gegenüber der Aufnahmegeschwindigkeit von 1:128. Auf die Aufnahmegeschwindigkeit übertragen, werden somit 211000 Werte pro Kanal und Sekunde erfaßt. Die Wertepaare werden auf einen File geschrieben, der eine Kennung mit der Nummer des Experimentes und des Kanales erhält. Die File wird auf der RL02-Platte des Rechners abgelegt. Im allgemeinen beinhaltet der File 25600 Wertepaare für die Transiente und 5120 Wertepaare für die Kalibrierung eines der vier Kalibrierwerte. Die Meßsignale der Kalibrierwerte können auch sofort weiter verarbeitet werden. Dabei wird ein Mittelwert gebildet und die mittleren Abweichungen aufgrund des Rauschens errechnet. Die Daten werden anschließend auf IBM-Format umformatiert und auf ein Digitalband geschrieben, so daß sie auf dem zentralen Rechner des KfK weiterverarbeitet werden können. Erst hier geschieht die Verarbeitung der Kalibrierwerte und die Umwandlung der Referenzzeitfrequenz in Echtzeit (s. Kap. 13).

9. Piezoresistive Druckaufnehmer

Die Verstärkereinheiten der piezoresistiven Druckaufnehmer liefern Signale, die besonders bearbeitet werden müssen. Alle anderen Signale haben ein fest vorgegebenes Verhältnis von Ausgangsspannung zu Meßeinheit. Wegen des großen Meßbereiches und der zugleich gestellten Anforderungen an die Genauigkeit im gesamten Bereich wurden jedoch für die piezoresistiven Druckaufnehmer Verstärkereinheiten mit logarithmischer Charakteristik gebaut. Abb. 11 zeigt eine Prinzipskizze der Druckaufnehmer nebst Verstärkereinheit. Der Druckaufnehmer vom Typ 4073 der Firma Kistler besteht aus einem Siliziumplättchen, in dem Widerstände eindiffundiert werden. Der Druck wird von der Aufnehmermembrane über eine Flüssigkeit auf das Siliziumplättchen übertragen. Die eindiffundierten Widerstände sind in einer Meßbrücke (s. Abb. 11) geschaltet, die bei Druckbeaufschlagung verstimmt wird. Die Meßbrücke wird durch einen konstanten Strom I_{CAL} gespeist. Die Spannung U_B , die am Ausgang der Meßbrücke anliegt, ist ein Maß für den Druck. Sie wird in einem linearen Verstärker um den Faktor 10 verstärkt. Der Verstärker besitzt ein Abgleichpotentiometer, mit dem die Ausgangsspannung bei 10^5 Pa abgeglichen werden kann. Das Ausgangssignal U_C wird in einem logarithmischen Verstärker verstärkt. Damit ist es

möglich, den Signal-Rauschabstand bei kleinen Meßspannungen wesentlich zu verringern. Der logarithmische Verstärker liefert die Spannung U_z , die einen negativen Wert hat. Zu diesem wird über einen nachgeschalteten 1:1-Verstärker genau 1V zuaddiert, damit bei verschwindendem U_E auch die Ausgangsspannung U_A verschwindet. Jede Meßbrücke hat eine vom Werk gemessene Empfindlichkeit E , mit der die mechanische Einheit (bar) in die Einheit der Ausgangsspannung (Volt) umgerechnet werden kann. Die lineare Gesetzmäßigkeit zwischen mechanischer und elektrischer Einheit wurde in der Kalibriervorrichtung der Gasfüllanlage überprüft. Ferner ist ein Kalibrierstrom I_{CAL} , fest vorgegeben. Bei Kalibrierung der Druckaufnehmer kann ein Vollausschlagsignal erzeugt werden. Dabei hat die Brückenausgangsspannung genau den Wert

$$U_B = R_{CAL} \cdot I_{CAL} \text{ mit } R_{CAL} = 100 \Omega$$

Zusammen mit dem Nullsignal, das durch Abgleich über U_{AB} erreicht wird, stehen 2 Werte für die Kalibrierung der Verstärkernetz zur Verfügung. Die beiden Werte werden zur rechnerischen Bestimmung von U_{AB} und einer Konstanten K verwendet. K beschreibt die Eigenschaft des logarithmischen Verstärkers

$$U_z = -K \lg (U_E/U_{REF})$$

wobei U_{REF} eine im Datenblatt vorgegebene Referenzspannung ist. Der Wert von K ist ungefähr -1. Bei der Anordnung der Abb.11 ergibt sich sofort

$$U_A = K \lg (U_E/U_{REF}) + 1$$

U_A wird gemessen, somit ist $U_E = U_{REF} \cdot 10^{\exp((U_A-1)/K)}$

Bei einer Druckbeaufschlagung p liefert die Meßbrücke

$$U_B = U_{NA} + p E$$

wobei U_{NA} die vom Werk gemessene Nullabweichung der Meßbrücke ist. Durch Vergleich von U_E und U_B wird U_{AB} ermittelt. Der Wert von K wird nunmehr über $U_B = 100 \Omega \cdot I_{CAL}$ und die sich daraus ergebende Beziehung zur gemessenen Größe U_A (bei Vollausschlag) ermittelt. Gleichzeitig wird errechnet, wie sich ein Fehler in U_B fortpflanzt. Alle Kalibrierwerte unterliegen diesen Fehlern, so daß auch die Toleranzen der ermittelten Größen U_{AB} und K angegeben werden müssen. Die Resultate der Fehleranalysen sind in Kap. 16 angegeben. Abb. 12 zeigt eine Liste der verwendeten piezoresistiven Druckaufnehmer.

10. Piezoelektrische Druckaufnehmer

Am Austritt aus dem Reaktorkern können bei Verwendung eines speziellen Austrittsrings (Position 8H und 9H in Abb. 5/6) zwei piezoelektrische Druckaufnehmer verwendet werden. Ihre Baulänge ist so klein, daß sie in den Austrittsring integriert werden können. Es werden Druckaufnehmer vom Typ 601 zusammen mit dem Ladungsverstärker 5007 der Firma Kistler verwendet. Bei Druckbeaufschlagung erzeugt der piezoelektrische Druckaufnehmer eine Ladung, die über einen Ladungsverstärker eine Ausgangsspannung erzeugt. Druckaufnehmer und Ladungsverstärker sind aufeinander abgestimmt. Wichtig ist die richtige Wahl des Meßbereiches des Ladungsverstärkers. Sie richtet sich nach dem maximal zu erwartenden Druck. Bei Definition eines zu weiten Meßbereiches ist die Abweichung durch Fehler unnötig groß. Die piezoelektrischen Druckaufnehmer wurden mit Hilfe der Kalibriervorrichtung der Gasfüllanlage kalibriert.

11. Hochgeschwindigkeitsaufnahmen

Mit der Hochgeschwindigkeitskamera vom Typ 16 HD der Firma Nac Inc., Tokyo werden die Vorgänge innerhalb des Hauptplexiglaszylinders gefilmt. Die Bildfrequenz beträgt ungefähr 8000 Bilder pro Sekunde. Die verwendeten Farbfilme Kodak Ektachrome Video News Film High Speed SO-251, Empfindlichkeit 27 DIN, können unter den gegebenen Umständen nicht schneller laufen, da ihre Festigkeitsgrenze erreicht wird. Abb.13 zeigt ein Diagramm, in dem die Kamerageschwindigkeit mit den Lichtwerten der Beleuchtung über der Zeit aufgetragen ist. Die angegebene Zeitskala entspricht der vom Startzeitgeber und Steuergerät (Abb.10) eingestellten Abfolge. 300 ms nach dem Startsignal wird der Film gestartet. Die Kamera braucht ungefähr 2 s bis die Sollgeschwindigkeit erreicht wird. Bei $t = 1600$ ms werden sechs langbrennende Blitzlampen vom Typ Sylvania FF-33 gezündet. Sie sind in einem Kasten an der Rückwand des Bunkers befestigt (Abb.1). Ihr Licht wird durch eine Milchglasscheibe gestreut und beleuchtet von hinten den Hauptplexiglaszylinder. Der Lichtstrom der Anlage beträgt während der Transiente des Experimentes ungefähr 270000 lm, die Verschußzeit der Kamera zur gleichen Zeit 0.04 ms. Gute Aufnahmen ergeben sich bei einer Blende von 1:2.8. Bei $t = 2300$ ms werden zwei oder vier zusätzliche Blitzlampen vom Typ AG3B oder AG1B gezündet. Sie sind in einem

Winkel von ca. 45° zur Kameraachse an den vorderen beiden großen Bolzen befestigt. Ein Halbzylinder zentrisch zur Blitzlampenachse deckt diese zur Kamera hin ab und reflektiert das Licht in Richtung des Experimentes. Diese Beleuchtungsanordnung erzeugt ein Auflicht und erhöht die dreidimensionale Wirkung der Bilder. Jede der Blitzlampen liefert ungefähr 200000 lm. Bei $t = 2320$ ms erfolgt die Zündung der Treiberzylinder. Ungefähr 4 ms später öffnen sich die Schiebetüren. Die Zeit $t = 2320$ ms wird als Nullpunkt für die Auswertung festgesetzt. Sowohl die Bildzähleinrichtung für den Film, als auch die Referenzzeit für die Druckaufnehmer werden dabei Null gesetzt (siehe auch Kap. 13).

12. Filmauswertung

Die Filmauswertung geschieht mit Hilfe eines Auswerteprojektors Athena Mk V Modell 224 A der Fa. Athena, Woodland Hills, California. Der Film wird auf eine Mattscheibe eines graphischen Tableaus vom Typ ZAE1E der Fa. P.C.D. in Farnborough, U.K., projiziert. In einem kartesischen Koordinatensystem werden Abszissen- und Ordinatenwerte von Punkten aufgenommen, die von Interesse sind. Bei Aufnahme der Punkte wird die Kennziffer des Bildes vermerkt. Die Signale werden digitalisiert und über ein IEC-Bus Interface einem Kleinrechner vom Typ Commodore 4032 zugeführt. Die Ausgangswerte werden maßstäblich und in Bezug auf einen gewählten Koordinatenursprung ausgegeben. Weiterhin können Volumina unter angegebenen Kurvenzügen berechnet werden. Die Daten für die maßstäblichen Punktkoordinaten, die auf Floppy-Disk zwischengespeichert sind, können über eine serielle Schnittstelle auf einen IBM Personal Computer der Baureihe XT gegeben werden, der über eine PCOX-Karte mit dem Großrechner des KfK verbunden ist. Dort werden dann Zeichnungen in einem einprogrammierten Modellrahmen erstellt.

13. Drucksignalauswertung

Die Drucksignalauswertung geschieht mittels FORTRAN-Programmen auf dem Großrechner des KfK. Verarbeitet werden die Kalibriersignale und die Signale der Transiente (s. Kap. 8). Zunächst werden die Rohsignale gezeichnet. Bei den Signalen für die Referenzzeit werden Eingabeparameter für die zu erfolgende Diskretisierung abgelesen. Abb. 14 zeigt das Referenzzeitsignal über der laufen-

den Nummer der Wertepaare aus dem Sample und Hold für Kanal 3 des Experimentes SGI 03-1. Der Grundfrequenz von 5000 Hz (Rechtecksignal) sind zwei Zusatzsignale überlagert (s. Kap. 3). Das erste Signal verschiebt die Meßwerte um einen negativen Gleichspannungswert. Die Auslösung des Signals markiert den Zeitpunkt der Zündung durch das Hochspannungsgerät. Die Dauer des Signals beträgt 1.513 ms. Das zweite Signal stammt von den Photodioden, die die Bewegung der Schiebetüren registrieren. Die Trägerfrequenz des Signals beträgt 80 kHz. Dabei zeigen die positiven Spannungswerte die Signale der linken Tür, die negativen die der rechten Tür. Abb.14 zeigt deutlich, daß beide Türen zur gleichen Zeit öffnen und daß der Öffnungsvorgang der linken Tür etwas früher beendet wird. Nach einer halben Schwingungsdauer der 5000 Hz-Uhr registrieren die Photodioden weitere Signale, die durch Leckagewasser erzeugt werden. Diese Signale sind irrelevant. Eventuelle Fehler durch Störungen auf den Signalleitungen können in der Zeichnung des Zeitsignals identifiziert werden. Nach Beseitigung der Störungen werden die wegen der analogen Aufzeichnungen schwankenden Werte diskretisiert. Abb. 15 zeigt das Referenzzeitsignal der Abb.14 in diskretisierter Form. Hier ist bereits der Nullpunkt der Zeitachse auf den Zeitpunkt der Zündung festgelegt worden. Die Daten dieser Abbildung ermöglichen nunmehr die Zuordnung der Echtzeit zu jeder Nummer der Stützstellen. Außerdem wird der Zeitpunkt des Öffnens der Tür durch einen Abwärtsstrich (hier bei 3.7 ms) festgelegt.

Abb.16 zeigt das Rohsignal eines piezoresistiven Druckaufnehmers. Es muß mit Hilfe der Beziehungen des Kap. 9 verarbeitet werden. Dazu werden die Kennwerte des Druckaufnehmers als Parameter benötigt. Gleichzeitig wird eine Fehleranalyse vorgenommen. Den Druckwerten werden die zuvor ermittelten Echtzeiten zugeordnet und noch mit einem Zusatzsignal zum Zeitpunkt des Türöffnens versehen. Abb.17 zeigt die aufbereiteten Daten. Der senkrechte Abwärtsstrich zur Zeit $t = 3.7$ ms gibt den Anfang des Türöffnungsvorganges an. Die Tür öffnet sich in 0.5 ms völlig.

14. Fehleranalyse

Die Meßwerte der Druckaufnehmer und der Filmauswertung unterliegen Toleranzen, die vor allem durch den analogen Teil der Meßwerterfassungsanlage vorgegeben sind.

Die piezoresistiven Druckaufnehmer werden am Ende der Transiente der Experimente nach Meßfehlern untersucht. Dazu wird ungefähr 50 ms nach dem Start ein quasi-stationärer Druckmeßwert aufgenommen. Die Amplitude des Untergrundes wird ermittelt. Die bisher ermittelten Daten deuten auf ein weißes Rauschen hin. Die Werte bei 50 ms werden genauso wie das Drucksignal weiterverarbeitet und liefern letztlich den Anteil des Untergrundes am Wert des Druckes. Er beträgt im allgemeinen weniger als 10%. Die Fehler während der Transiente können größer sein, entziehen sich jedoch einer direkten quantitativen Analyse. Insbesondere steigen bei steilen Druckrampen die Fehler, was sich in einer Unsicherheit bei der Aussage über den absoluten Wert der Druckspitze äußert. Zwar werden durch die Verwendung von logarithmischen Verstärkern den Druckspitzen reduzierte Ausgangsspannungen zugeordnet, jedoch zeigen Tests mit und ohne Schutzkappen auf den Druckaufnehmern starke Abweichungen. Es muß nämlich berücksichtigt werden, daß vor allem beim Wasserhammer örtliche Vorgänge an der Aufnehmermembran zu Verfälschungen führen können. Die Membranen sind deshalb entweder mit einem Vakuumfett oder Silikonkautschuk bedeckt, so daß die Oberfläche der nahezu inkompressiblen Schutzschicht eine geometrische Einheit mit der Halterung der Druckaufnehmer bildet. Trotz aller Vorkehrungen muß mit Meßfehlern in der Größenordnung von wenigen zehn Prozent in Druckspitzen gerechnet werden. Die Druckaufnehmer haben Eigenfrequenzen über 100 kHz. Die Datenerfassungsanlage kann jedoch nur bis ungefähr 80 kHz identifizieren. Fehler bis zu 7% ergeben sich bereits bei der Digitalisierung von einer Sinus-Schwingung von 40 kHz. Bei Druckschwankungen über 40 kHz muß also mit Fehlern über 10% gerechnet werden. Weitere Fehler entstehen durch Überlagerung von Fremdfrequenzen bei allen Druckaufnehmern, die zur Zeit der Türöffnung von Wasser umgeben sind. Die durch den Türöffnungsvorgang erzeugten mechanischen Schwingungen werden von diesen Druckaufnehmern gut registriert und ergeben Ausgangssignale, die weit über dem maximal zu erwartenden Drucksignal liegen. Bei der Auswertung werden Über- und Unterspannungen unterdrückt.

Die Fehler beim Digitalisieren werden durch die Kalibrierung kompensiert. Die Abbruchfehler liegen bei 2.4 mV, das liegt in der Größenordnung von 0.1% des zu erwartenden Signals. Ferner ist wegen der Komplexität des Systems und anderer an die gleiche Rechenanlage angeschlossene Versuchsanlagen mit Störspannungen in der Größenordnung von 1% des zu erwartenden Signals zu rechnen. Bei jedem Experiment wird dafür gesorgt, daß dieser Wert nicht überschritten wird.

Die Bildauswertung unterliegt Fehlern durch Projektion und Unschärfe. Verzerrungen durch die Projektion werden zur Zeit nicht kompensiert. Sie ergeben sich zunächst durch den Öffnungswinkel des Objektivs von 50 mm Brennweite der Hochgeschwindigkeitskamera. Dazu ergeben sich Verzerrungen beim Blick durch den dicken Plexiglaszylinder. Man erhält bei der bisher verwendeten Aufstellung (Kameraobjektivachse schneidet das volumetrische Zentrum des Plexiglaszylinders) eine Verzerrung der kartesischen Koordinaten in hyperbolische Koordinaten. Bei der Filmauswertung wird jedoch davon ausgegangen, daß es sich immer um rechtwinklige Koordinaten handelt. So werden auch die Abbildungsmaßstäbe ermittelt. Die Abweichung der hyperbolischen Koordinaten von den rechtwinkligen wurden mit maximal ± 2 mm ermittelt. Die Unschärfe des Bildes führt dazu, daß Objektabstände kleiner als 1 mm nicht mehr aufgelöst werden können. Bei einem Referenzvolumen von 1800 cm³ ergibt sich aufgrund der Unschärfe ein Fehler von $\pm 4\%$. Wird das Referenzvolumen im Bereich der maximalen Verzerrung gemessen, so ergibt sich ein Fehler von $\pm 8\%$.

Die Bildfrequenzmessung wird mit Hilfe der Perforation des Filmes und Frequenzmarkierungen ermittelt. Die Fehler bei der Ermittlung der Markierungen liegen bei absolut 5 mm, das entspricht ebenso wie die Toleranzen der Perforation einem Fehler von 1.3%. Das ist auch ein Maß für die Fehler der Bildfrequenzbestimmung, die durch lineare Kombination der Meßgrößen geschieht. Bei 8000 Bildern pro Sekunde sind dies 100 Bilder.

An die piezoelektrischen Druckaufnehmer ist eine Reihe von linearen Verstärkern angeschlossen. Die Fehler am Ausgang der Ladungsverstärker betragen laut Werksangabe $\pm 0.01\%$. Die Abweichungen der daran anschließenden Verstärkerkette werden mit Hilfe der Kalibriersignale kompensiert. Es verbleibt ein Untergrund von $\pm 4\%$, der in einer Referenzmessung ermittelt wurde.

Am 24.5.85 wurde eine Referenzmessung durchgeführt, die einen Aufschluß über die Abweichungen der piezoresistiven Druckaufnehmer voneinander geben kann. Die Referenzmessung ergänzt die Kalibrierungen, die an der Gasfüllanlage durchgeführt wurden. Das Experiment wurde vollständig aufgebaut, die Schiebetüren geöffnet und das Innenvolumen mit 10.98 und 21.05 bar (mittlere Ablesung an den Präzisionsmanometern der Gasfüllanlage) beaufschlagt. Abb. 18 zeigt die gemessenen Drücke der acht Druckaufnehmer. Es zeigt sich, daß die Gesamtfehler der gemessenen Drücke stets größer sind als die Abweichungen der Meßwerte vom Referenzdruck.

15. Wasseraufbereitung und Markierungskugeln

Während des Experimentes laufen Druckwellen durch das Wasser im Plexiglaszylinder. Dabei kann es zu örtlichen Siedekeimbildungen kommen. Außerdem bilden sich ausgedehnte Kavitationsfelder an den Abrißkanten der Strömung. Jede Art von Blasenentwicklung beeinträchtigt die Filmauswertung. Deshalb wird das destillierte Wasser in einer Anlage über 24 Stunden entgast. Mit einer Vakuumpumpe wird ein Druck derart erzeugt, daß stets eine geringfügige Verdampfung bei Umgebungstemperatur aufrechterhalten wird. Ein Teil der in Wasser gelösten Luft wird dadurch entfernt. Zwei Messungen der Sauerstoffkonzentration ergaben nach Abschluß der Entgasung zwischen 2.2 und 5.5 mg O₂ auf 1 kg H₂O. Die Referenzmessung von 7.8 bzw. 8.5 mg O₂ bei destilliertem Wasser unter Luft von 0.1 MPa ergab dabei geringfügig kleinere Werte, als die rechnerisch ermittelten (8.7 mg O₂). Die Stickstoffkonzentration konnte nicht gemessen werden, sie liegt jedoch rechnerisch über der des Sauerstoffs. Das entgaste Wasser wird möglichst kurz vor dem Start des Experimentes in den Tank gefüllt.

Nach dem Einfüllen werden rote Markierungskugeln auf vorher gespannte Drahtreihen lose aufgelegt. Die Markierungskugeln der Fa. Precision Plastic Ball, Chicago U.S.A., haben einen Durchmesser von 4.8 mm und eine Dichte von 1026 kg/m³. Die Kugeln werden von der Strömung des Wassers erfaßt und dienen der Beobachtung der Wasserbewegung. Wegen des geringen Dichteunterschiedes zum Wasser und des geringen Durchmessers ergibt sich nur ein geringer Schlupf zwischen Wasser und Kugel. Wird z.B. das Wasser bei konstanter Beschleunigung in 5 ms von 0 auf 100 m/s gebracht, so ergibt sich eine Differenzgeschwindigkeit von maximal 2 m/s.

16. Testergebnisse

Abschließend werden die Meßergebnisse der ersten zehn Tests des SGI-Experimentes aufgeführt. Dabei wird auf eine Interpretation weitgehend verzichtet, da dies nach Abschluß einer längeren Testreihe an anderer Stelle durchgeführt werden wird.

Die in diesem Kapitel beschriebenen Tests sind in Abb.19 aufgeführt. Dabei sind die wichtigsten Anfangsparameter und die Anzahl der verschiedenen Meßwert-aufnehmer angegeben. Wasserspiegel und Deckelhöhe sind in cm über Oberkante Schiebetür gemessen. Die Nummer der Experimente setzt sich aus zwei Zahlen zusammen. Die erste Zahl ändert sich jedesmal, wenn die Anfangsbedingungen wesentlich verschieden sind. Die zweite Zahl hinter dem Bindestrich ist die Kennung des Wiederholungsexperimentes, bei dem u.U. verschiedenartige Meßwert-aufnehmer verwendet werden. Bei jedem Experiment werden im folgenden die dazugehörigen Abbildungsnummern angegeben. Lage und Art der Meßwert-aufnehmer sind in Abb. 20 zusammengefaßt (s. auch Kap. 4). Die Konfiguration wird u.a. mit UCS und UIS angegeben. Die oberen Kernstrukturen (UCS) bestehen aus einer Lochplatte in der Austrittsöffnung der Schiebetüren (s. Abb.5), die oberen internen Strukturen (UIS) sind Bolzen, die vom Tankdeckel herabragen (s. Kap. 4). Es wurde die Tauchplatte (d) verwendet (s. Kap. 4).

Die Ergebnisse der Druckmessungen in den folgenden Abbildungen sind nach folgendem Schema beschriftet. Nach der Abbildungsnummer wird die Kennung des Experiments, z.B. SGI 01-1, aufgeführt. Die Zahl danach gibt die Kanalnummer an. Darauf folgt die Kennung TR für "Transiente". Eine Liste mit den bei der Messung auftretenden Fehlern ist ab Abb. 36 beigelegt. Dabei werden die Werte von 0V und 3V zur Berichtigung der linearen Verstärker verwendet. NS bedeutet Nullsignal, VA Vollausschlag. Die Basis des logarithmischen Verstärkers entspricht dem Wert K von Kap. 9. Der Fehler der Messung ist mindestens so groß wie in der letzten Zeile der Tabelle angegeben.

SGI 01-1 (Abb. 21 bis 27):

Wegen des Fehlens von Schutzschichten (Vakuumfest oder Silikonkautschuk) vor der Membran zweier Druckaufnehmer in Position 6A und 7A wurden die Membranen zerstört. Der Druckaufnehmer von Kanal 12 hatte einen Kabelkurzschluß. Das Kalibriersignal des Vollausschlages von Kanal 6 fehlte und wurde durch den Nennwert ersetzt.

SGI 01-2 (Abb. 28 bis 35):

Das Signal von Kanal 4 ist fehlerhaft. Wegen schlecht adjustierter Kolben der Treiberzylinder war die Energie zur Öffnung der Türen zu hoch. Die Türen öffneten in 0.23 ms. Das Signal der Thermoelemente war stark verrauscht und unergiebig.

SGI 01-3 (Abb. 36 bis 47):

Kanal 3 war fehlerhaft. Das Signal des Thermoelementes war stark verrauscht. Der Untergrund war wesentlich höher als das Signal. Die Messung war unergiebig. Abb. 45 ist die mit Hilfe des graphischen Tableaus gewonnene Darstellung der Konturen der Blase und des Ortes jeder Markierungskugel zu ausgewählten Zeiten. Das Bild zeigt auch die Lage der Druckaufnehmer. Zur Kennung muß 1 addiert werden, um die Kanalnummer zu erhalten (z.B. P2 ist der Druckaufnehmer von Kanal 3). Aus den Bildern kann entnommen werden, wann z.B. die Phasengrenze den Druckaufnehmer passiert. Ausgewählte Einzelbilder des Hochgeschwindigkeitsfilms zeigt Abb. 48.

SGI 02-1 (Abb. 49 bis 55):

Die Kamera war defekt. Die Temperaturmessung war unergiebig.

SGI 02-2 (Abb. 56 bis 67):

Kanal 6 war fehlerhaft. Die Temperaturmessung war wieder unergiebig. Wegen eines Kameradefektes wurden die Aufnahmen stark beeinträchtigt.

SGI 03-1 (Abb. 68 bis 75):

Der Film wurde leicht überbelichtet. Gelegentliche Spannungsspitzen, die im A/D-Konverter erzeugt wurden, stören nur wenig.

SGI 03-2 (Abb. 76 bis 85):

Die Kalibrierströme wurden wegen eines Fehlers im A/D-Konverter nicht aufgezeichnet. Stattdessen werden die Sollwerte verwendet.

SGI 04-1 (Abb. 86 bis 88):

Mit dem Einbau eines zweidimensionalen Schildtanks ist es möglich, das Innere der expandierenden Blase zu beobachten. Abb. 86 zeigt in perspektivischer Darstellung das Innere des Reaktortankmodells mit einem massiven Plexiglaszylinder anstelle des thermischen Schildes. Der Plexiglaszylinder hat eine Nut von 2.6 cm Breite und 23 cm Länge. Die Blase expandiert aus einer Schiebetüröffnung, die auf die Breite der Nut verkleinert wurde. Am rechten Ende der Nut wurde ein schmaler Spiegel so angebracht, daß ein Blick entlang der Längsachse der Nut möglich ist. Unterhalb der Öffnung befinden sich Leitkörpereinbauten, die eine ungestörte Strömung des Gases durch die Düse ermöglichen. Der Kernaustrittsring oberhalb der Tür ist zur Hälfte aus Plexiglas um die Austrittskante beobachten zu können. Die Messungen der Druckaufnehmer waren stark verrauscht und unergiebig.

SGI 04-2 (Abb. 84):

In diesem Experiment wurde eine Zweiphasensonde erprobt. Die Sonde der Fa. Künzer, Hagen, verwendet das in /9/ vorgestellte Meßverfahren, das auf der Erzeugung eines elektromagnetischen Feldes mit Hilfe eines Hochfrequenzgenerators beruht. Die Sonde ist eine koaxiale Leitung mit offenen Enden. Die Meßspitze befand sich in koaxialer Position 13.61 cm über der Schiebetür. Bei Veränderung der Fluidichte an der 0.7 mm starken Sondenspitze ändert sich die Dämpfung der stehenden Welle. Die dadurch hervorgerufene Änderung der Differenzspannung längs der koaxialen Leitung wird mit einem Stehwellenmeßgerät (SWR-Meter) gemessen. Die Meßapparatur wurde von Herrn J. Reimann, Kernforschungszentrum Karlsruhe, zur Verfügung gestellt. Leider ergab sich wegen des hohen elektromagnetischen Untergrundes, wegen der mechanischen Erschütterungen und der sehr diffusen Zweiphasengrenze ein nicht interpretierbares Meßsignal.

SGI 05-1 (Abb. 90 bis 92):

Gegenüber SGI 04 wurde durch eine 15 µm dicke Messing-Membrane verhindert, daß Wasser im Austrittsschlitz der Türöffnung stand. Die Membrane lag zwischen dem Plexiglasaustrittsring und dem Stahlring der Kernaustrittsöffnung 11 mm unterhalb der Austrittskante des Kernaustrittsrings (siehe Abb. 86). Unmittelbar nach dem Türöffnen versagte die Membrane und ermöglichte eine ungehinderte Expansion der Blase in das Wasservolumen. Wie in SGI 04-2 wurde das Zweiphasenmeßgerät in einem Zusatzexperiment ohne Erfolg eingesetzt.

17. Erste Ergebnisse zu den verdrängten Volumina

Abb. 46 zeigt die Volumina der expandierenden Stickstoffblase und das Verdrängungsvolumen des Wassers für SGI 01-3 gemessen mit Hilfe der Verdrängung der Markierungskugeln (s. Kap. 15). Ist das Verdrängungsvolumen nicht symmetrisch zur senkrechten Mittelachse der Projektionsebene, so wird ein Mittelwert aus den Flächen links und rechts der Mittelachse gebildet. Weitere Fehler bei der Berechnung der Verdrängungsvolumina sind noch nicht korrigiert.

Abb. 46 zeigt die direkt ermittelten Werte auch in tabellarischer Form, wobei jeweils die Abweichung von der Symmetrie angegeben ist. Diese Abweichung ist die Differenz der Volumina, die aus den Werten links und rechts der Mittelachse

gebildet werden, bezogen auf das Verdrängungsvolumen. Das Verdrängungsvolumen der Blase beinhaltet auch das nicht sichtbare Volumen des Kernaustrittsrings bis hinunter zur Oberkante der Schiebetüren. Das Verdrängungsvolumen der Kugeln wird durch Vergleich mit der Ausgangslage der Markierungskugeln ermittelt. Abb. 46 zeigt, daß das Volumen der Blase schneller steigt als das Verdrängungsvolumen der Kugeln. Das Differenzvolumen ist ein Maß für die Eintragung von Wasser in das Volumen der Blase. Als Referenzmaß für die Wasserverdrängung wurde das Verdrängungsvolumen der Kugeln benutzt, obwohl auch die Bewegung des Wasserspiegels klar zu sehen ist. Abb. 47 zeigt die Verdrängungsvolumina des Wassers, ermittelt mit Hilfe der Kugeln und des Wasserspiegels. Es ist eine deutliche Abweichung besonders für frühe Zeiten festzustellen. Die Messung für die Kugeln ist sehr wahrscheinlich genauer, wie für das Experiment SGI 02-2 noch gezeigt wird.

Abb. 65 zeigt das Verdrängungsvolumen des Wassers und den Blasenvolumen für SGI 02-2. Da in diesem Experiment zwei übereinander liegende Kugelreihen verwendet wurden, kann man die mit ihnen ermittelten Verdrängungsvolumina sofort vergleichen. Abb. 67 zeigt die gute Übereinstimmung der Daten. Dies ist ein Beweis für die Genauigkeit dieser Meßmethode. Abb. 66 hingegen zeigt die Abweichung der Verdrängungsvolumina des Wassers, gemessen mit Hilfe der Kugeln und der Wasseroberfläche. Die systematische Unterschätzung des Verdrängungsvolumen durch die Messung des Wasserspiegels kann durch Verzerrung bei der Projektion erklärt werden. Ist der Wasserspiegel nach oben gekrümmt, so erscheint die Projektion in einem Bereich, in dem wegen des Nichtbenetzens des Hauptplexiglaszylinders mit Wasser der Abbildungsmaßstab stark reduziert ist.

Abb. 85 zeigt das Blasenvolumen und das Verdrängungsvolumen des Wassers für SGI 03-2. Die Daten erfassen nicht die ganze Transiente, da die Messung ab 7.3 ms durch die Tauchplatte stark gestört wird. Die Markierungskugeln treffen auf die Tauchplatte auf und können der Wasserbewegung nicht mehr ungehindert folgen. Der Wasserspiegel kann nicht als Ersatz verwendet werden, da hinter der Tauchplatte Kavitation auftritt und das dort entstehende Leervolumen nicht zum Blasenvolumen hinzugerechnet werden darf.

Abb. 88 zeigt das Blasenvolumen und das Verdrängungsvolumen des Wassers, gemessen mit den Markierungskugeln für SGI 04-1. Dieses Experiment wurde mit dem zweidimensionalen Einsatz durchgeführt. Es war dabei möglich, ein qualitatives Bild vom Innern der Blase zu erhalten. Die Werte der folgenden

Abbildungen werden nur solange angegeben bis die Markierungskugeln den zweidimensionalen Bereich des Tankmodells verlassen. Der Unterschied zu allen vorherigen Experimenten liegt darin, daß die beiden ebenen Stirnseiten des inneren Plexigläseinsatzes über lange Zeit von einem Wasserfilm benetzt werden, an dessen Oberfläche es zu unprototypischen Entrainmentprozessen kommt.

Die Fotoaufnahmen von SGI 04-2, Abb. 89, bestätigen den erheblichen Anteil des Entrainmentvolumens am Blasenvolumen. Es muß jedoch angenommen werden, daß Filme an den Stirnseiten eventuell ähnliche Opazitäten im Bild hervorrufen können wie ein Zweiphasengemisch durch Entrainment.

SGI 05-1 wurde so konzipiert, daß Eintrainmentvorgänge im nicht sichtbaren Teil der Anlage vermieden werden können. Dazu wurde eine Membrane 11 mm unterhalb der Austrittskante des Kernaustrittsrings befestigt (siehe Abb.86). Die Blase beginnt also erst ab hier zu wachsen. Abb. 92 zeigt Blasenvolumen und Wasserverdrängungsvolumen für SGI 05-1. Eine Analyse der Fotos von Abb. 90 ergibt, daß zwischen 5 und 7 ms zwei starke Wirbel an der rechten und linken Kante des Kernaustrittsrings gebildet werden. Da im Zentrum der Wirbel ein zweiphasiges Gebiet zu erkennen ist, muß damit gerechnet werden, daß dort Kavitation auftritt. Das entsprechende Volumen trägt wesentlich zum Entrainmentvolumen bei.

18. Danksagung

Dieser Bericht beschreibt eine in den letzten Jahren aufgestellte und verbesserte Versuchsanlage. Deshalb soll an dieser Stelle allen denen gedankt werden, die mit erheblichem Arbeitseinsatz am Zustandekommen der Experimente beteiligt waren. Dank gilt vor allem den Werkstätten des INR. Für die Ausleihe von Meß- und Aufnahmegeräten sei den experimentellen Abteilungen von IRB und IRE herzlichst gedankt. Im einzelnen möchten wir anerkennend erwähnen: Herrn Roth und Herrn Zimmermann für die Hilfe beim Aufbau der Anlage und bei der Durchführung der Experimente, Herrn Eggmann und Herrn Wachter für die Planung, Errichtung und Wartung der Elektronik, Herrn Kurz für die Bereitstellung der Starkstromanlage und Herrn Gorenflo für die Wartung der Kameras.

19. Literatur

- /1/ R.A. Rothrock, M.S. Kazimi,
Experimental Investigation of the Thermal-Hydraulics of Gas Jet Expansion
In a Two-Dimensional Liquid Pool, Massachusetts Institute of Technology,
Bericht MITNE-223 (1978)
- /2/ T.G. Theofanous, M. Saito,
The Termination Phase of Core Disruptive Accidents in LMFBRs, Proc. of the
Int. Meeting on Fast Reactor Safety Technology, Seattle (1979), Vol. III, p.
1425.
- /3/ D. M. Christopher,
Transient Development of a Two-Phase Jet,
M.S. Thesis, Purdue University (1977)
- /4/ W. Schütz, J. Minges, W. Haenscheid
Wassersimulationsexperimente zum instantanen Quellterm beim schweren
Brutreaktorstörfall, KfK 4249, (1987), Kernforschungszentrum Karlsruhe
- /5/ L.L.Smith,
SIMMER-II, A Computer Program for LMFBR
Disrupted Core Analysis, Los Alamos National Laboratory, Report
NUREG/CR-0453 (1978)
- /6/ W.R.Bohl, D.Wilhelm, F.R.Parker, J.Berthier, P.J.Maudlin, P.Schmuck,
L.Goutagny, S. Ichikawa, H.Ninokata, L.B.Luck,
Computational Methods of the Advanced Fluid Dynamics Model, Int. Topical
Meeting on Advances in Reactor Physics, Mathematics, and Computation,
Paris (1987), Vol. 3, p. 1625
- /7/ R.J.Tobin, A.L.Florence,
persönliche Mitteilung an das Kernforschungszentrum Karlsruhe (1981)
- /8/ R.J. Tobin,
Experimental Studies in CDA Work-Energy Attenuation, Fast Reactor
Safety Program Quarterly Progress Report No. 23 (1980), DOE/SF/70097 --
T10, SRI International, Menlo Park

- /9/ H. John, J. Reimann,
Gemeinsamer Versuchsstand zum Testen und Kalibrieren verschiedener
Zweiphasen-Massenstrommeßverfahren, KfK 2731B, (1979),
Kernforschungszentrum Karlsruhe

20. Abbildungen

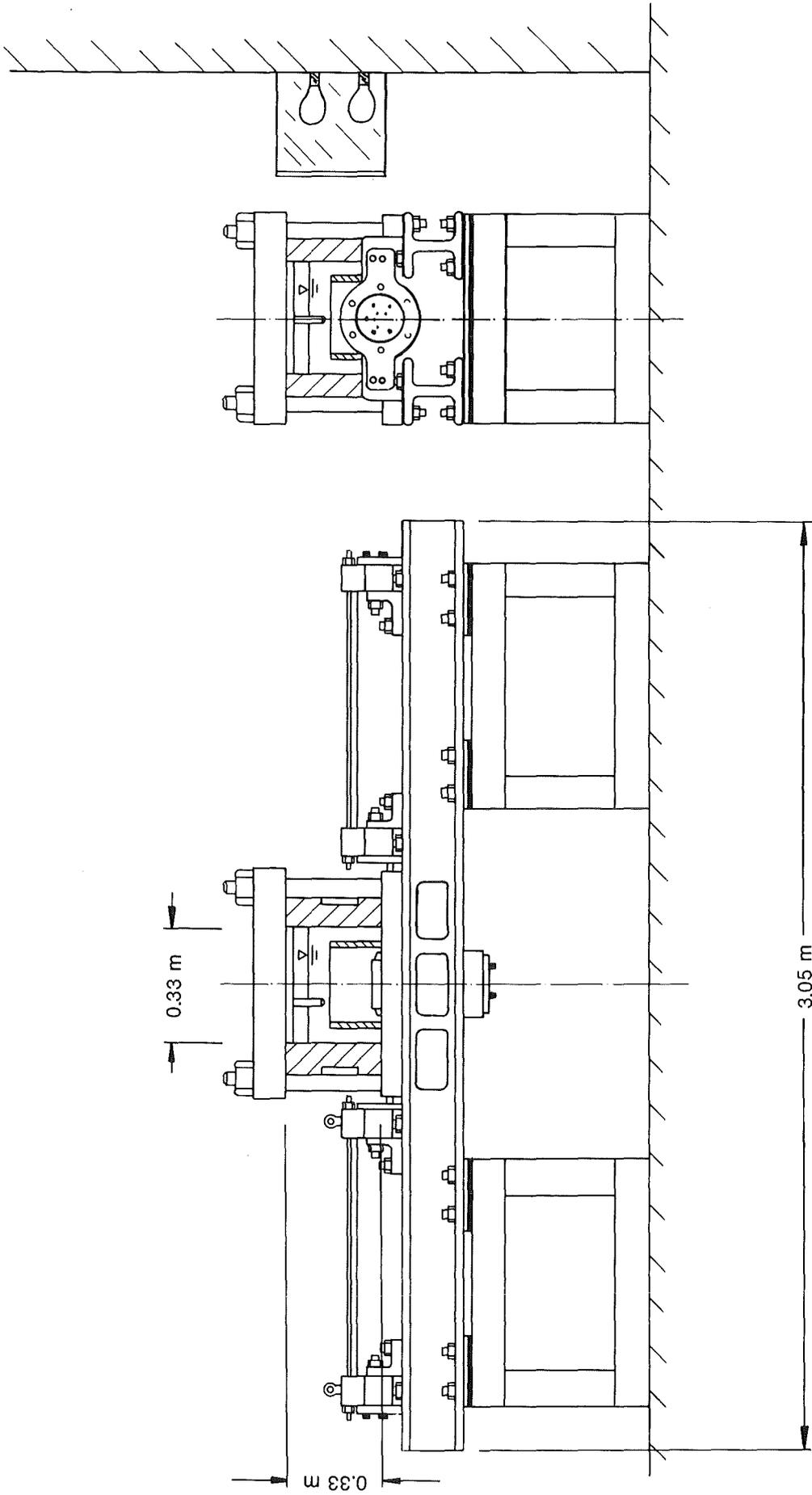
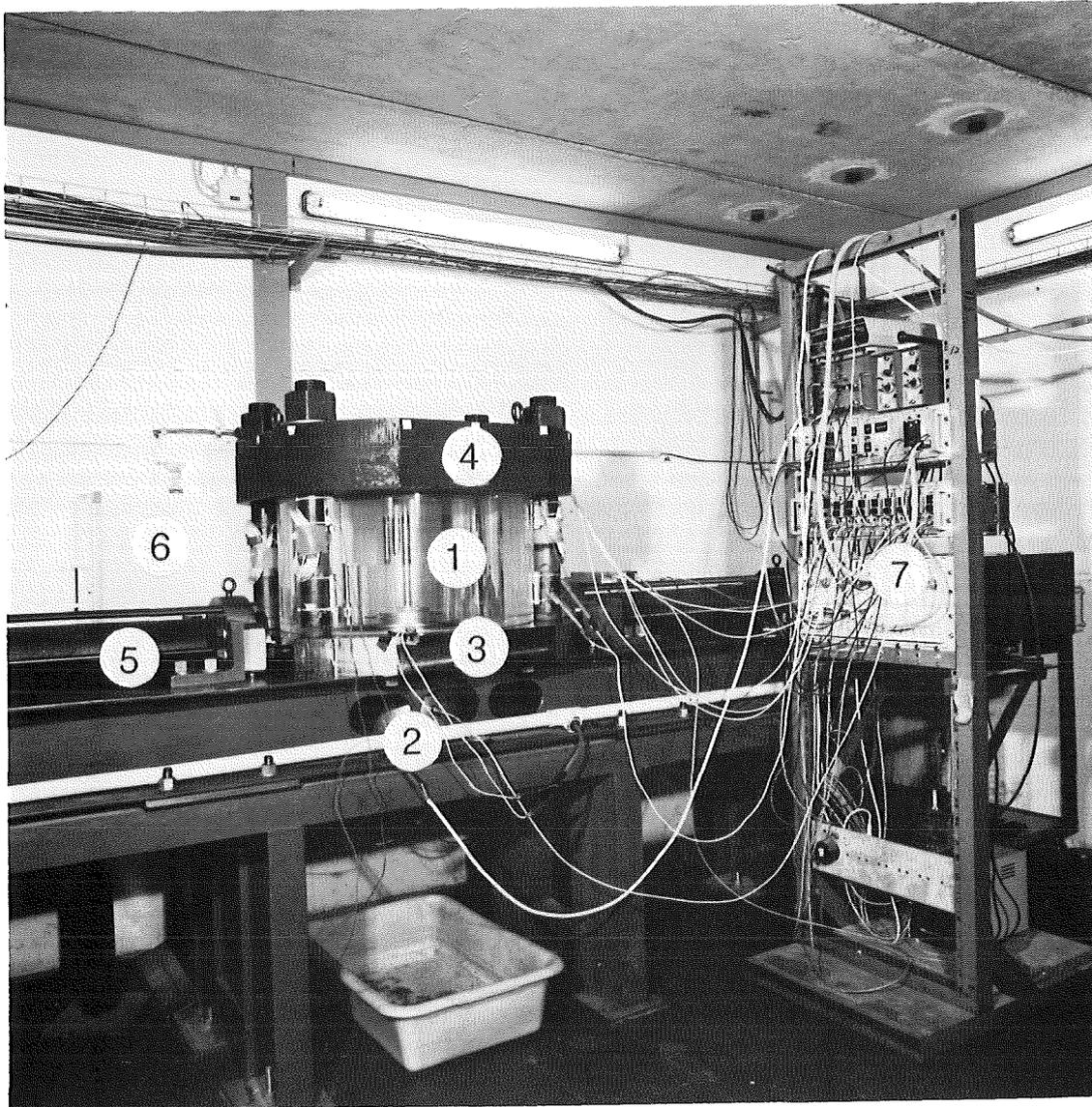


Abb.1 Ansicht der SGI Versuchsanlage



- 1 Plexiglaszylinder mit Reaktortankmodell
- 2 Tank des Kernvolumens
- 3 Grundplatte
- 4 Abschlußplatte
- 5 Treiberzylinder für Schiebetüren
- 6 Beleuchtungseinrichtung
- 7 Meß- und Steuerelektronik

Abb.2 SGI Versuchsanlage im Sicherheitsbunker

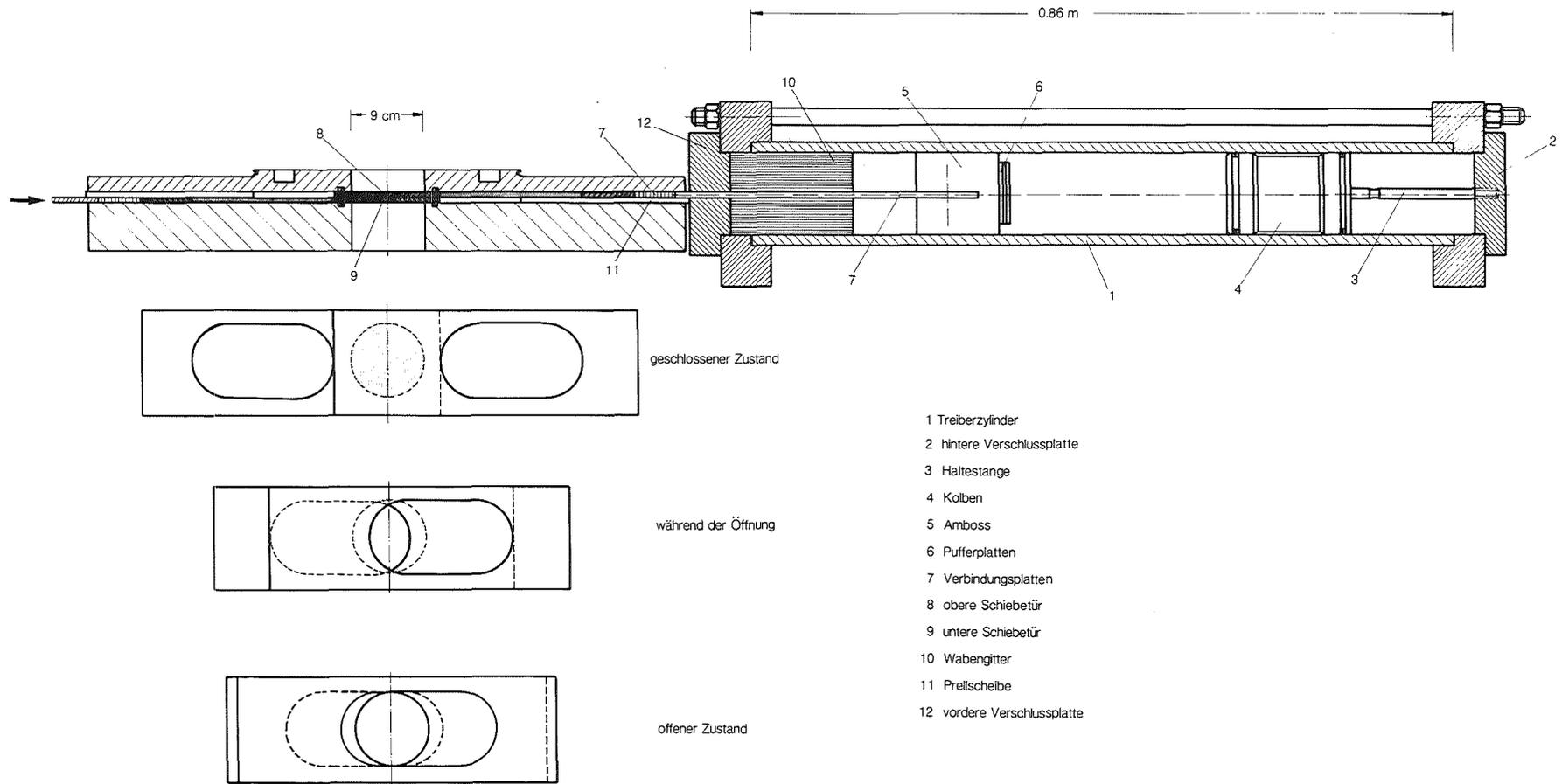


Abb.3 Türöffnungsmechanismus mit Treiberzylinder

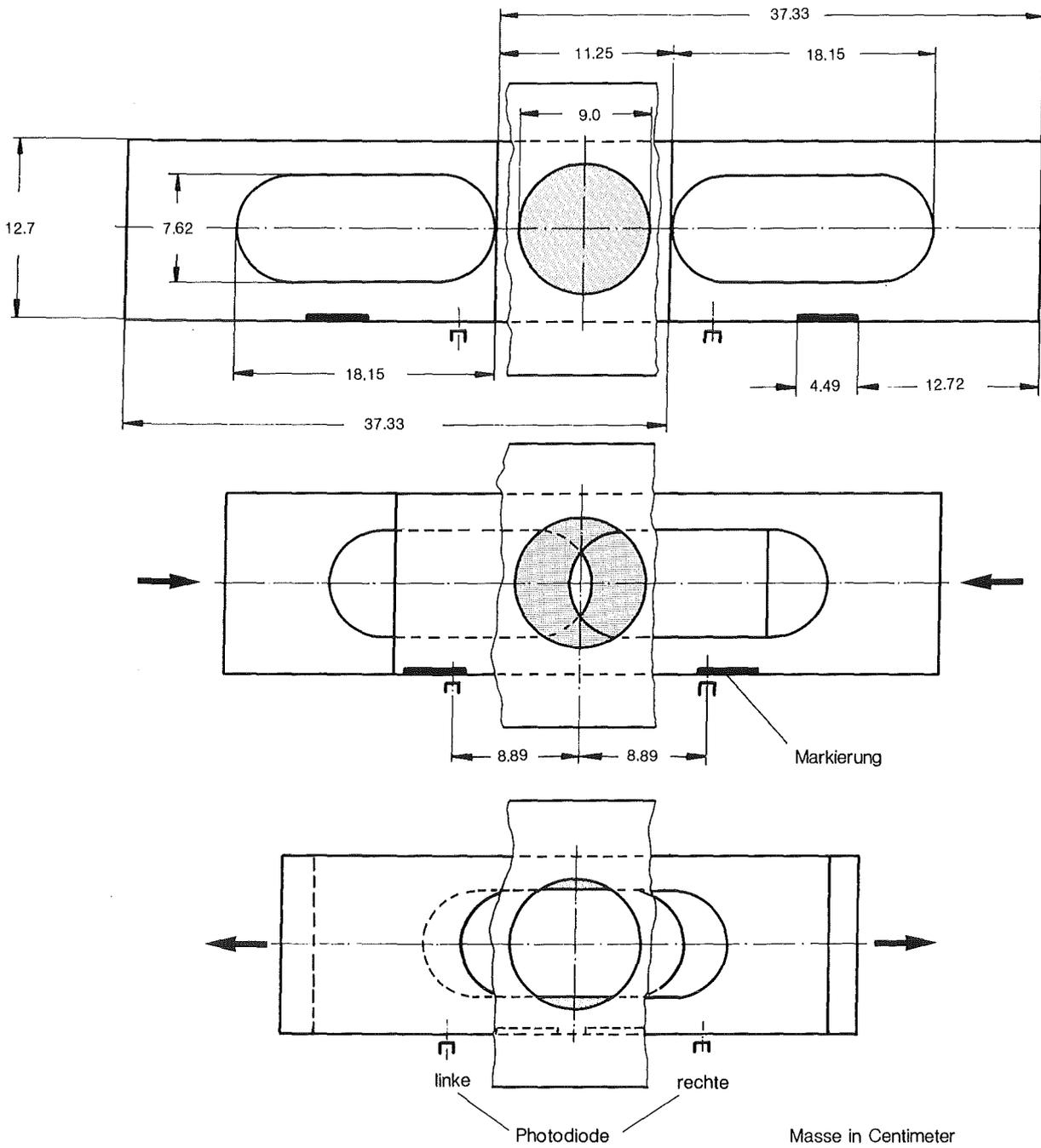


Abb.4 Schiebetüren und Photodioden

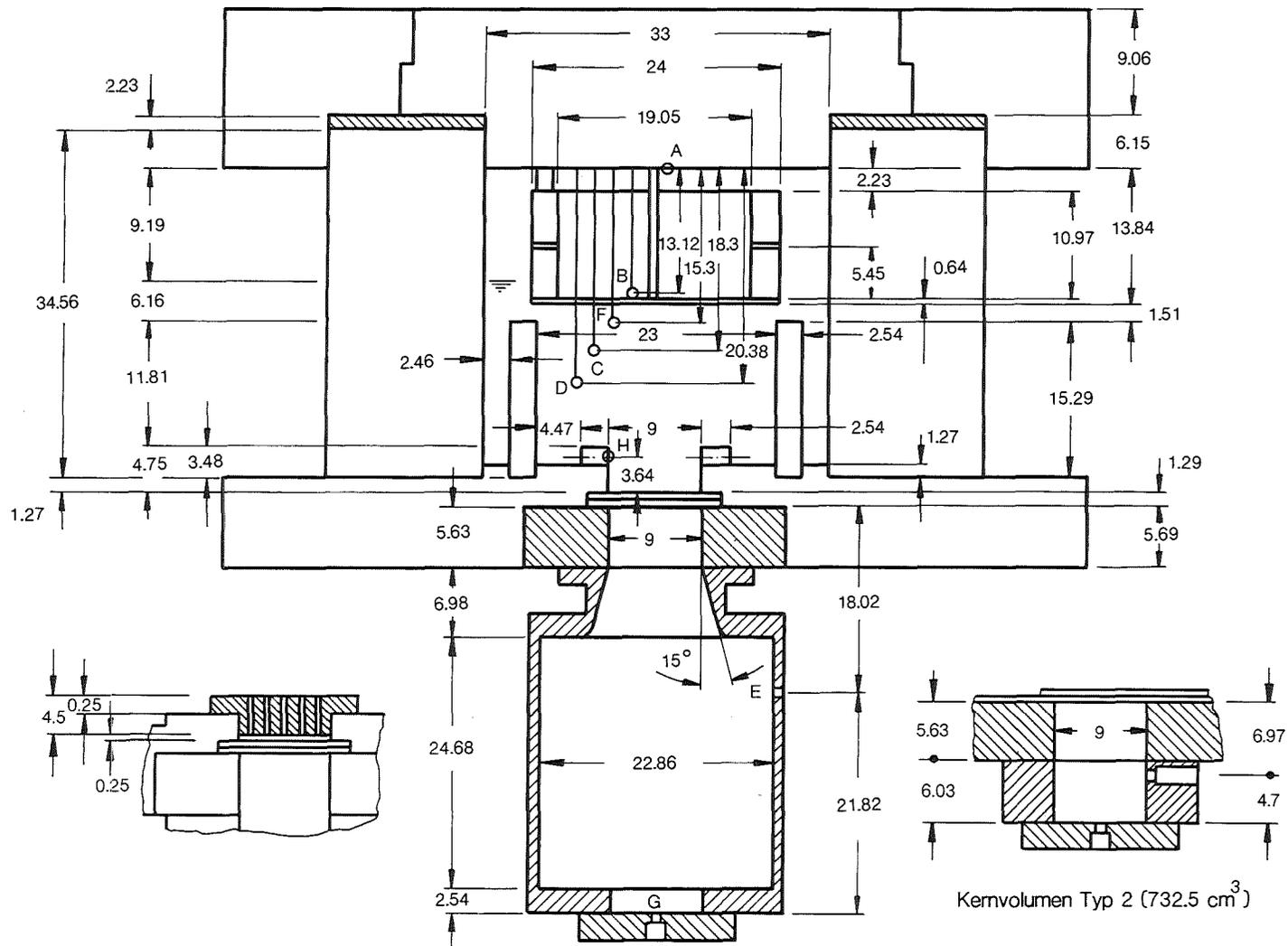


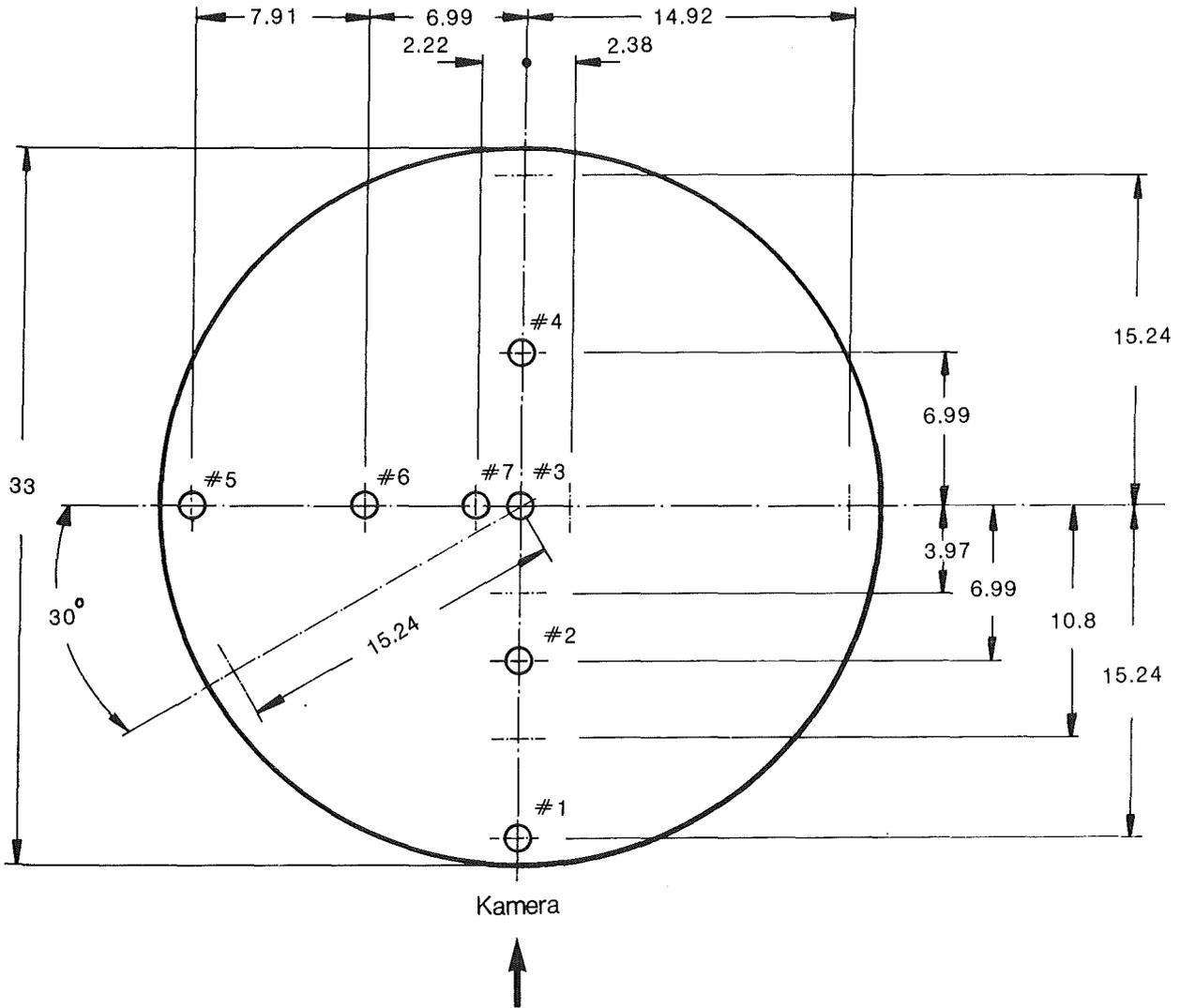
Abb. 5

Kernvolumen Typ 1 (11307 cm³)

Kernvolumen Typ 2 (732.5 cm³)

AUFRISS des Tankmodells

(Masse in Centimeter)



Position #	Höhe	Type Kistler	SN	SN für 01-2	SN ab 01-3
0	E	A50	145118		
1	B	A50	145117		
2	C	A100	94021		
3	C	A100	94022		
4	D	A100	94025		
5	A	A200	146483		
6	A	A200	147470	146484*	
7	A	A200	147471	146485*	163295

Position # 0 = Core
 ab SGI 04-1 : Position # = Kanal
 Kabel # = Kanal #+1
 *für 01-2
 ab 01-3

Abb.6 Grundriß des Tankdeckels mit Positionen der Druckaufnehmer

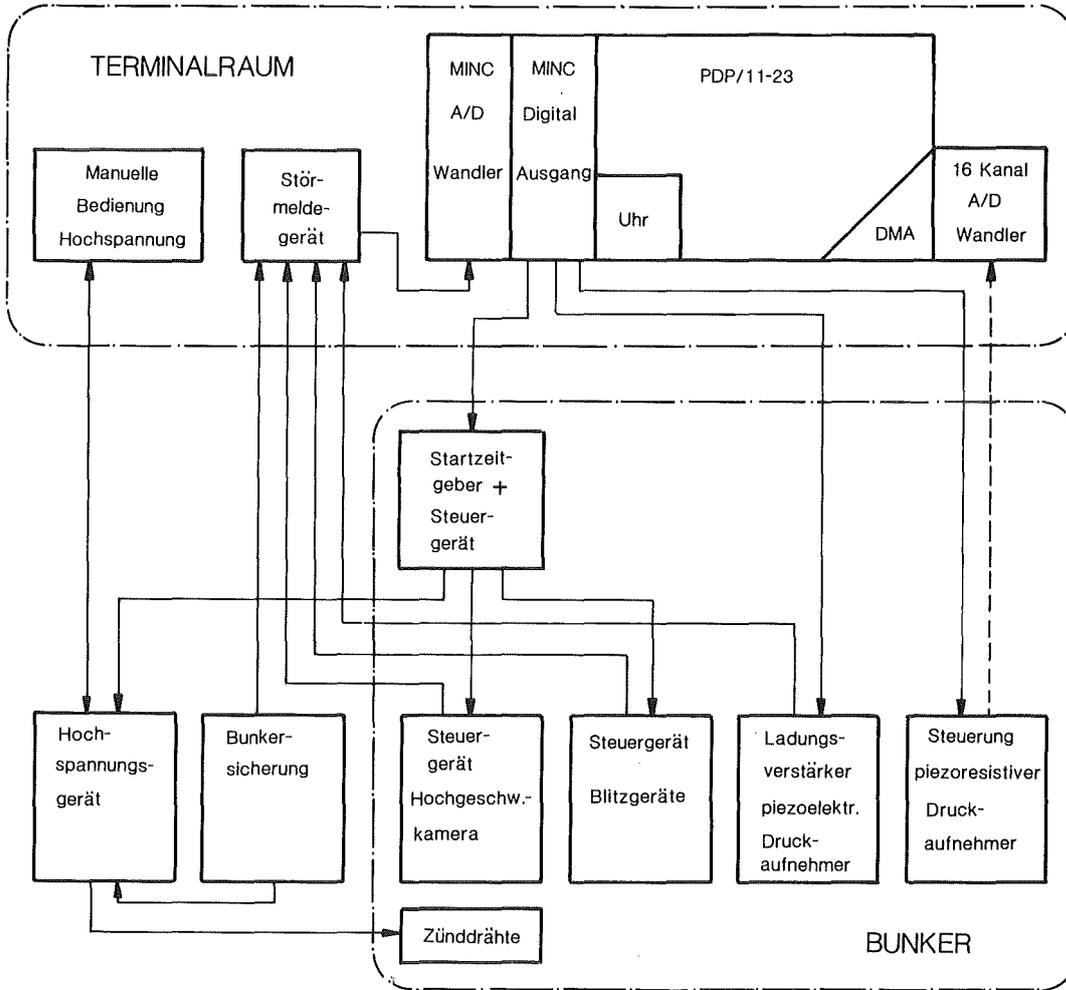
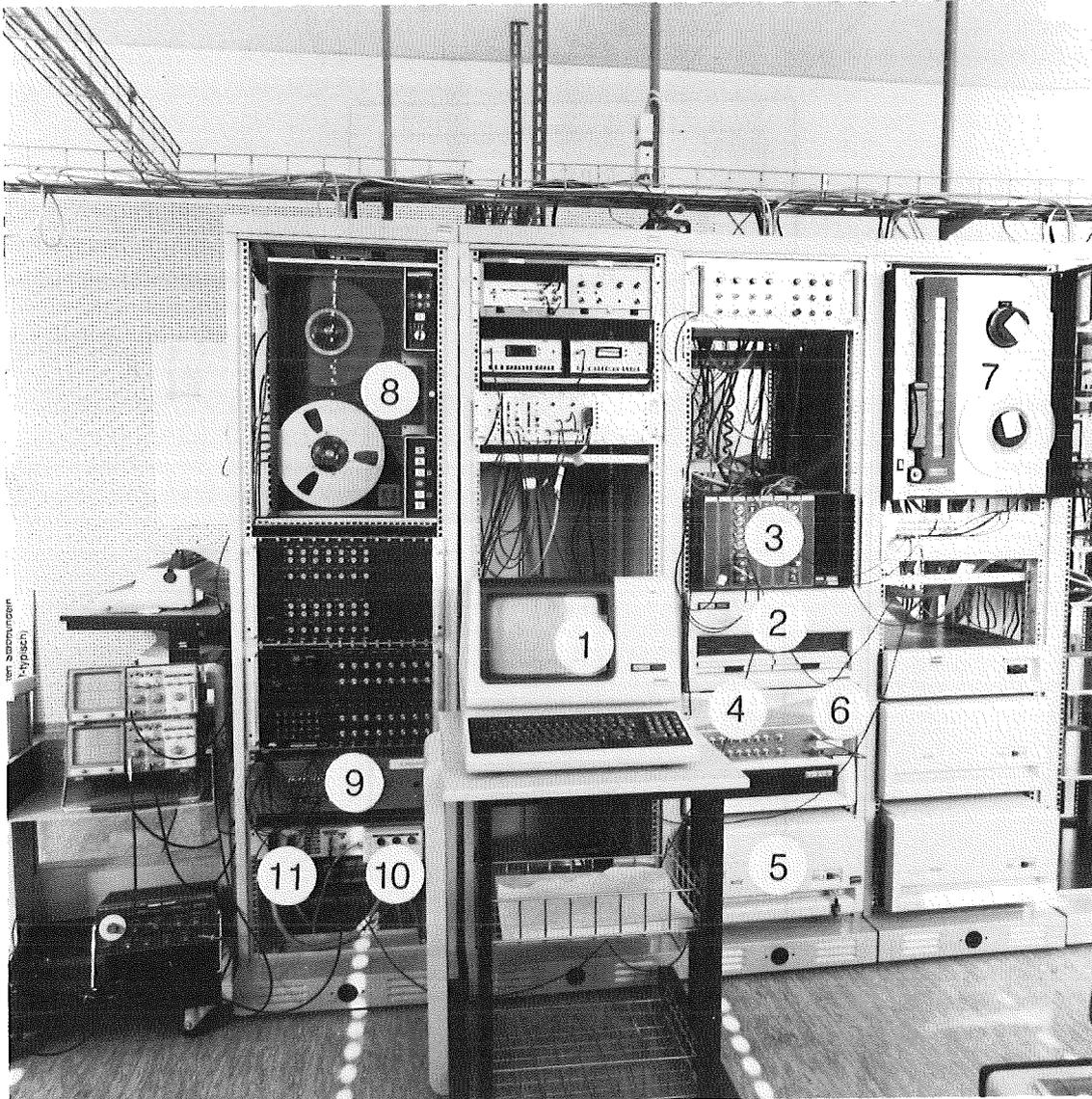


Abb.7 Steuersignalleitungen



- | | |
|-----------------------------------|---------------------------|
| 1 Rechnerkonsole | 7 Digitalbandgerät |
| 2 PDP-11/23 Microcomputer | 8 Analogbandgerät |
| 3 MINC-Module der PDP-11/23 | 9 Eichgerät |
| 4 A/D-Wandler mit DMA | 10 Hochspannungsbedienung |
| 5 RL02 Platteneinheit (10 MBytes) | 11 Störmeldegerät |
| 6 Zeittaktgerät | |

Abb.8 Terminalraum

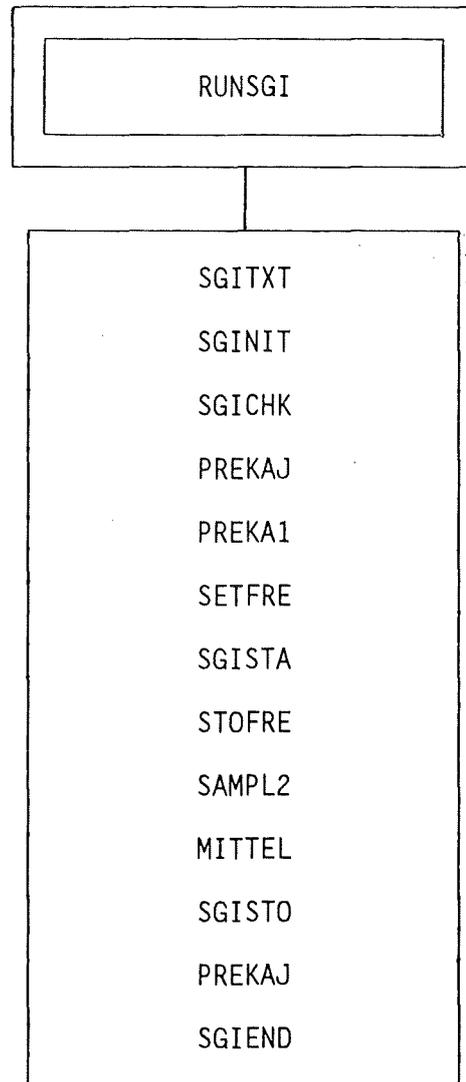


Abb.9 Steuerprogramm

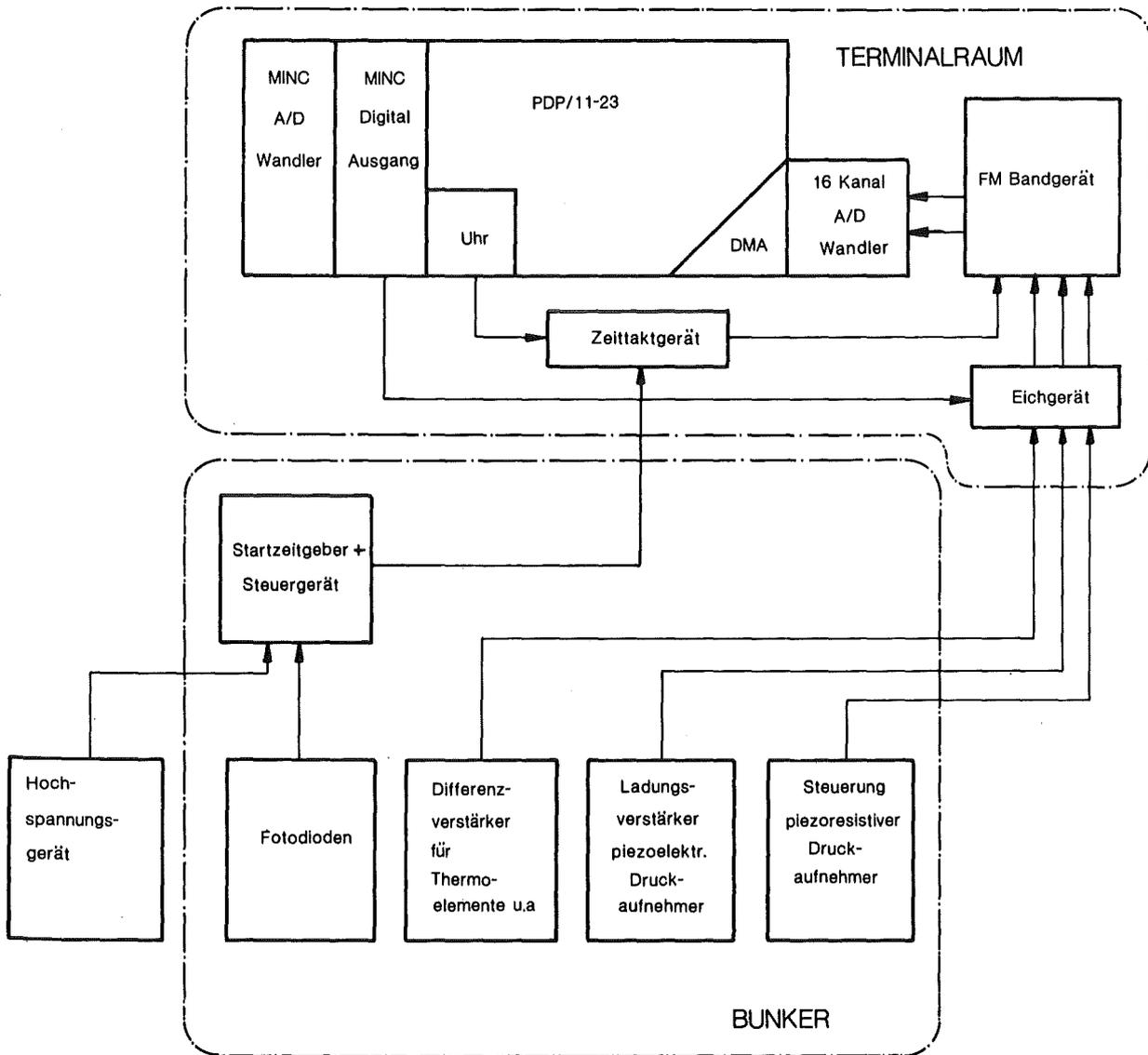
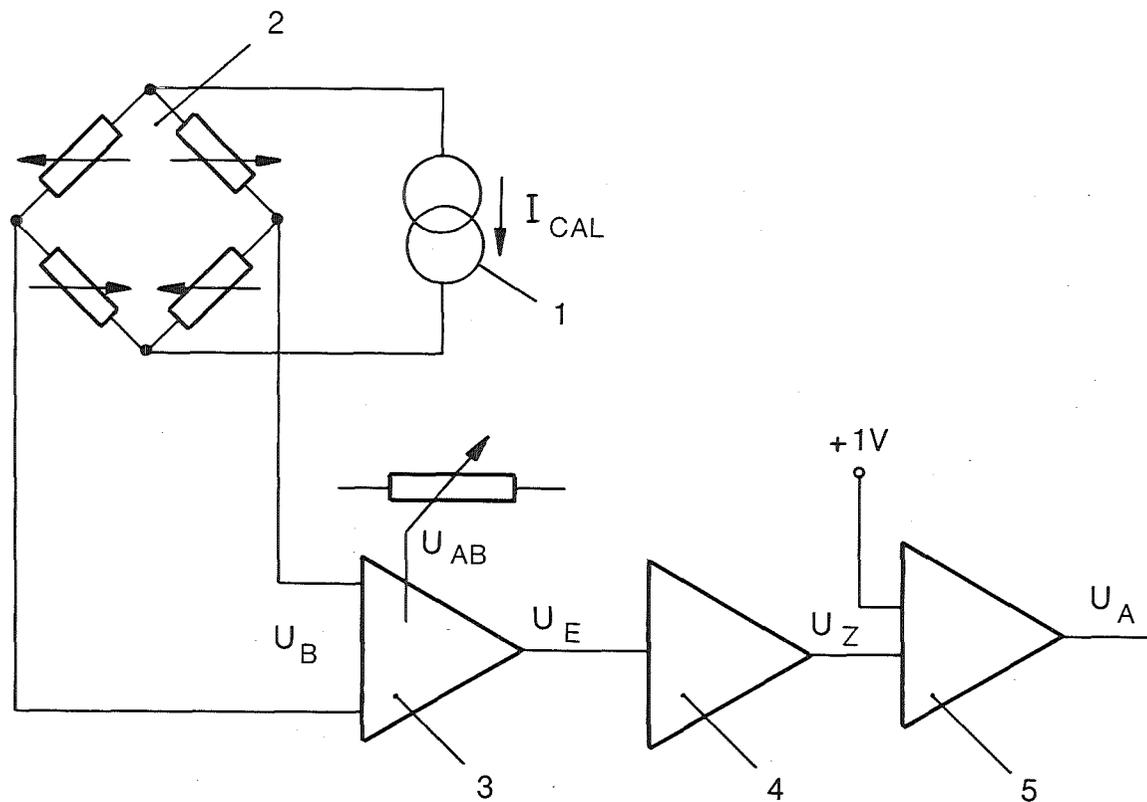


Abb. 10 Meßsignalleitungen



- 1 Konstantstromquelle
- 2 Messbrücke
- 3 linearer Verstärker mit Abgleich
- 4 logarithmischer Verstärker
- 5 1:1-Verstärker

Abb.11 Schaltbild der piezoresistiven Druckaufnehmer

Kennung	Type Kistler	Druck- bereich [MPa]	Empfind- lichkeit [10 ³ V/Pa]	Ausgangs- signal bei 0.1 MPa [mV]	Kalibrier- strom [mA]
PR	A50	5	10	-2.2	3.895
PR	A50	5	10	0.9	3.803
PS	A100	10	5	-6.8	4.086
PS	A100	10	5	-11.6	3.900
PS	A100	10	5	-0.4	3.732
PT	A200	20	2.5	-6.0	3.982
PT	A200	20	2.5	-0.5	4.260
PT	A200	20	2.5	-9.5	4.331
PT*	A200	20	2.5	7.6	4.669
PT*	A200	20	2.5	4.1	3.819
PT*	A200	20	2.5	-3.0	3.918
*) nur bei SGI 01-1 und SGI 01-2					

Abb.12 Liste der verwendeten piezoresistiven Druckaufnehmer

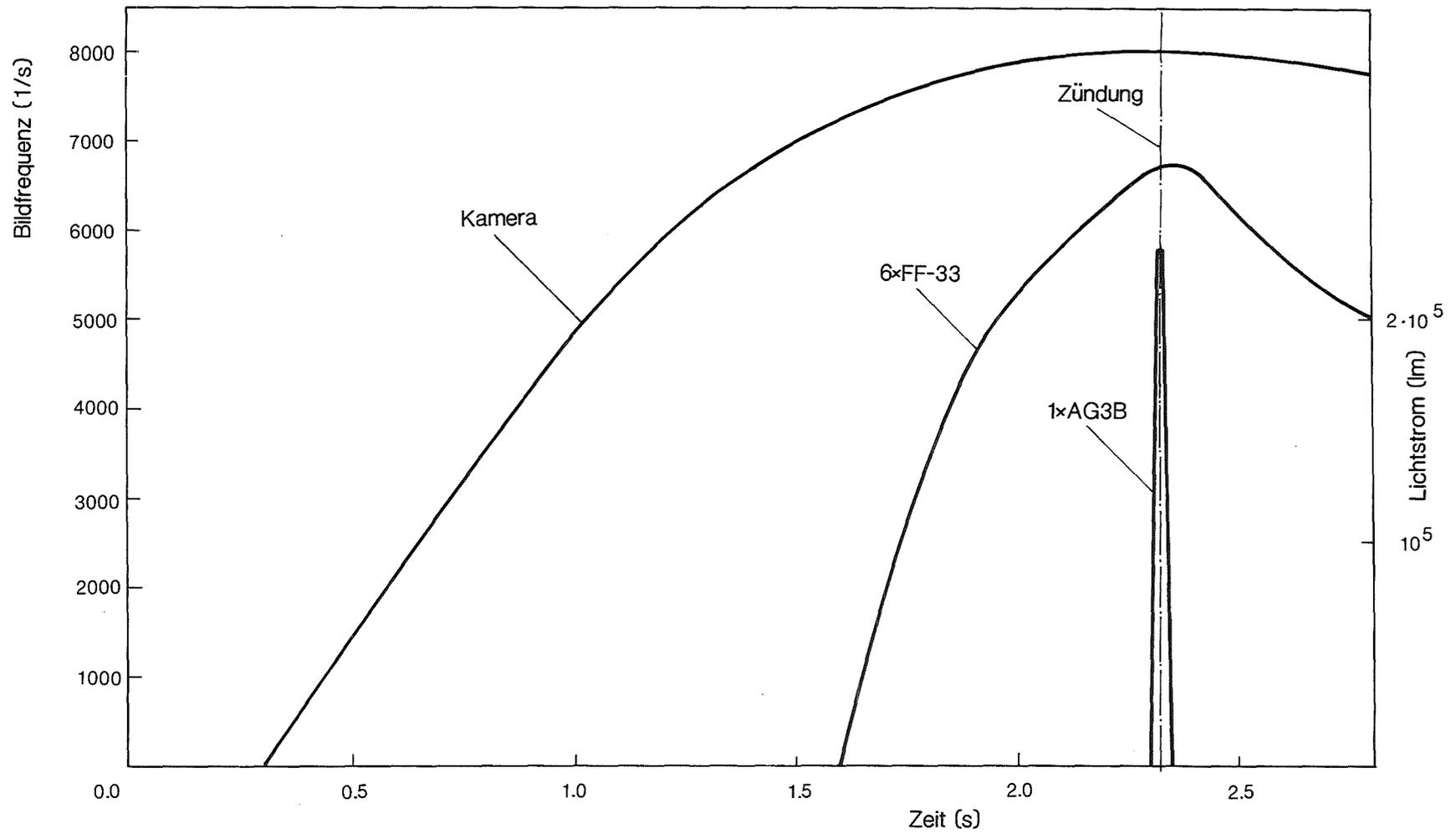


Abb.13 Zeitablauf von Kamera, Blitzlampen und Zündung

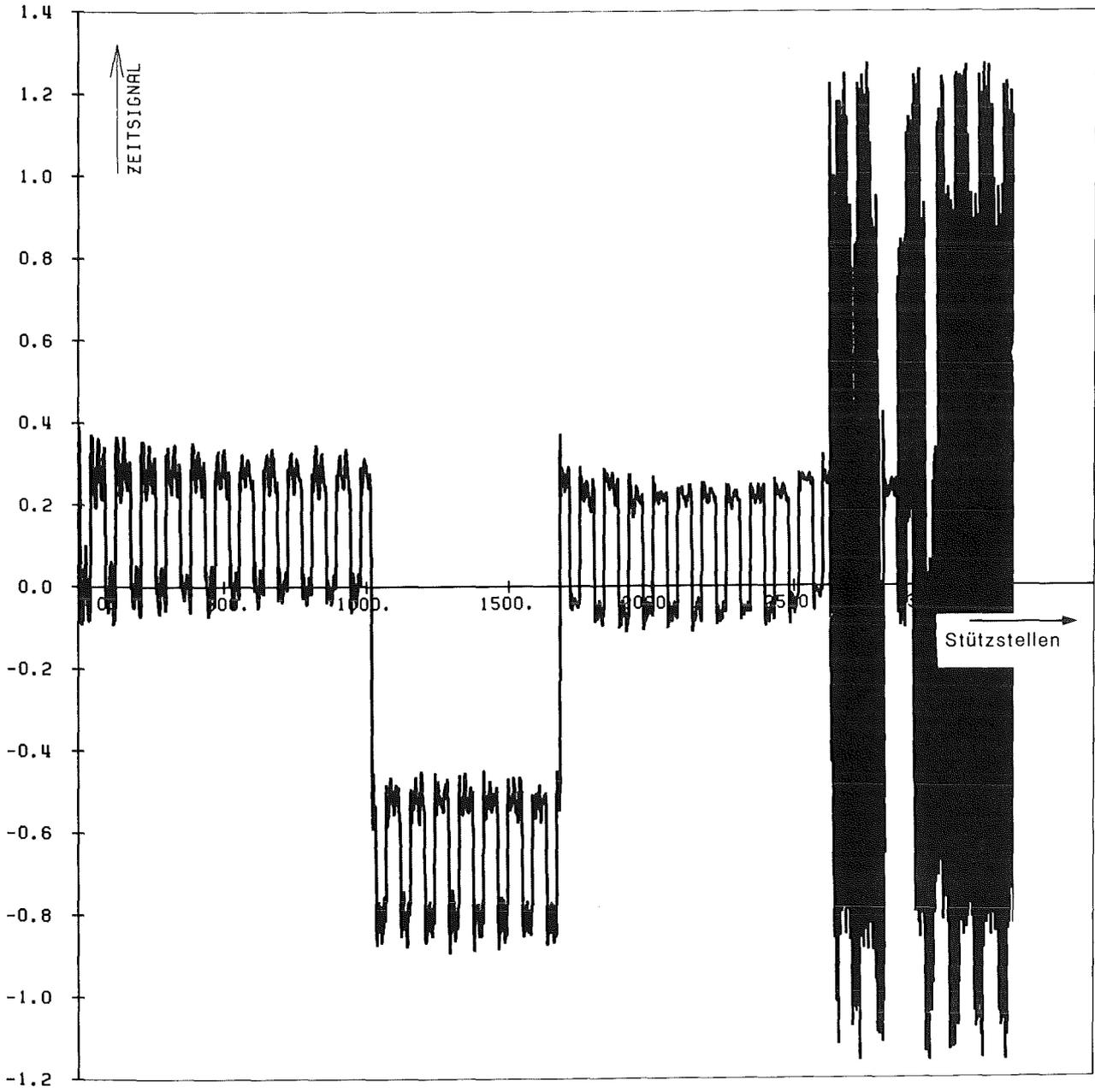


Abb. 14

SGI 03-1 3 TR

Referenzzeitsignal

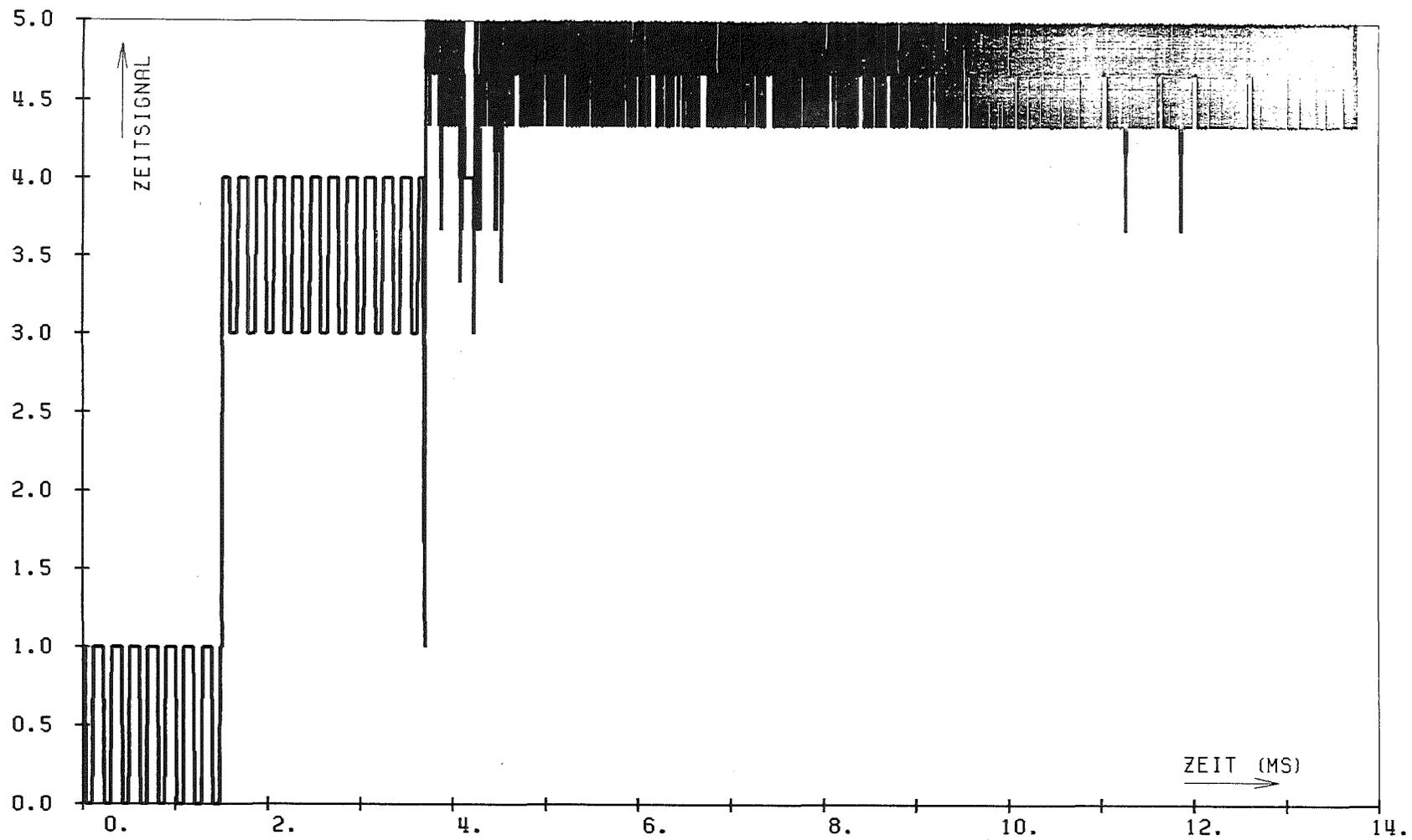


Abb. 15

SGI 03-1 3 TR

Diskretisiertes Zeitsignal

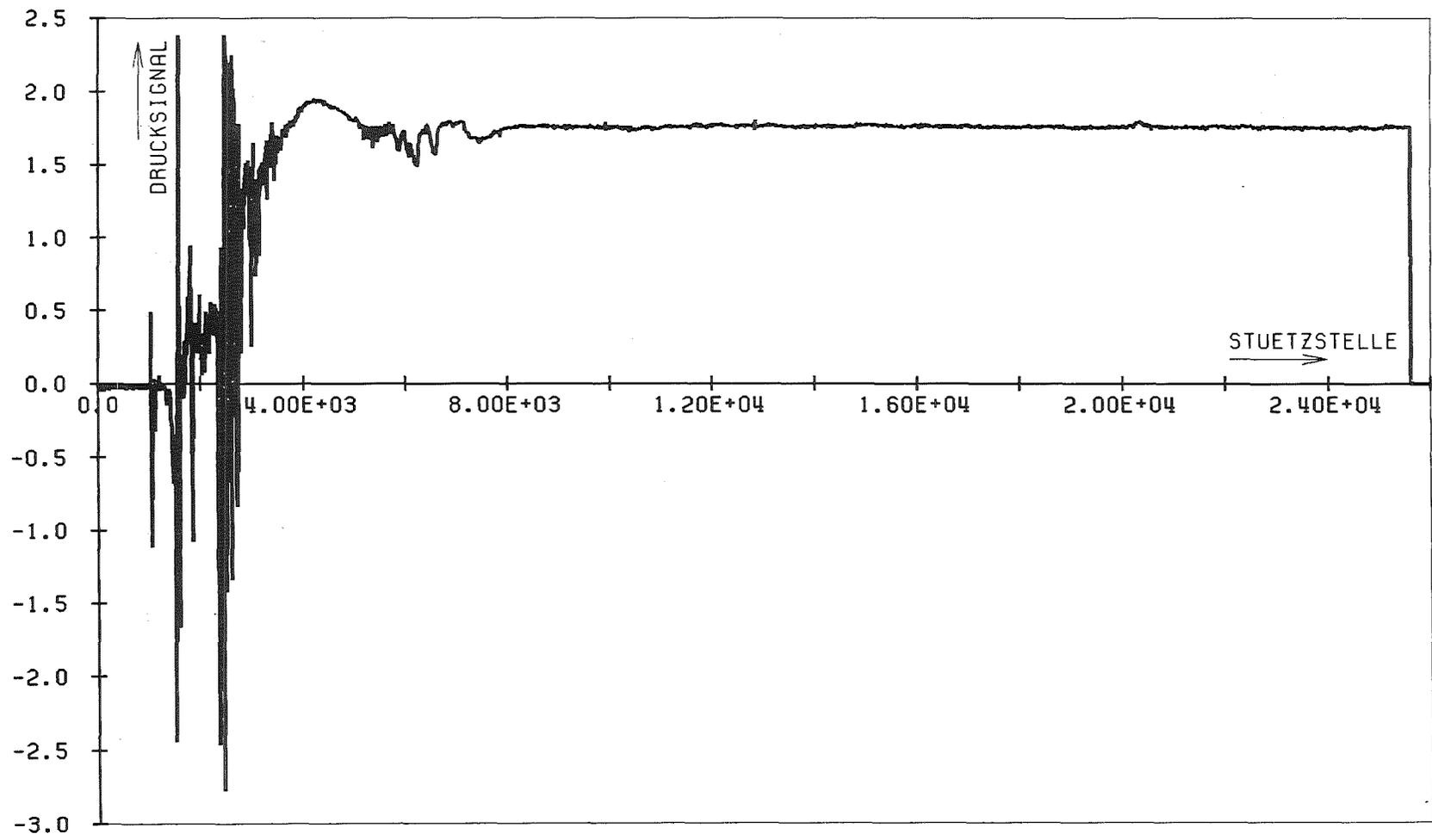


Abb. 16 SGI 03-1 3 TR Rohsignal Druckaufnehmer

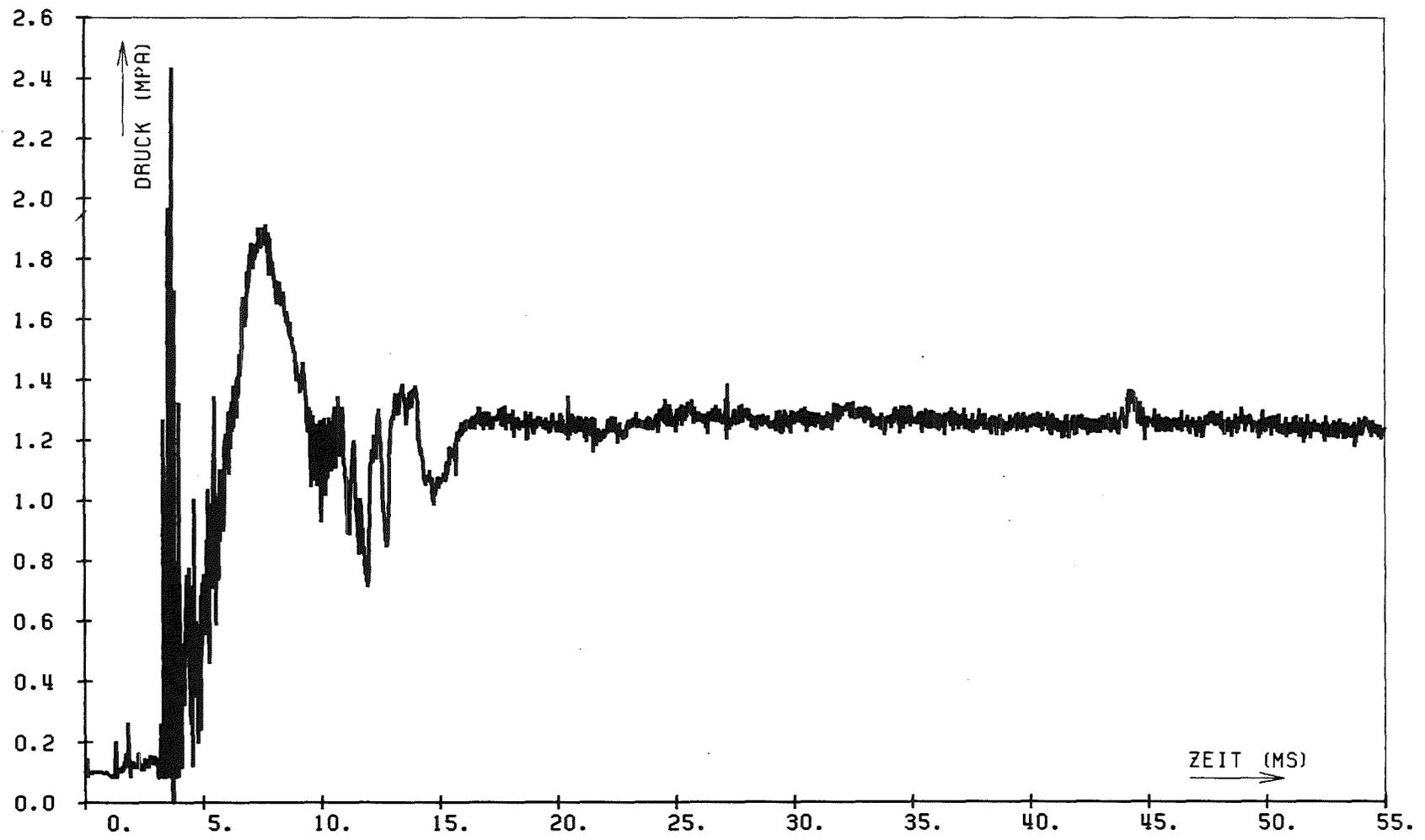


Abb. 17

SGI 03-1 3 TR

Fertigsignal Druckaufnehmer

Referenz- Druck [MPa]	1.098±0.012			2.105±0.012		
Druckauf- nehmer Nr.	Meßwert [MPa]	Abweichung vom Referenz- druck %	Gesamt- fehler des Meßwert %	Meßwert [MPa]	Abweichung vom Referenz- druck %	Gesamt- fehler des Meßwerts %
1	1.128	-2.73	4.2	2.137	1.520	4.7
2	1.119	-1.91	5.3	2.143	1.805	5.7
3	1.098	0,0	4.3	2.120	0.712	4.8
5	1.123	-2.27	4.4	2.140	1.662	4.8
6	1.102	-0.36	5.3	2.100	0.237	5.4
7	1.117	-1.73	4.5	2.130	1.187	4.8
8	1.117	-1.73	4.7	2.139	1.615	5.0

Abb.18 Kalibriermessung der piezoresistiven Druckaufnehmer

Nr.	UCS	Tauch- platte	UIS	Wasser- spiegel [cm]	Deckel- höhe [cm]	Core- volumen [cm ³]	Anf.- druck Core [MPa]	Anf.- temp. [°C]	2D/ 3D	P- resistiv	P- elek- trisch	Thermo- element	Zwei- phasen- sonde	Film	Film- frequ. [s ⁻¹]
01-1	-	-	-	22.72	31.91	11307	2.24	25.0	3D	8	-	Core	-	S/W	8790
01-2	-	-	-	22.72	31.91	11307	2.24	17.8	3D	7	2	Core	-	F	Filmriß
01-3	-	-	-	22.72	31.91	11307	2.24	17.0	3D	7	2	Core	-	F	8240
02-1	x	-	-	22.70	31.91	11307	2.24	19.6	3D	8	-	Core	-	F	8130
02-2	x	-	-	22.70	31.91	11307	2.24	21.3	3D	8	-	-	-	F	7860
03-1	x	x	-	22.70	31.91	11307	2.24	19.8	3D	8	-	-	-	F	8040
03-2	x	x	-	18.71	31.91	11307	2.24	20.0	3D	8	-	-	-	F	8450
04-1	-	-	-	22.72	31.91	10950	1.10	19.1	2D	-	-	-	-	F	7430
04-2	-	-	-	22.72	31.91	10950	1.10	19.5	2D	-	-	-	x	F	7380
05-1	-	-	-	22.72	31.91	10950	1.10	19.5	2D	-	-	Schutz- gas	x	F	7640

Abb.19 Liste der ausgeführten Tests

SGI	Kanal-Nummer											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
01-1	PR-0E*	PR-1B#	PS-2F	PS-3F	PS-4D	PT-5A	PT-6A	PT-7A	TE-0G#	Zeit	-	-
01-2	PR-0E	PR-1B	PS-2F	-	PS-4D	PT-5A#	PT-6A	PT-7A	TE-0G#	Zeit	PE-9H	PE-8H
01-3	PR-0E	PR-1B	-	PS-3F	PS-4D	PT-5A	PT-6A	PT-7A	TE-0G#	Zeit	PE-9H	PE-8H
02-1	PR-0E	PR-1B	PS-2F	PS-3F	PS-4D	PT-5A#	PT-6A	PT-7A	TE-0G#	Zeit	-	-
02-2	PR-0E	PR-1B	PS-2F	PS-3F	PS-4D	PT-5A	PT-6A	PT-7A	-	Zeit	-	-
03-1	PR-0E	PR-1B	PS-2F	PS-3F	PS-4D	PT-5A	PT-6A	PT-7A	-	Zeit	-	-
03-2	PR-0E	PR-1B	PS-2F	PS-3F	PS-4D	PT-5A	PT-6A	PT-7A	-	Zeit	-	-
04-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Zeit	-	-
04-2	-	-	-	-	-	-	-	-	SW-3K#	Zeit	-	-
05-1	-	-	-	-	-	-	-	-	SW-3K#	Zeit	-	-

*) erster Wert : Art

#) unergiebig oder Versagen des Meßwertaufnehmers

PR, PS, PT=piezoresistiv (siehe Abb.12)

PE=piezoelektrisch

TE=Thermoelement

SW=Zweiphasensonde

zweiter Wert : Lage(s.Kap.4,Abb.5,6)

Abb.20 Lage und Art der Meßwertaufnehmer

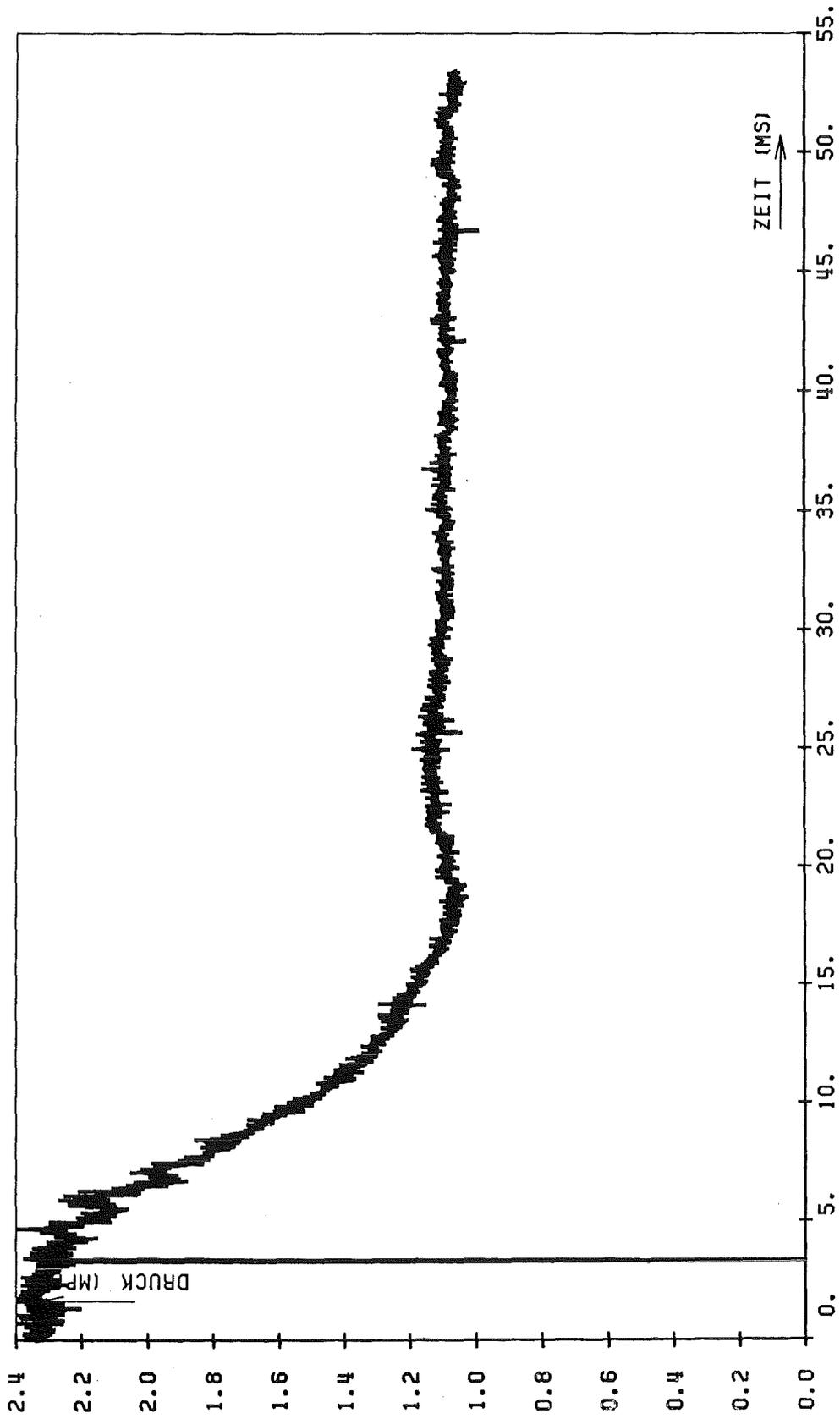


Abb.21 SGI 01-1 1 TR

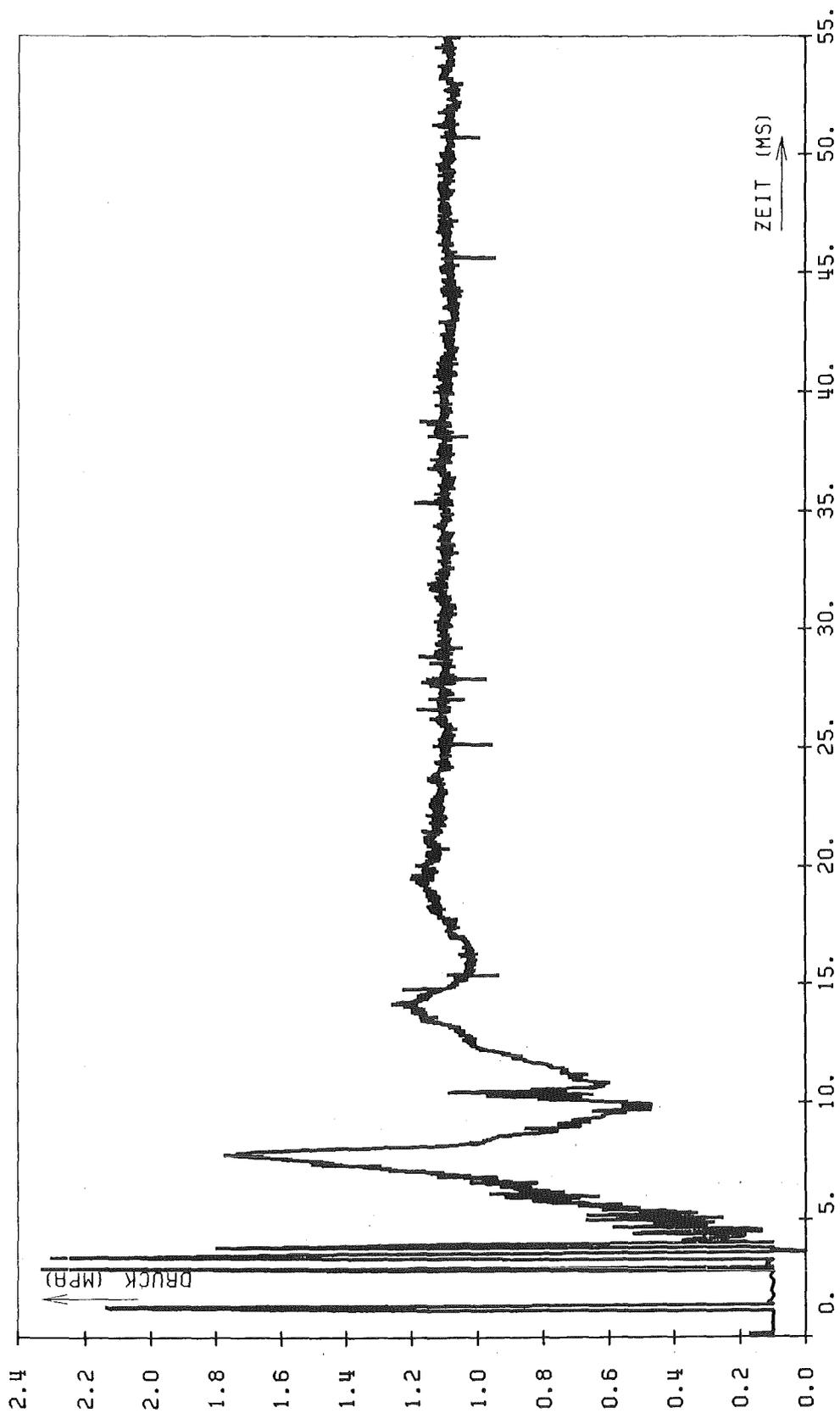


Abb.22 SGI 01-1 3 TR

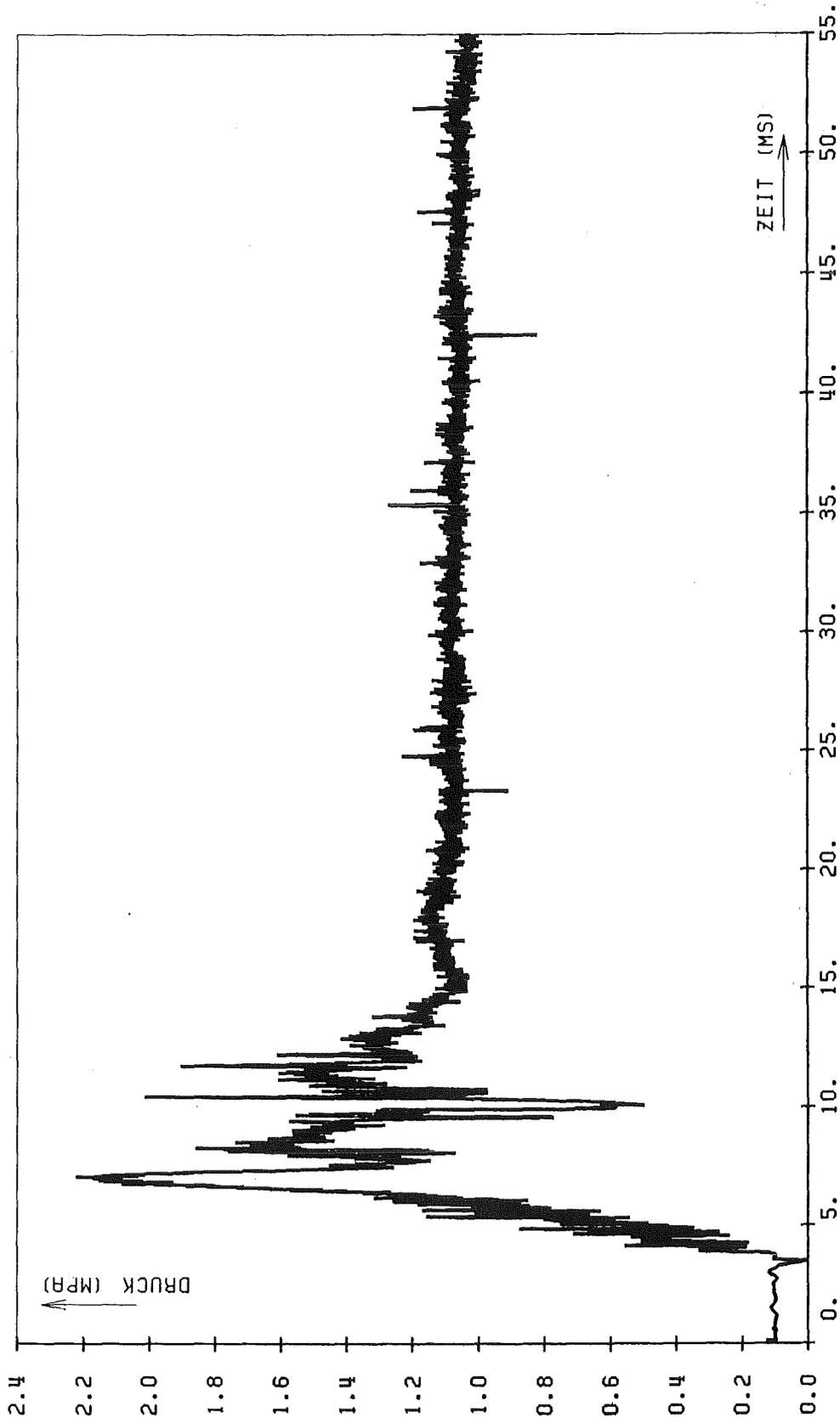


Abb.23 SGI 01-1 4 TR

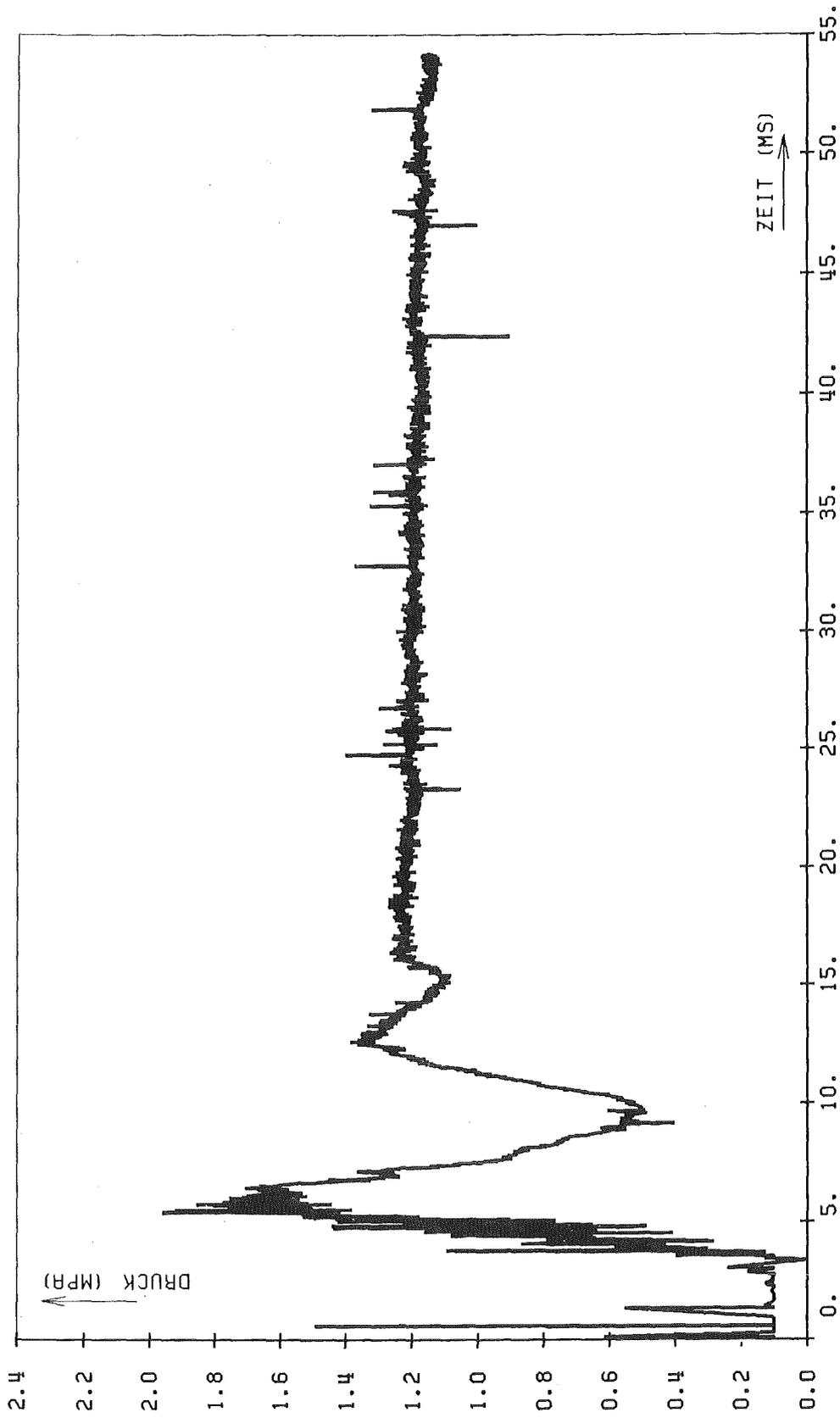


Abb.24 SGI 01-1 5 TR

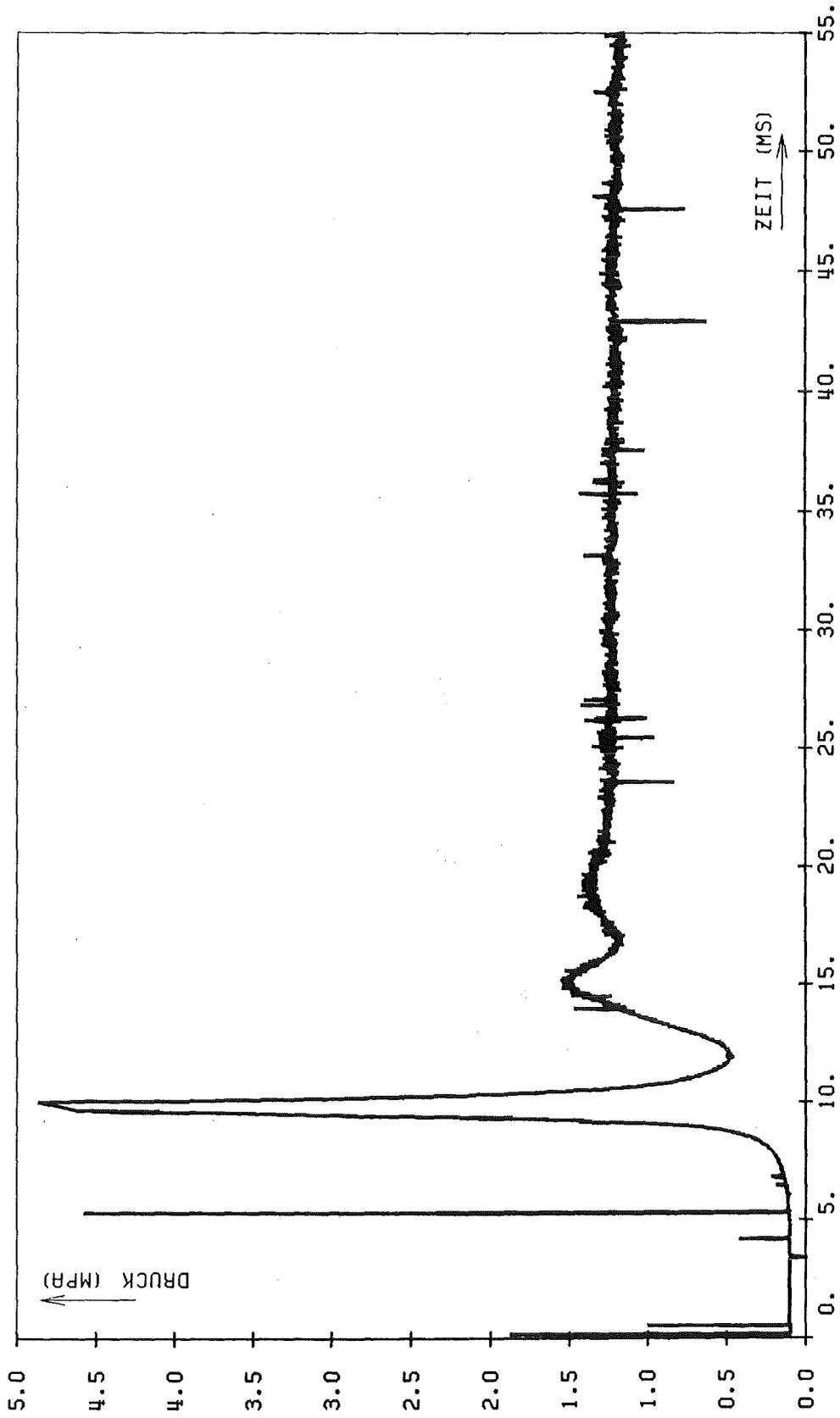


Abb.25 SGI 01-1 6 TR

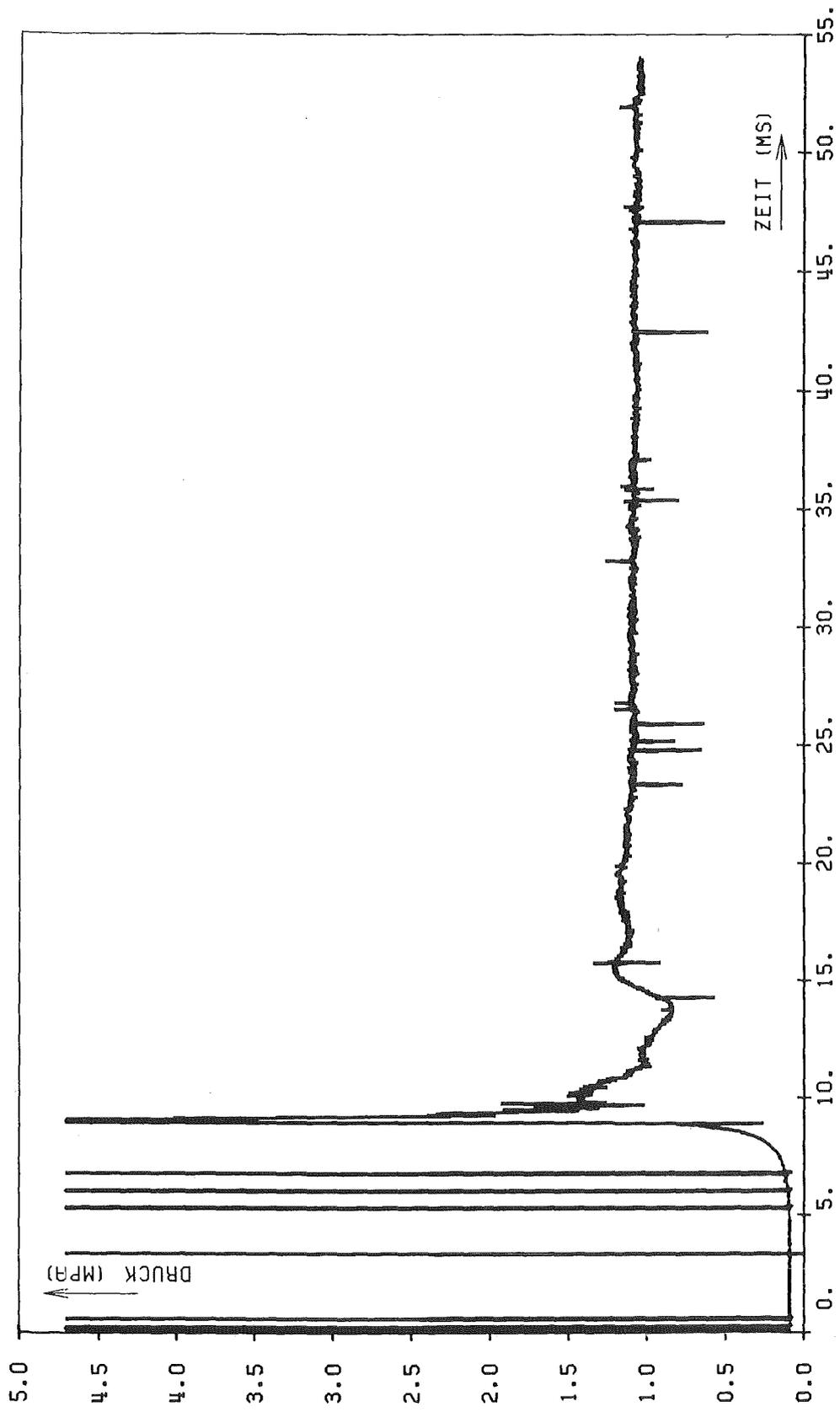


Abb.26 SGI 01-1-1 7 TR

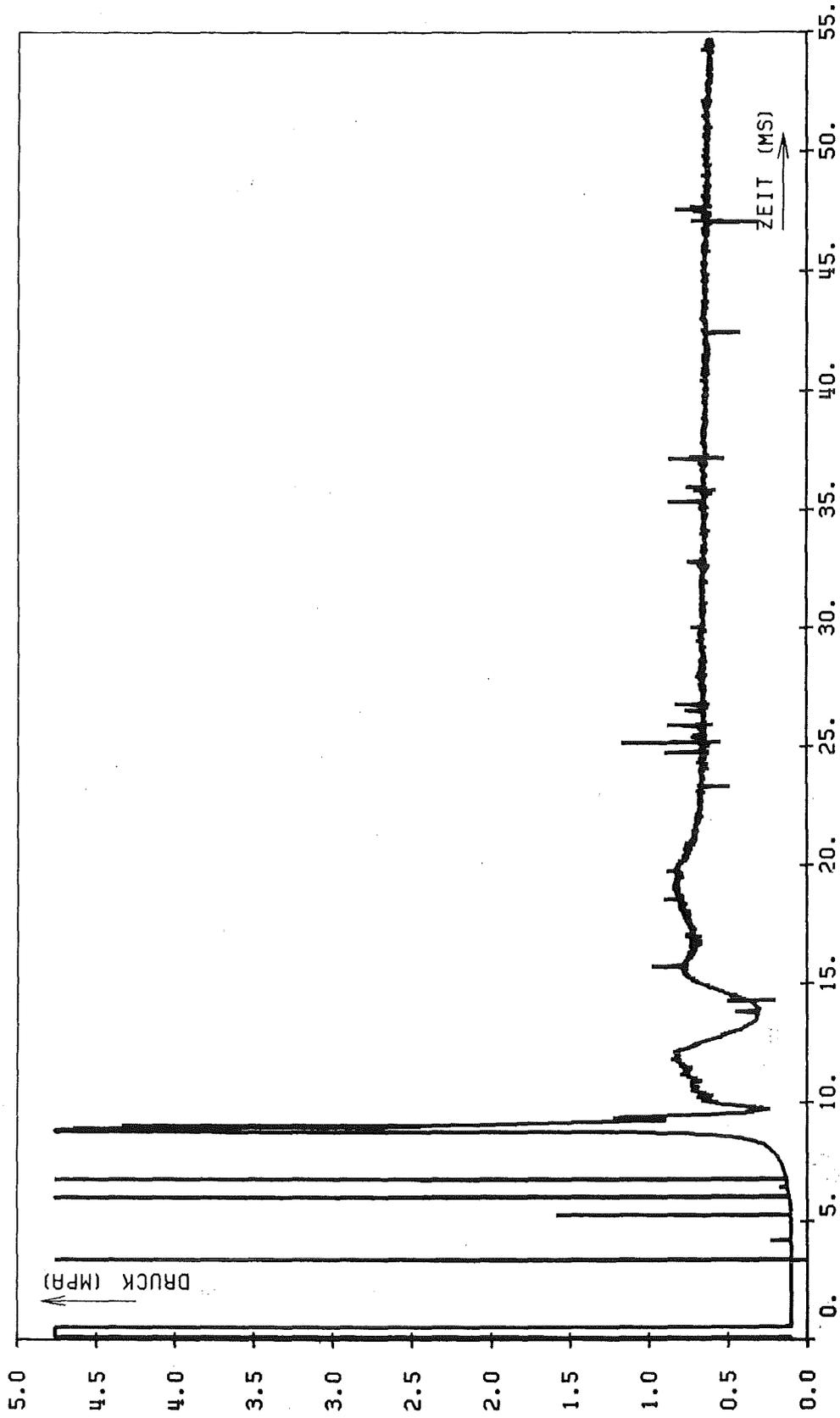


Abb.27 SGI 01-1.8 TR

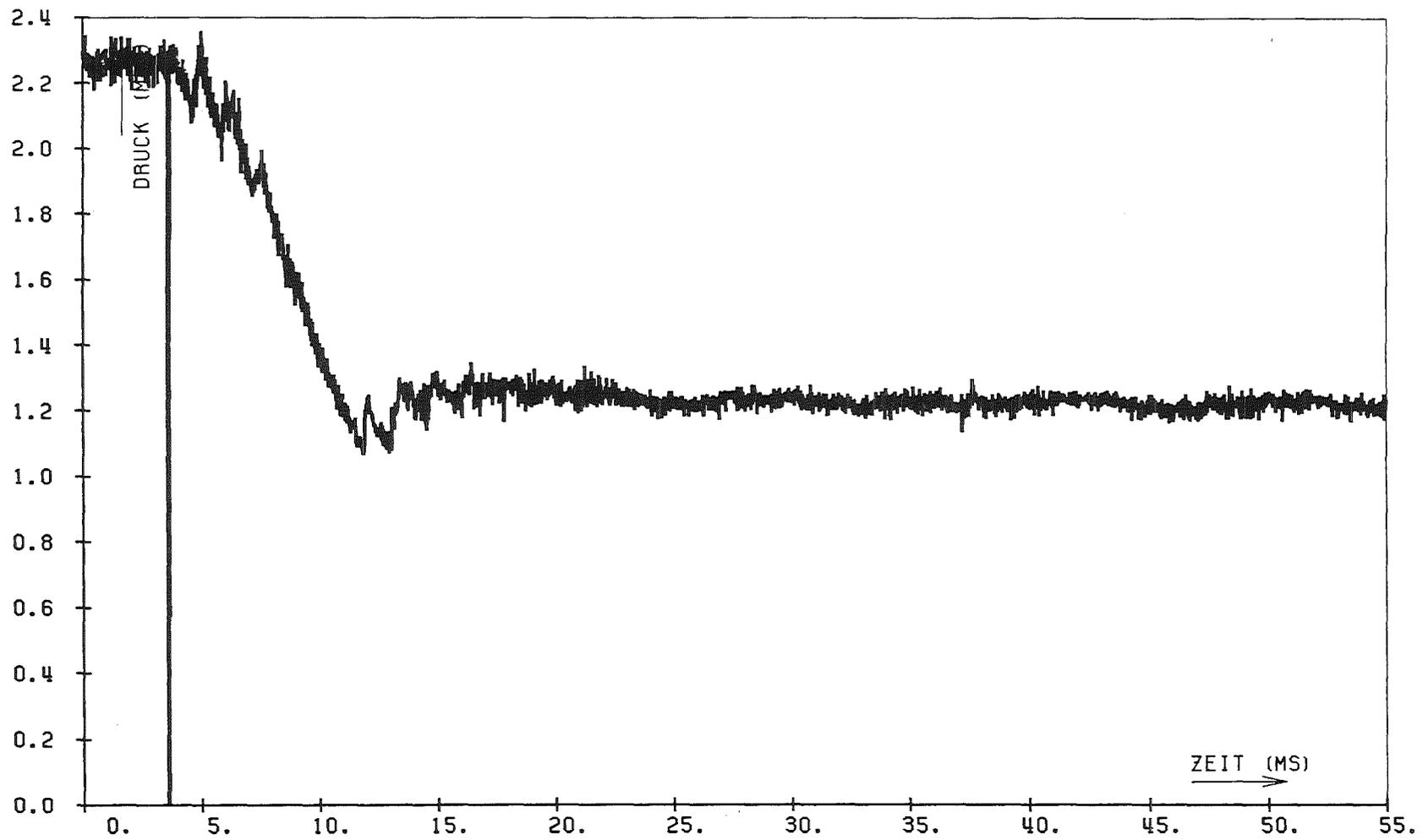


Abb.28

SGI 01-2 1 TR

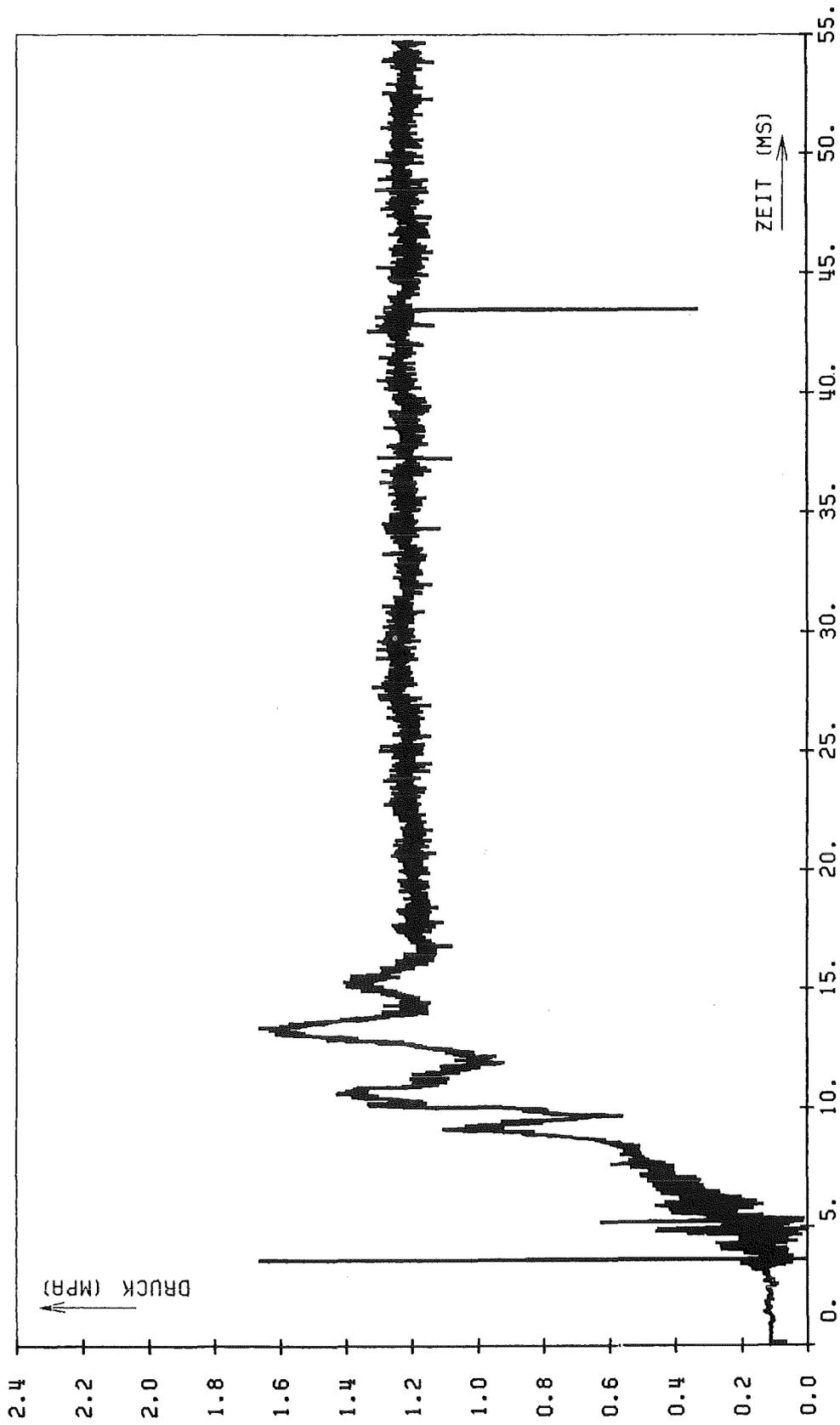


Abb.29 SGI 01-2 2 TR

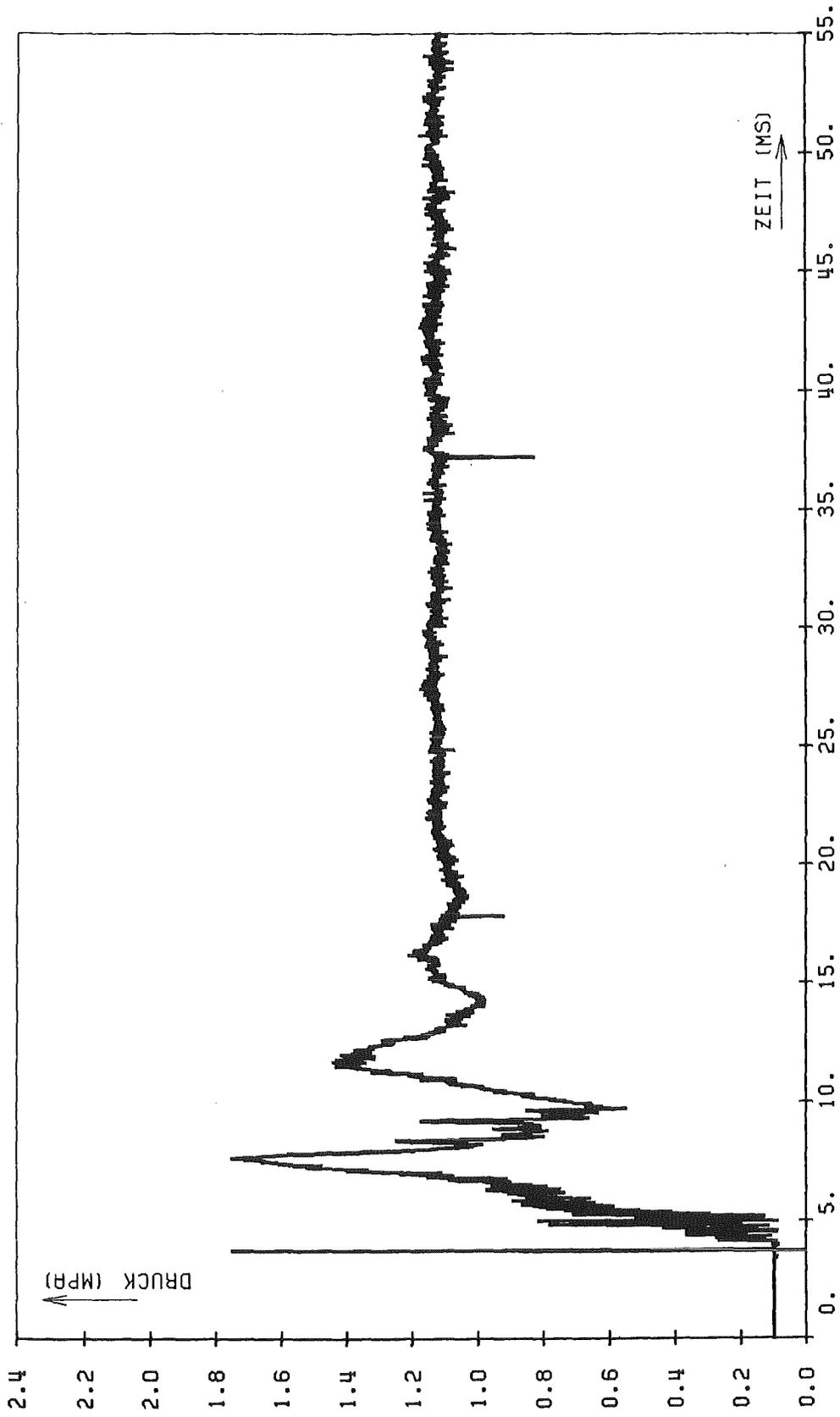


Abb.30 SGI 01-2 3 TR

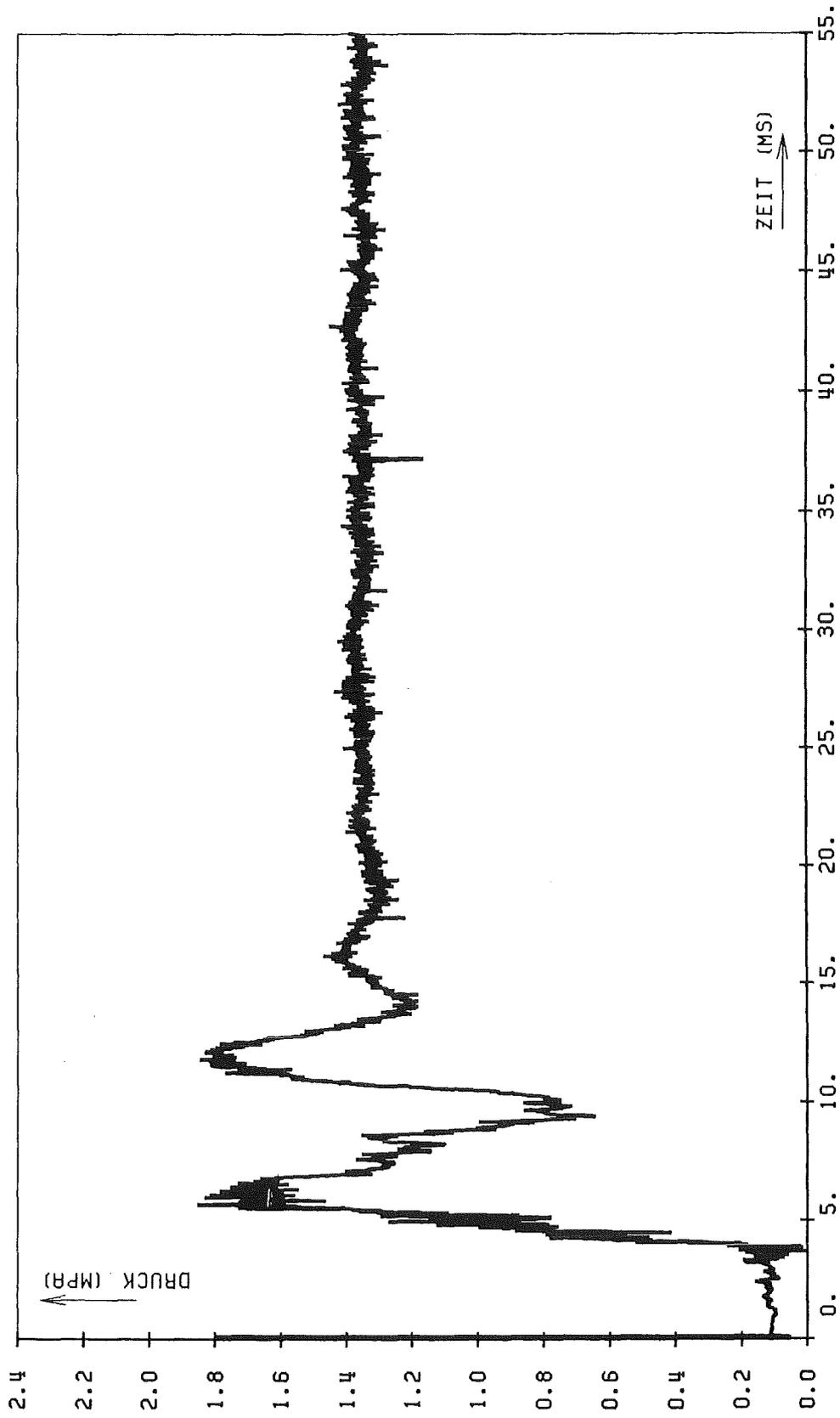


Abb.31 SGI 01-2 5 TR

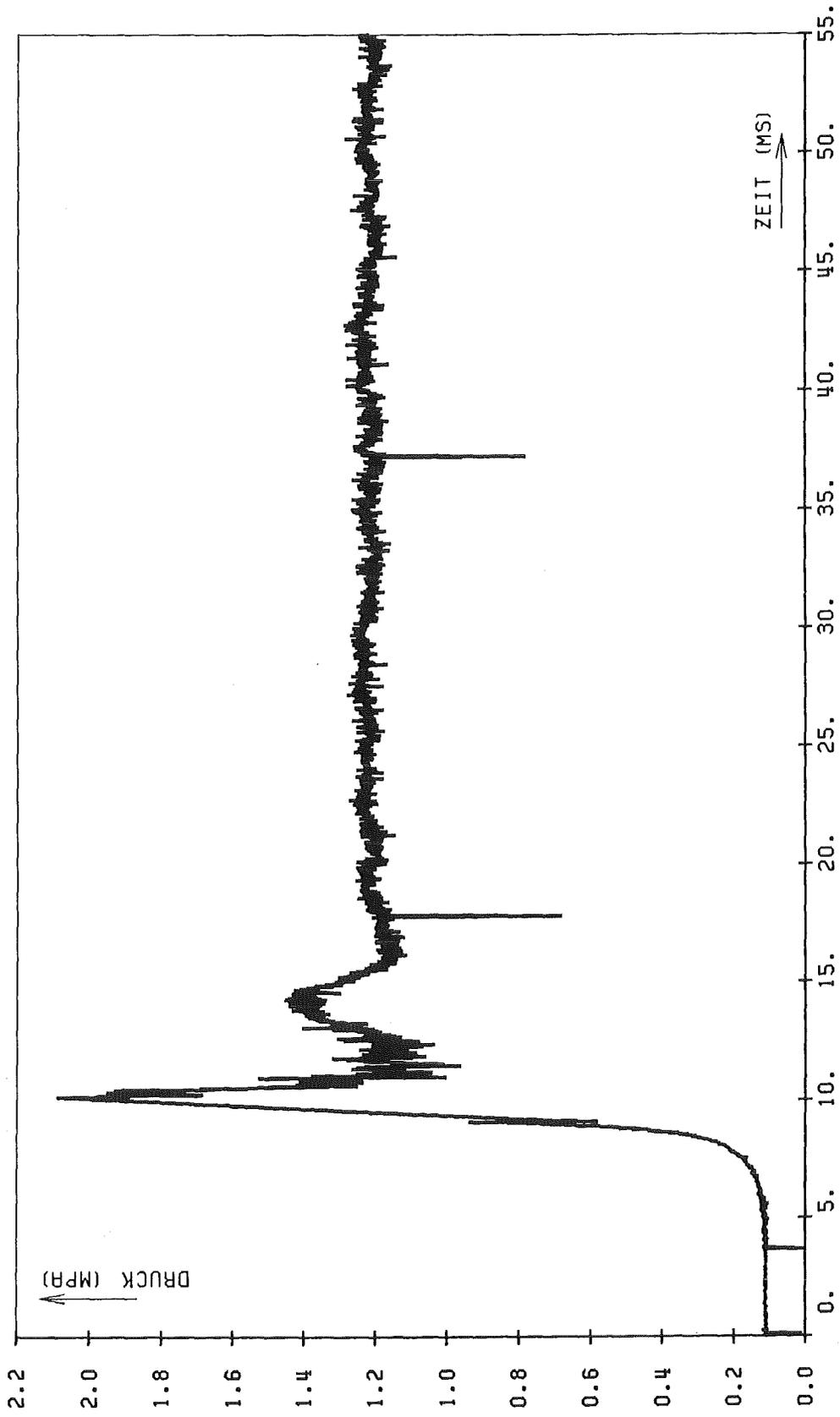


Abb.32 SGI 01-2 7 TR

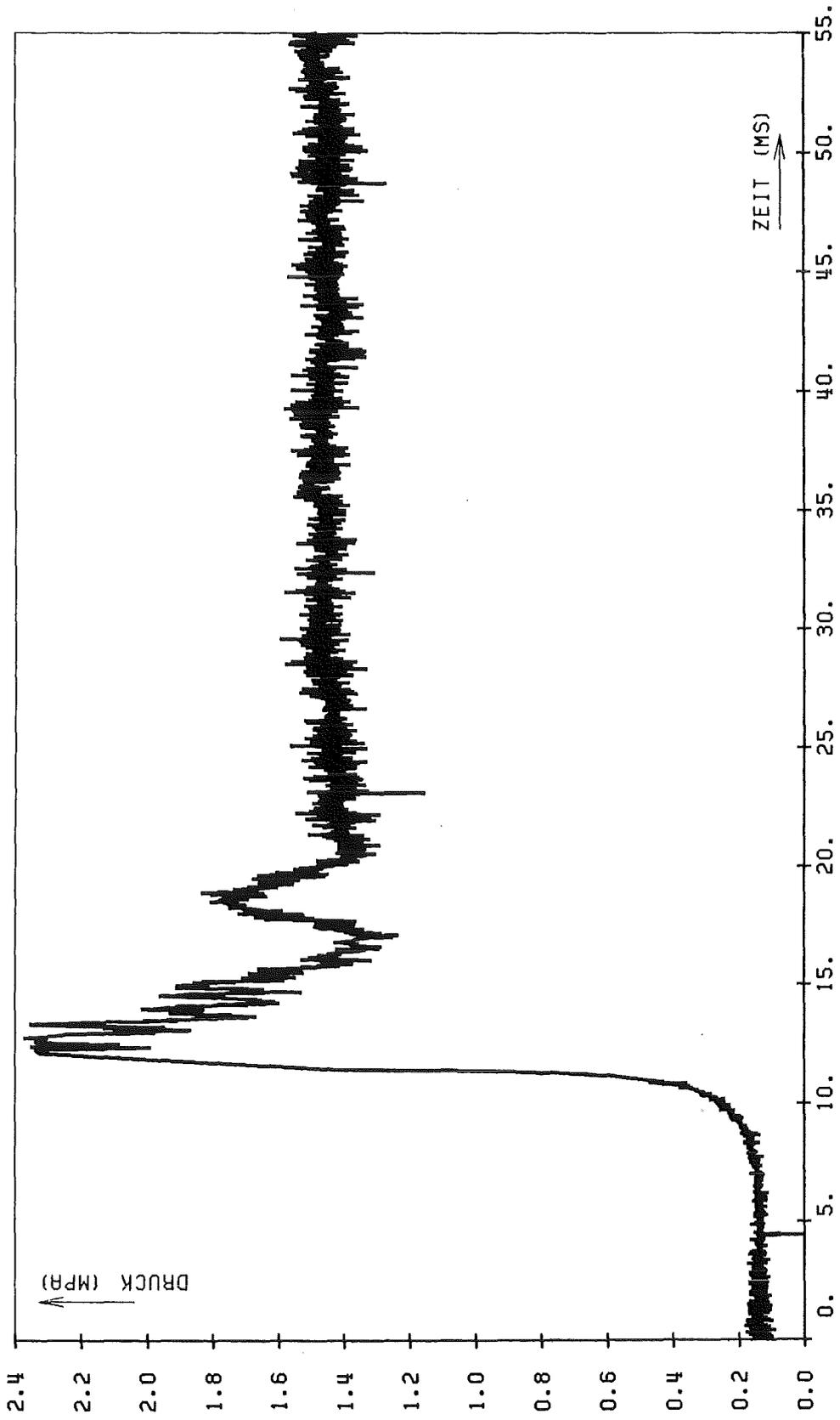


Abb.33 SGI 01-2 8 TR

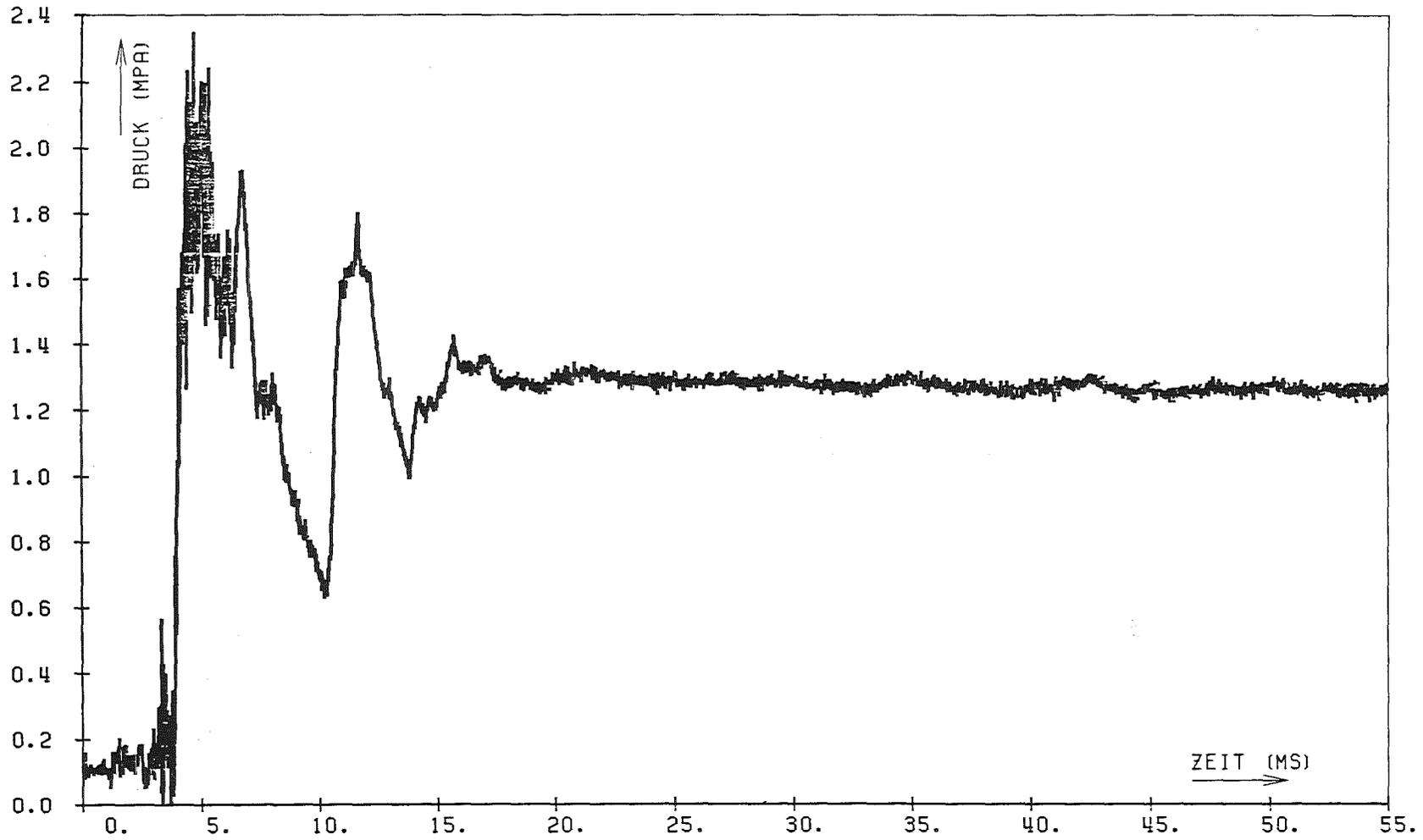


Abb.34 SGI 01-2 11 TR

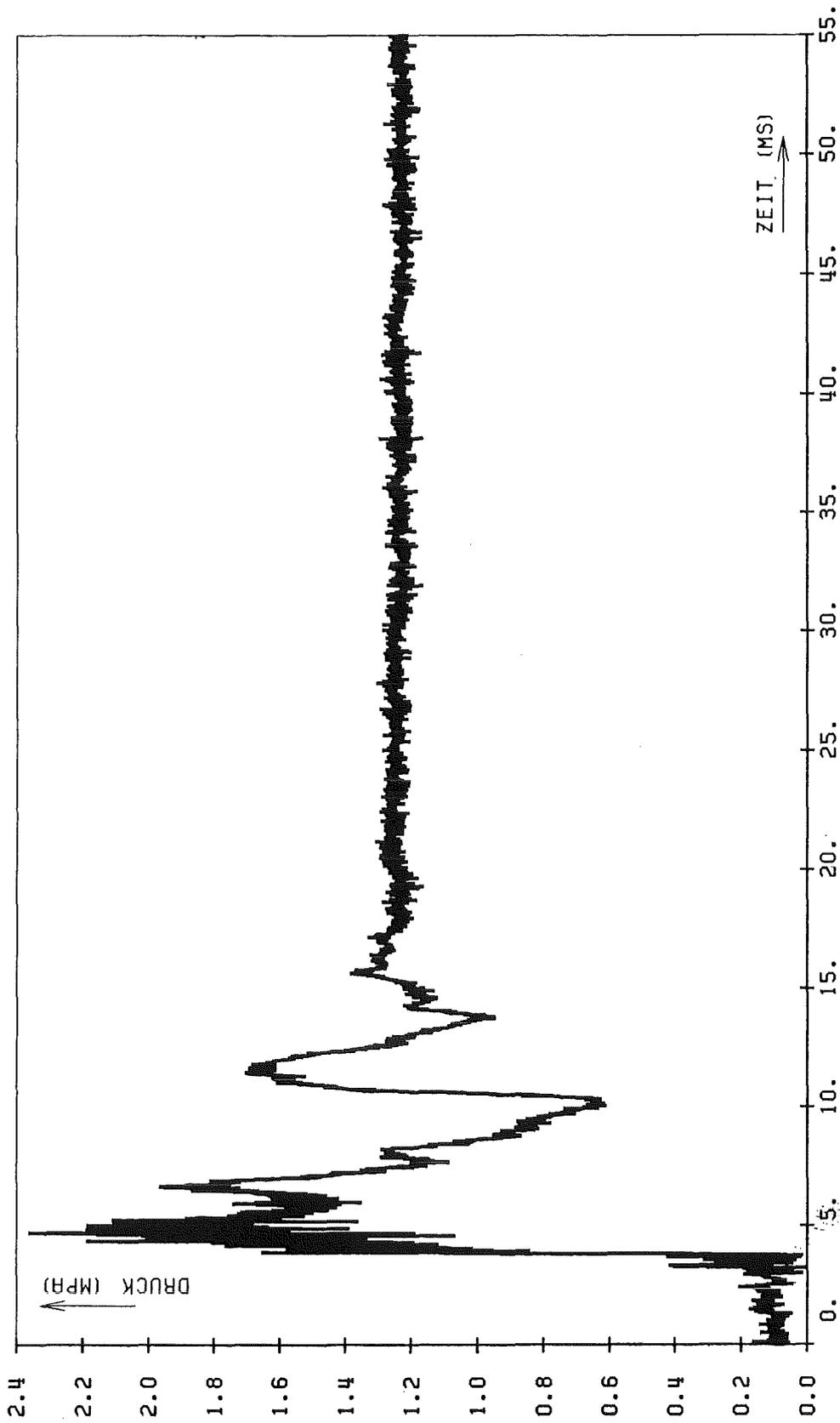


Abb. 35 SGI 01-2 12 TR

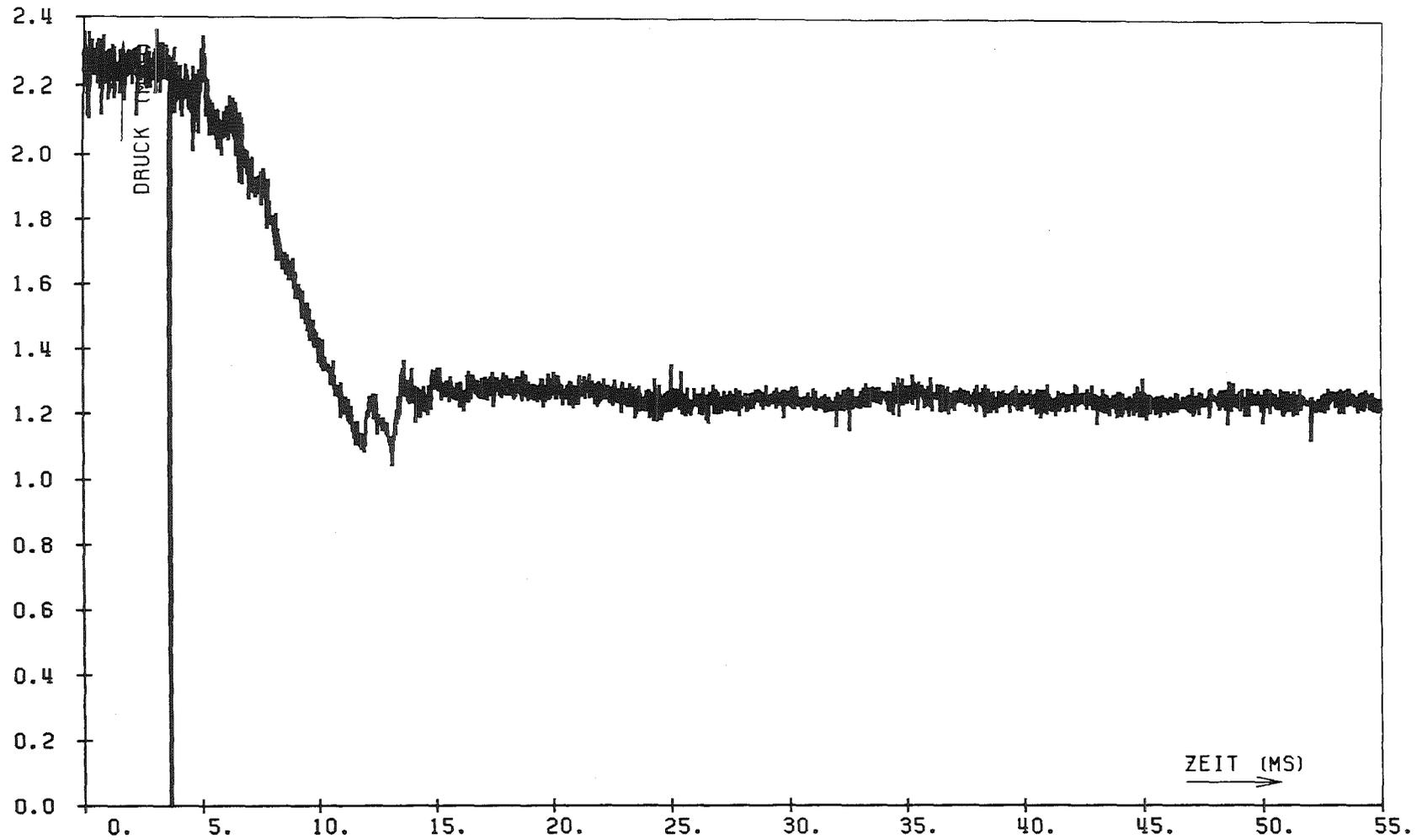


Abb.36 SGI 01-3 1 TR

SIGNAL FUER OV:	-0.03572 +/-	0.00783	KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER 3V:	2.98090 +/-	0.01129	KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	0.0 +/-	0.01011	KORRIGIERT:	0.0 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.55508 +/-	0.01191	KORRIGIERT:	2.58168 +/- 0.03620
LINEARE KORREKTUR:	(0.03560 +/-	0.00803)	+	(0.99648 +/- 0.00631) * X
LOG-VERSTAERKER-BASIS:	0.99926 +/-	0.00753		
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.24217 +/-	0.04813	(+/- 3.87507 PROZENT)	MPA

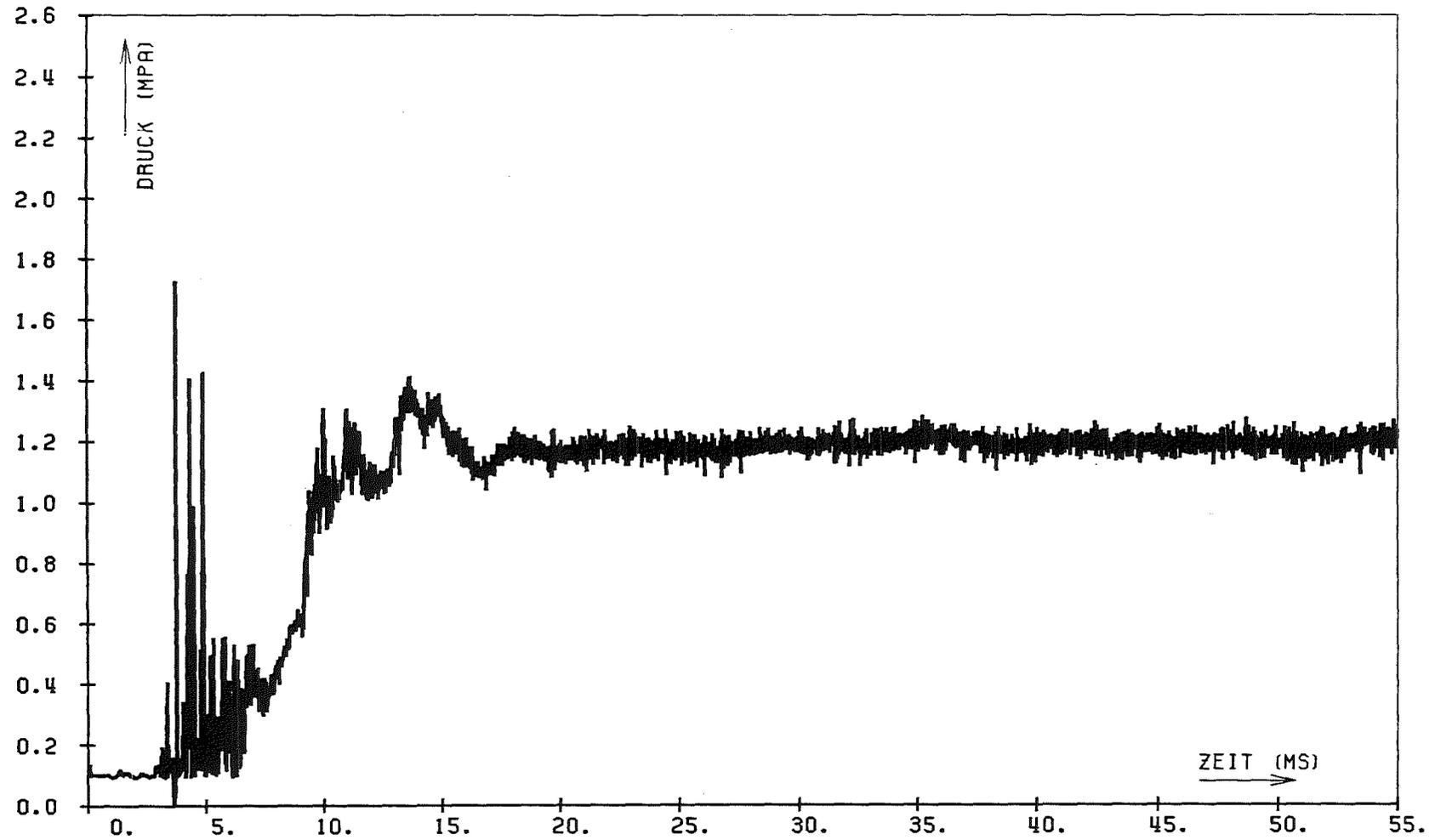


Abb.37 SGI 01-3 2 TR

SIGNAL FUER 0V:	-0.05182 +/- 0.01095	KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER 3V:	2.96507 +/- 0.01669	KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	-0.06675 +/- 0.01966	KORRIGIERT:	-0.06675 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.51850 +/- 0.02121	KORRIGIERT:	2.56104 +/- 0.05590
LINEARE KORREKTUR:	(0.05163 +/- 0.01139)	+	(0.99639 +/- 0.00913) * X
LOG-VERSTAERKER-BASIS:	0.99525 +/- 0.01352		
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.20555 +/- 0.08060	(+/- 6.68550 PROZENT)	

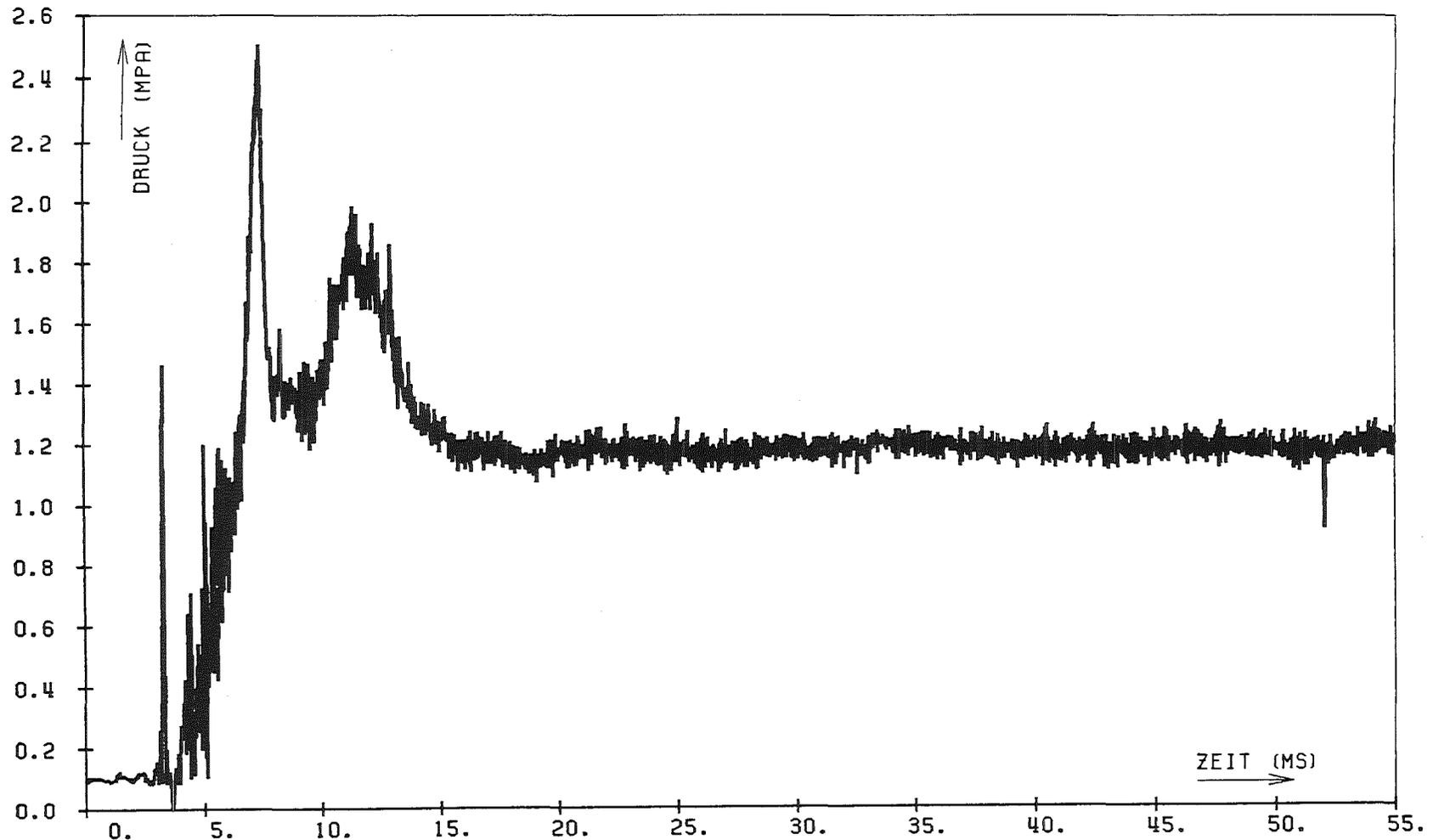


Abb.38 SGI 01-3 4 TR

SIGNAL FUER OV:	-0.03599 +/- 0.01311	KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER 3V:	2.98023 +/- 0.01455	KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	-0.05808 +/- 0.01646	KORRIGIERT:	-0.05808 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.55954 +/- 0.01287	KORRIGIERT:	2.58674 +/- 0.04986
LINEARE KORREKTUR:	(0.03587 +/- 0.01339)	+	(0.99661 +/- 0.00914) * X
LOG-VERSTAERKER-BASIS:	0.99215 +/- 0.00805		
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE:	1.19850 +/- 0.07610	(+/- 6.34985 PROZENT)	:

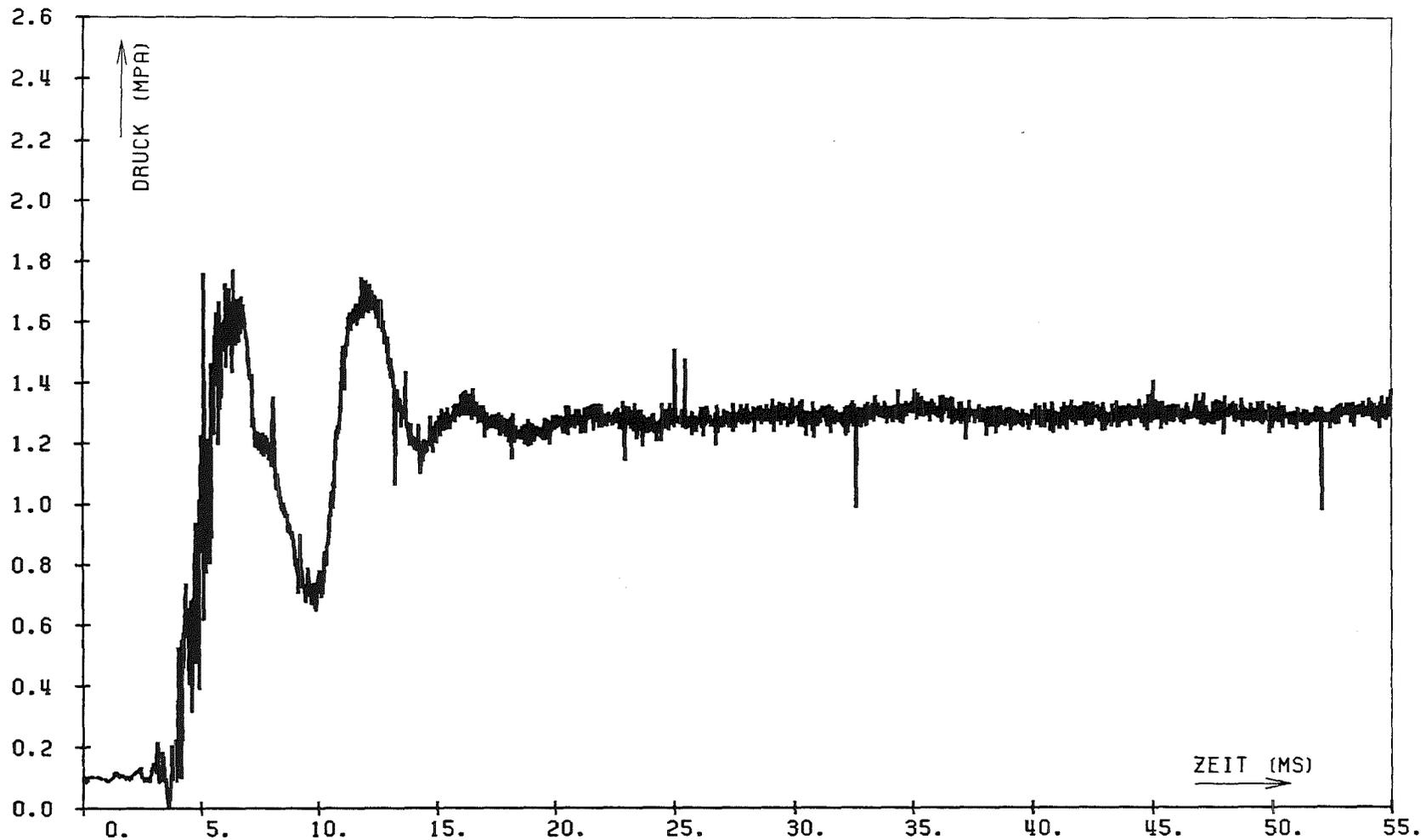


Abb.39 SGI 01-3 5 TR

SIGNAL FUER DV:	-0.04414 +/- 0.00763	KORRIGIERT:	0.00000
SIGNAL FUER 3V:	2.96469 +/- 0.01017	KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	-0.03870 +/- 0.01304	KORRIGIERT:	-0.03870 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.42457 +/- 0.00995	KORRIGIERT:	2.46639 +/- 0.03240
LINEARE KORREKTUR:	(0.04410 +/- 0.00788)	+	(0.99906 +/- 0.00591) * X
LOG-VERSTAERKER-BASIS:	0.93551 +/- 0.00635		
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.30611 +/- 0.06457	(+/-	4.94399 PROZENT)

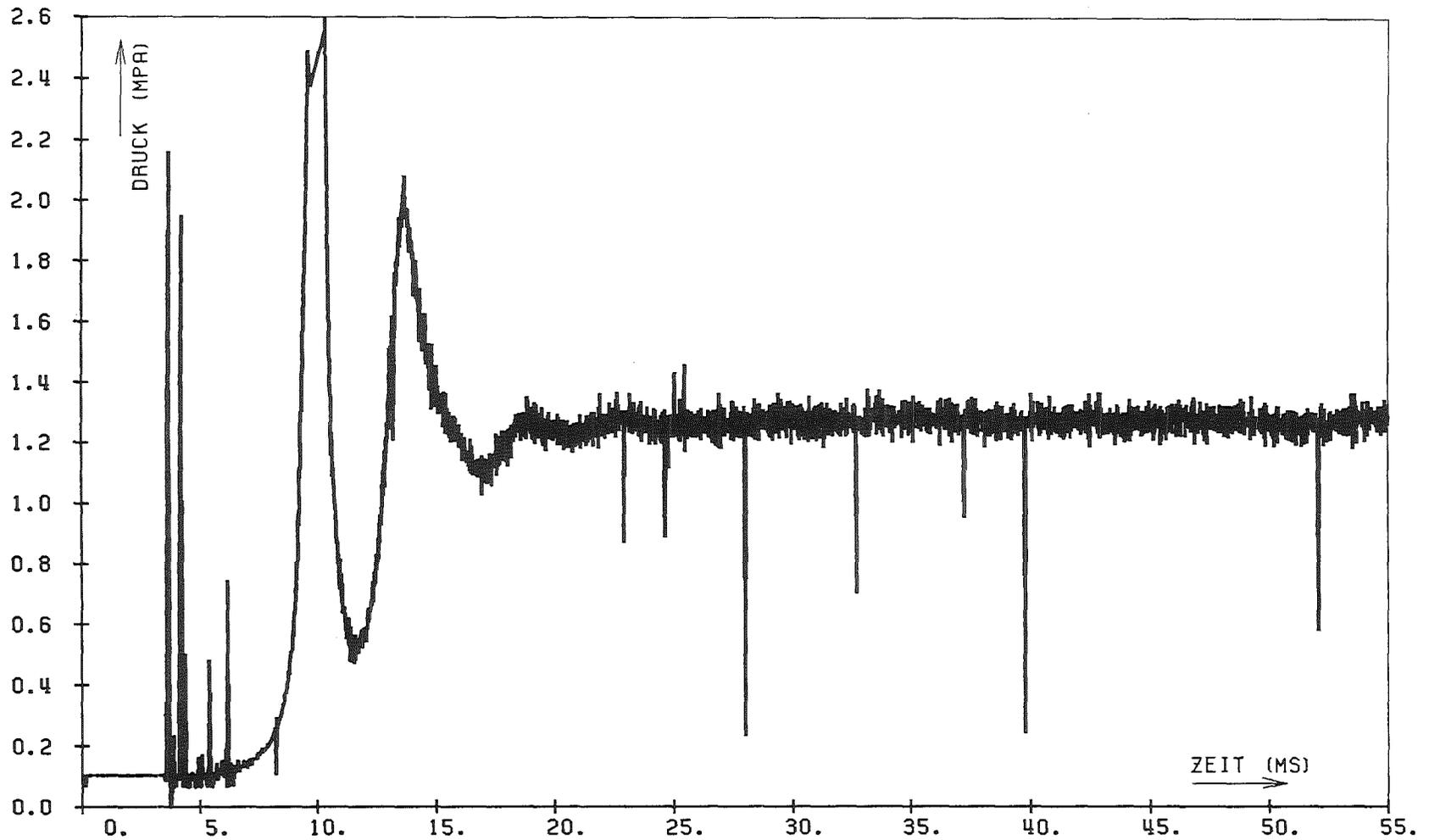


Abb.40 SGI 01-3 6 TR

SIGNAL FUER 0V:	-0.04275 +/- 0.01239	KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER 3V:	2.97773 +/- 0.01477	KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	-0.08585 +/- 0.01861	KORRIGIERT:	-0.08585 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.62937 +/- 0.01588	KORRIGIERT:	2.65931 +/- 0.04583
LINEARE KORREKTUR:	(0.04254 +/- 0.01272)	+	(0.99520 +/- 0.00823) * X
LOG-VERSTAERKER-BASIS:	1.03371 +/- 0.00990		
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.28927 +/- 0.09362	(+/- 7.26177 PROZENT)	

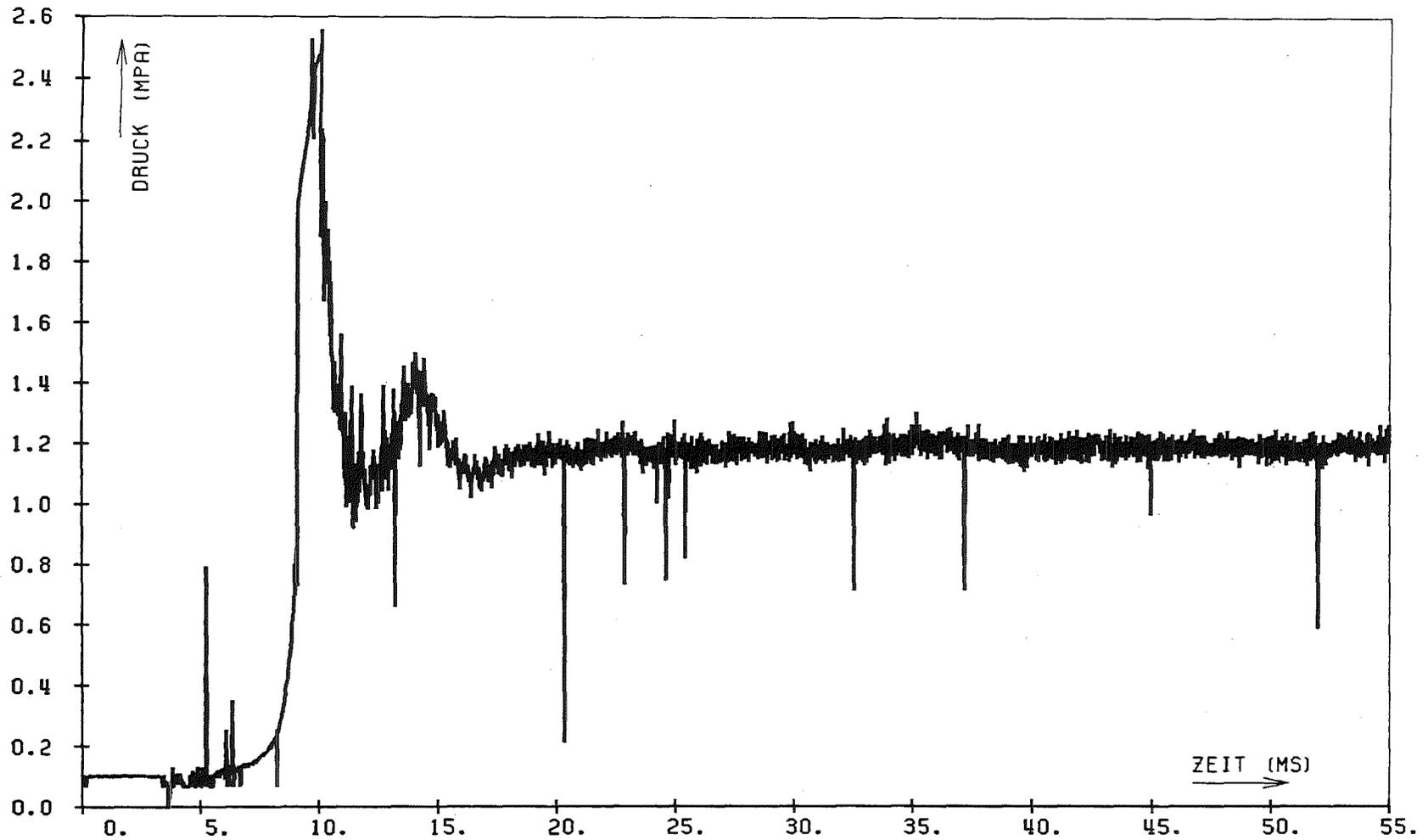


Abb.41 SGI 01-3 7 TR

SIGNAL FUER OV:	-0.03532 +/- 0.00778	KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER 3V:	2.97025 +/- 0.01171	KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	-0.06514 +/- 0.01800	KORRIGIERT:	-0.06514 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.58784 +/- 0.00958	KORRIGIERT:	2.62353 +/- 0.03461
LINEARE KORREKTUR:	(0.03532 +/- 0.00801)	+	(1.00014 +/- 0.00649) * X
LOG-VERSTAECKER-BASIS:	0.99711 +/- 0.00589		
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.18748 +/- 0.06108	(+/- 5.14402 PROZENT)	

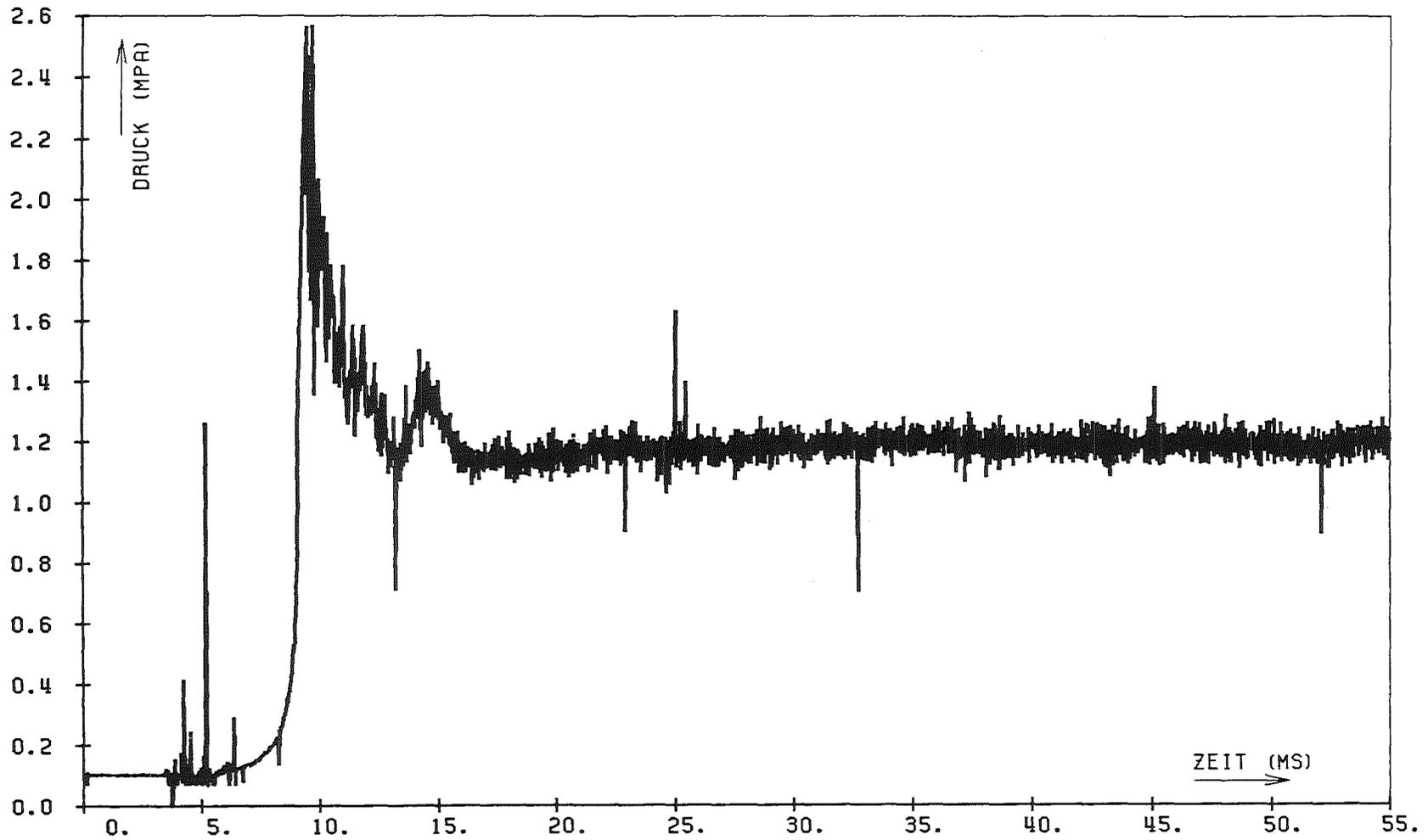


Abb.42 SGI 01-3 8 TR

SIGNAL FUER OV:	-0.04303 +/- 0.00975	KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER 3V:	2.98810 +/- 0.01416	KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	-0.08207 +/- 0.01779	KORRIGIERT:	-0.08207 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.60881 +/- 0.01410	KORRIGIERT:	2.62985 +/- 0.04456
LINEARE KORREKTUR:	(0.04267 +/- 0.01001)	+	(0.99171 +/- 0.00782) * X
LOG-VIERSIAFKER-BASIS:	0.99118 +/- 0.00858		
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.20066 +/- 0.07681	(+/-	6.39736 PROZENT)

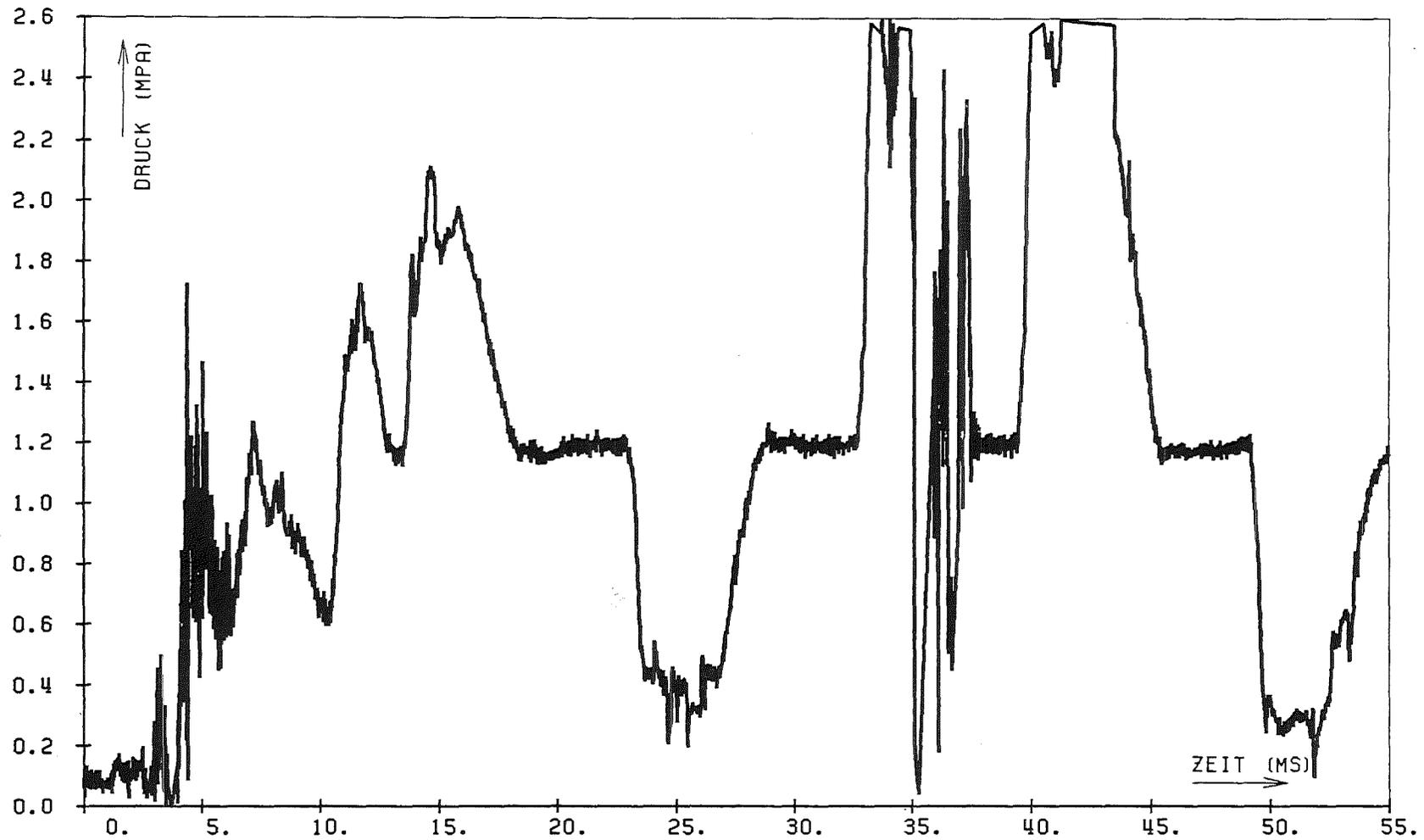


Abb.43

SGI 01-3 11 TR

SIGNAL FUER OV:	-0.05694 +/- 0.01269	KORRIGIERT:	-0.05694
SIGNAL FUER NS:	0.0 +/- 0.0	KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER VA:	0.0 +/- 0.0	KORRIGIERT:	0.0
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.04952 +/- 0.0	(+/- 0.0	PROZENT)

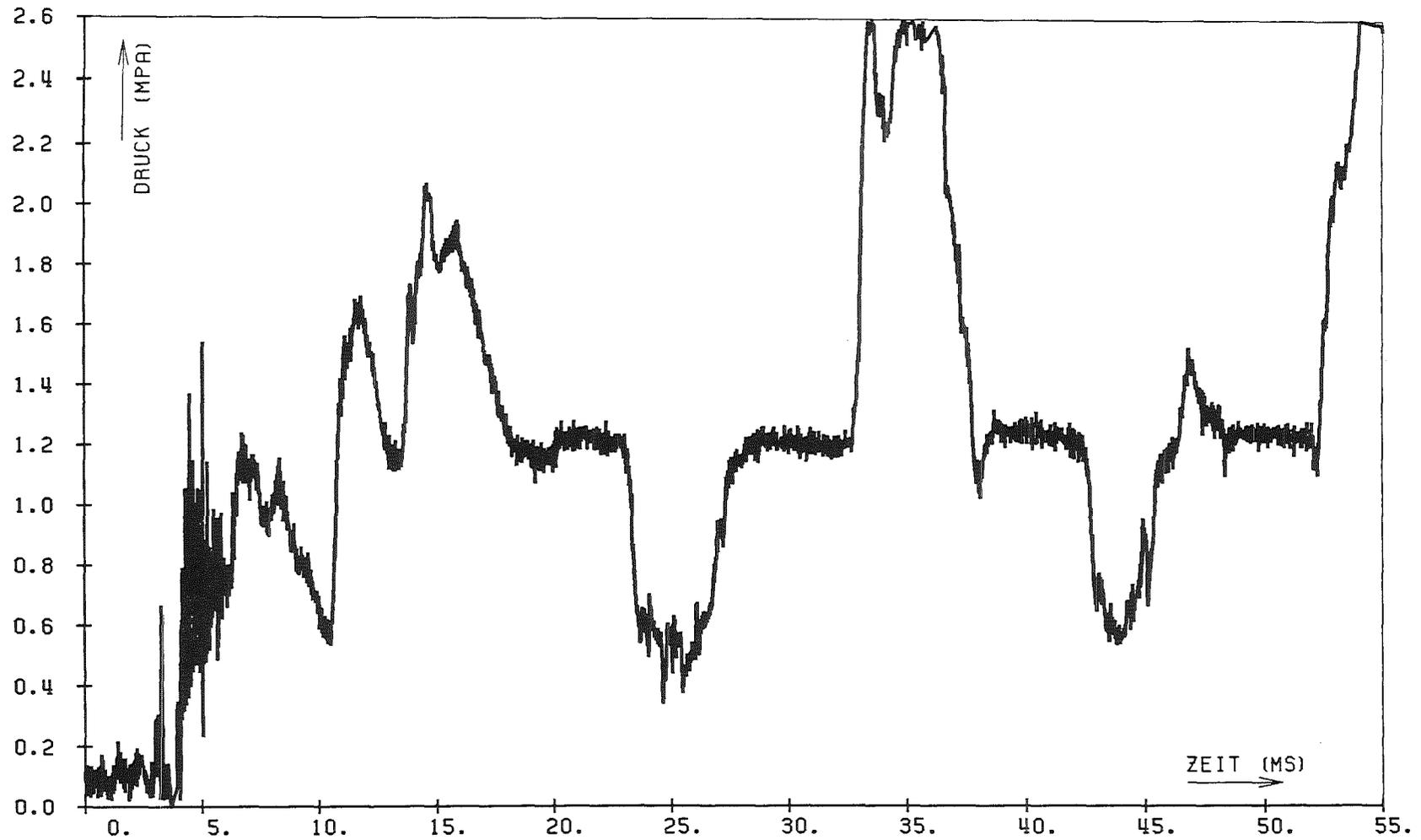
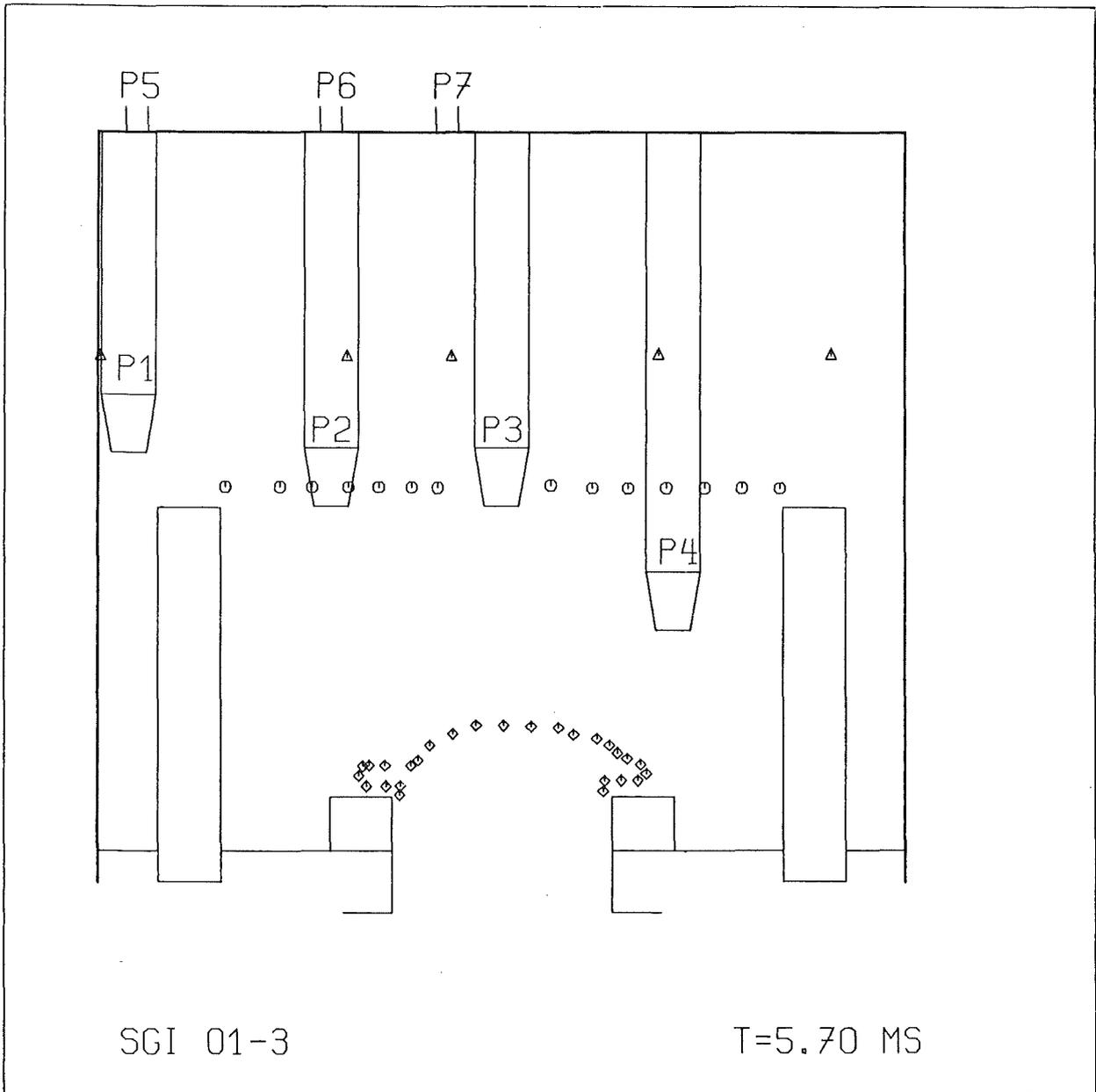


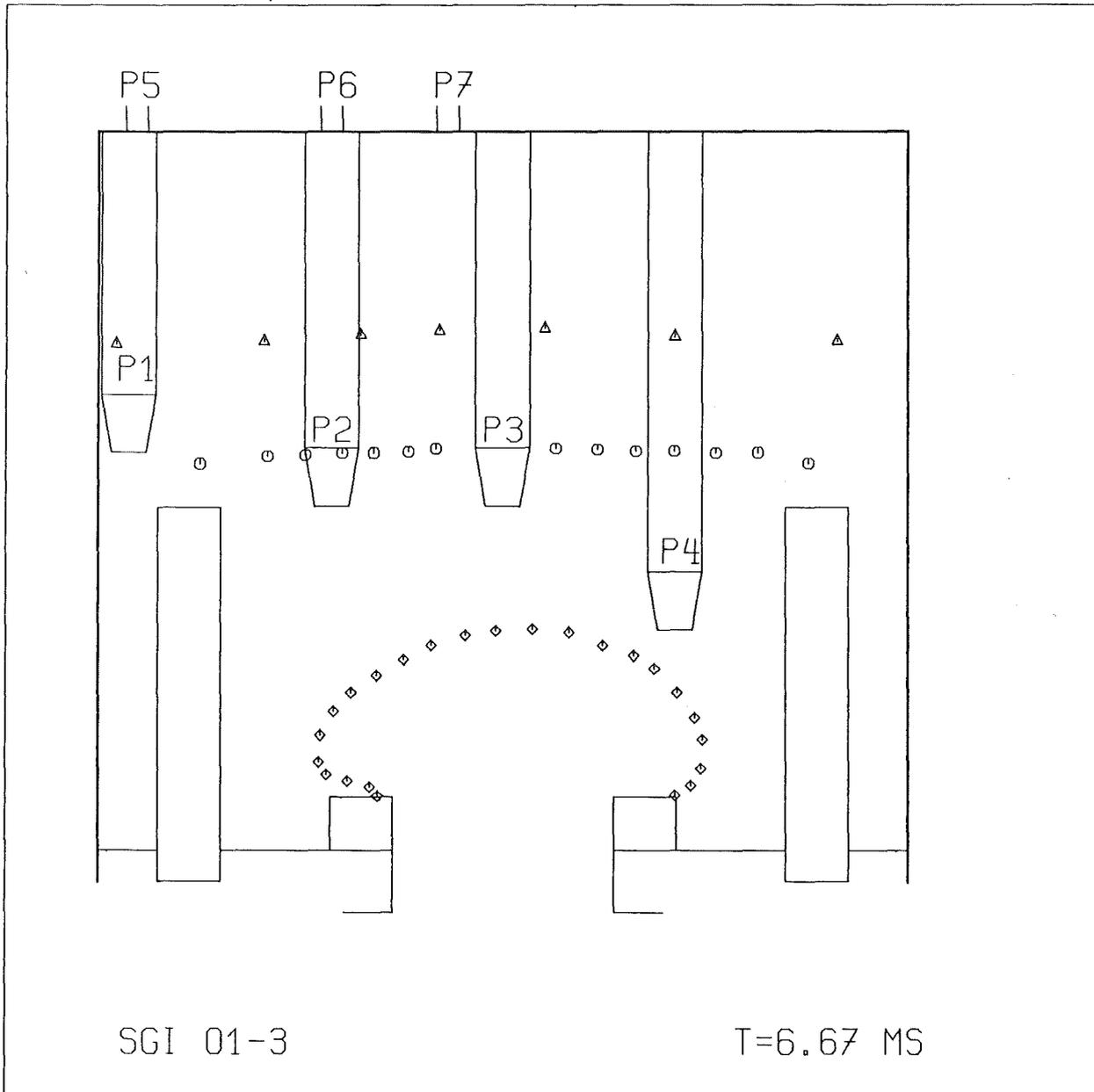
Abb.44 SGI 01-3 12 TR

SIGNAL FUER OV:	-0.04592 +/- 0.00837	KORRIGIERT:	-0.04592
SIGNAL FUER NS:	0.0 +/- 0.0	KORRIGIERT:	0.0 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	0.0 +/- 0.0	KORRIGIERT:	0.0 +/- 0.0
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.04952 +/- 0.0	(+/- 0.0	PROZENT)



- ◇ Blase
- Kugeln
- △ Wasseroberfläche

Abb.45a SGI 01-3, Kontur der Blase und Positionen der Kugeln



SGI 01-3

T=6.67 MS

Abb.45c SGI 01-3, Kontur der Blase und Positionen der Kugeln

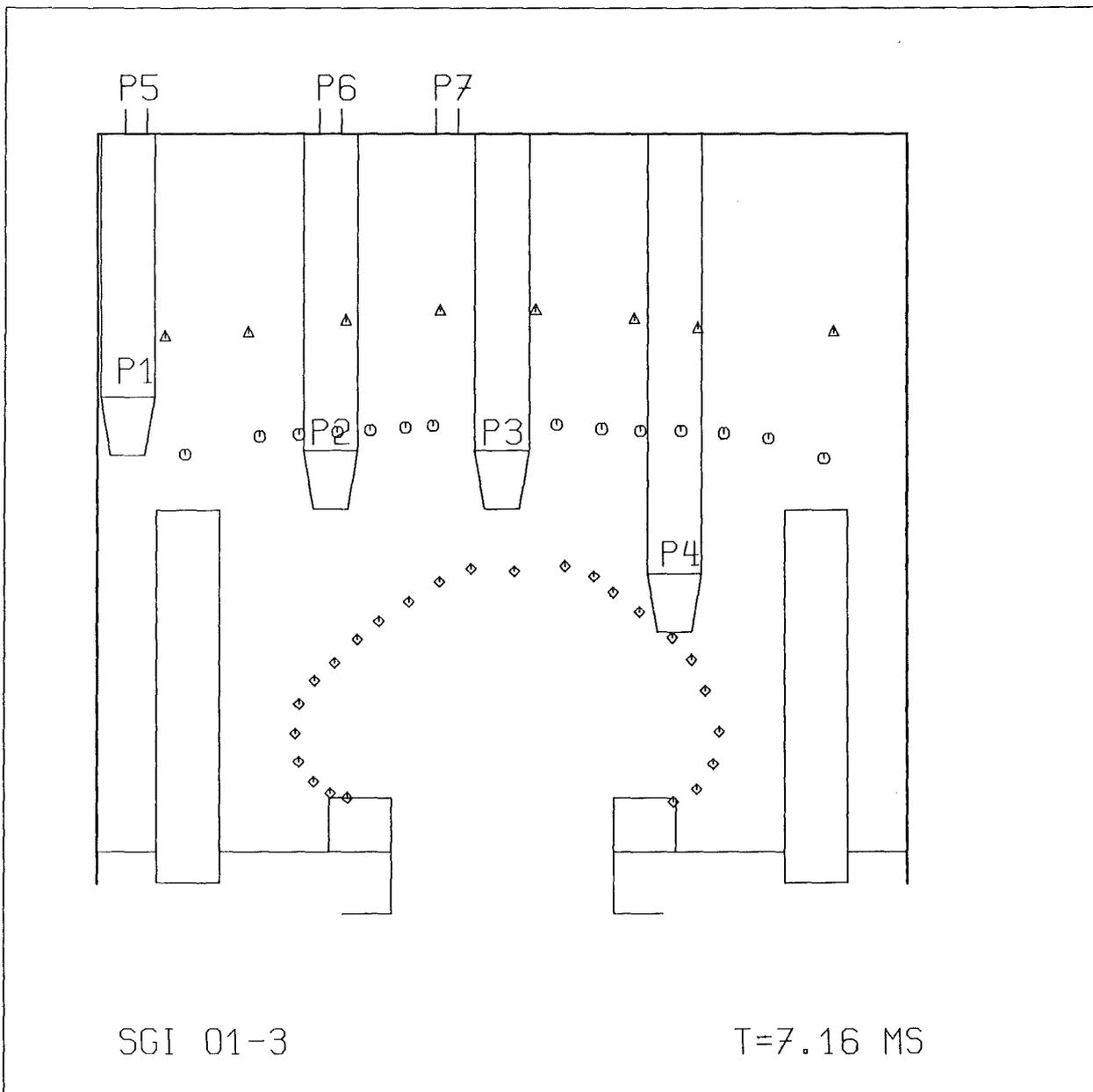


Abb.45d SGI 01-3, Kontur der Blase und Positionen der Kugeln

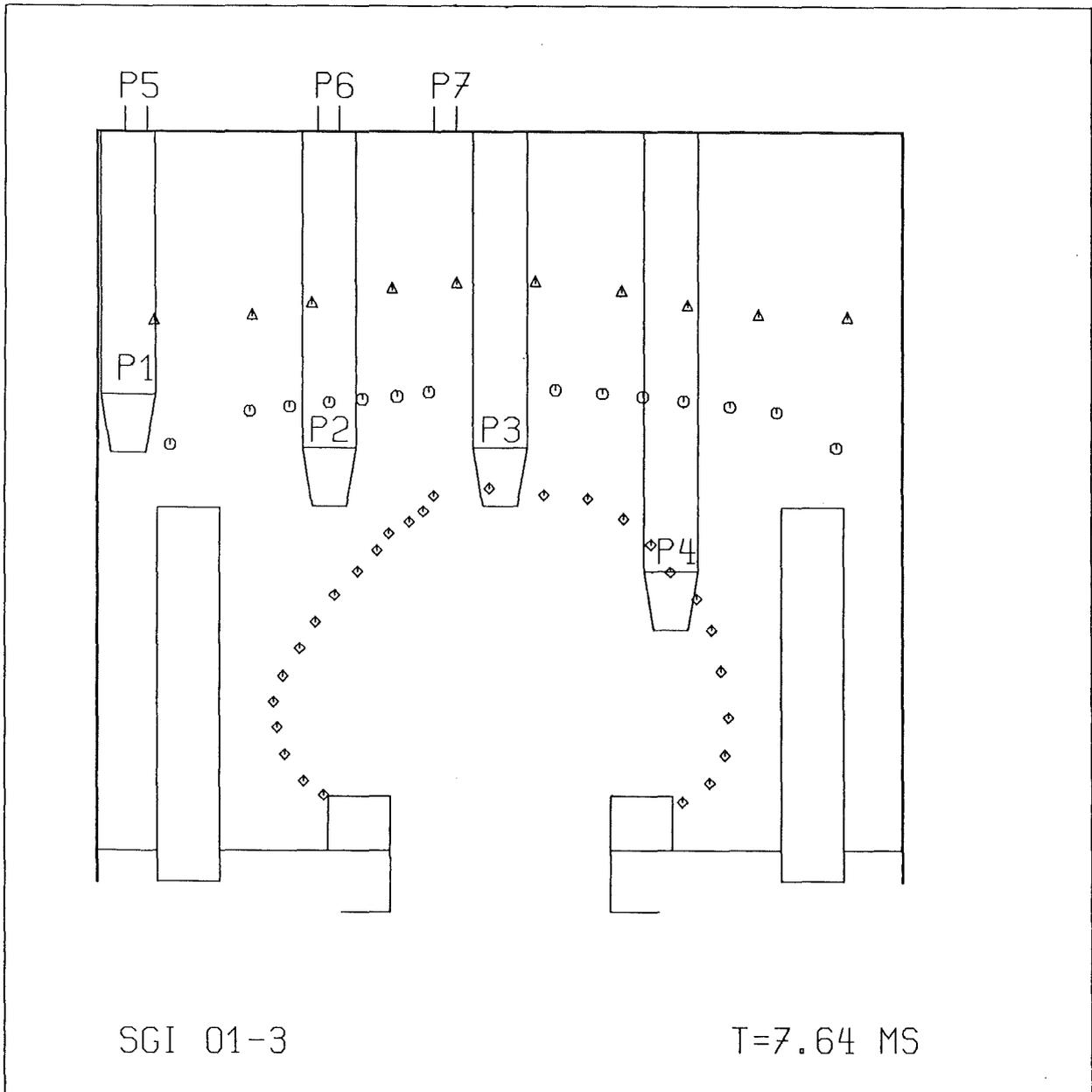


Abb.45e SGI 01-3, Kontur der Blase und Positionen der Kugeln

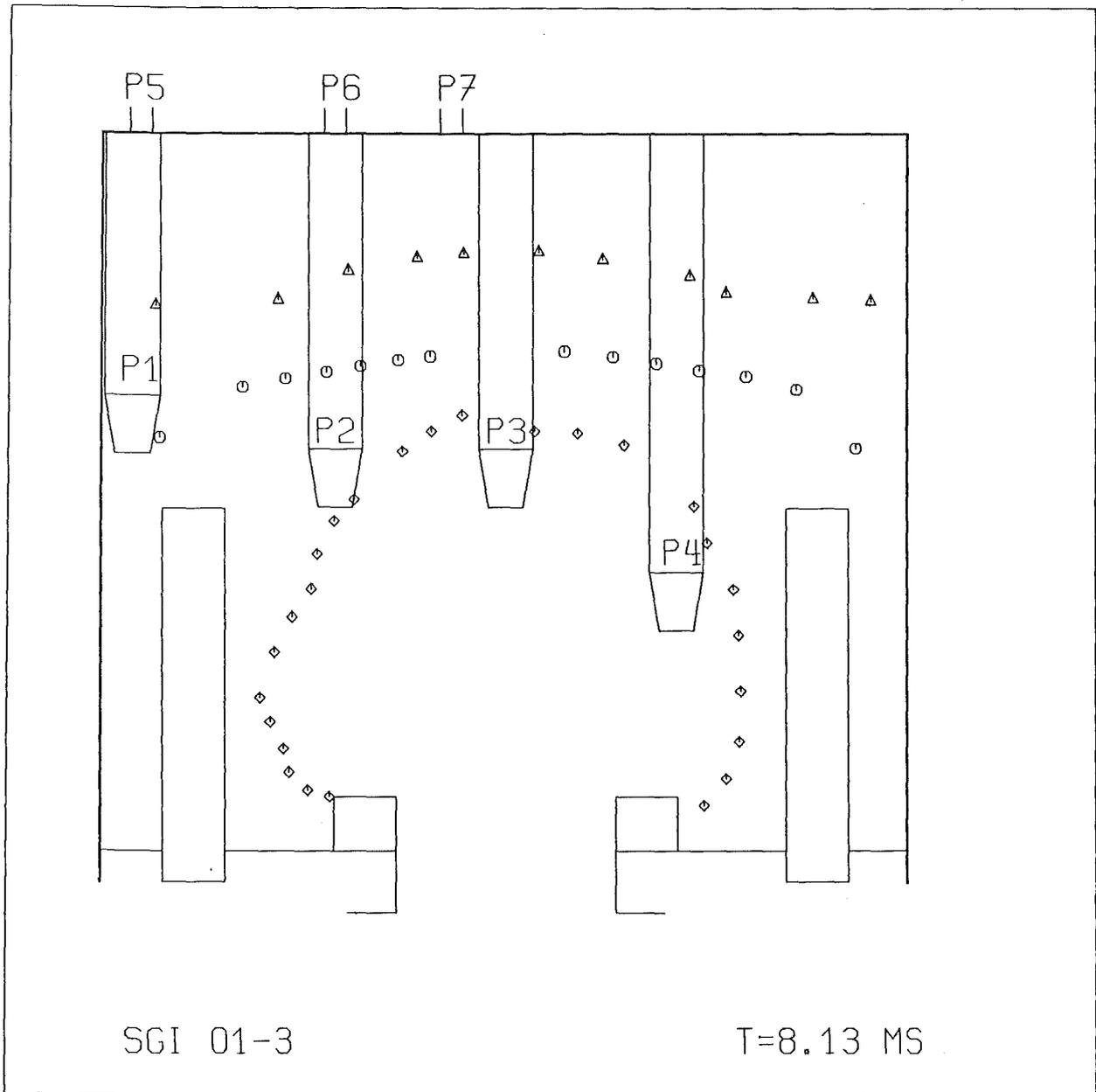


Abb.45f SGI 01-3, Kontur der Blase und Positionen der Kugeln

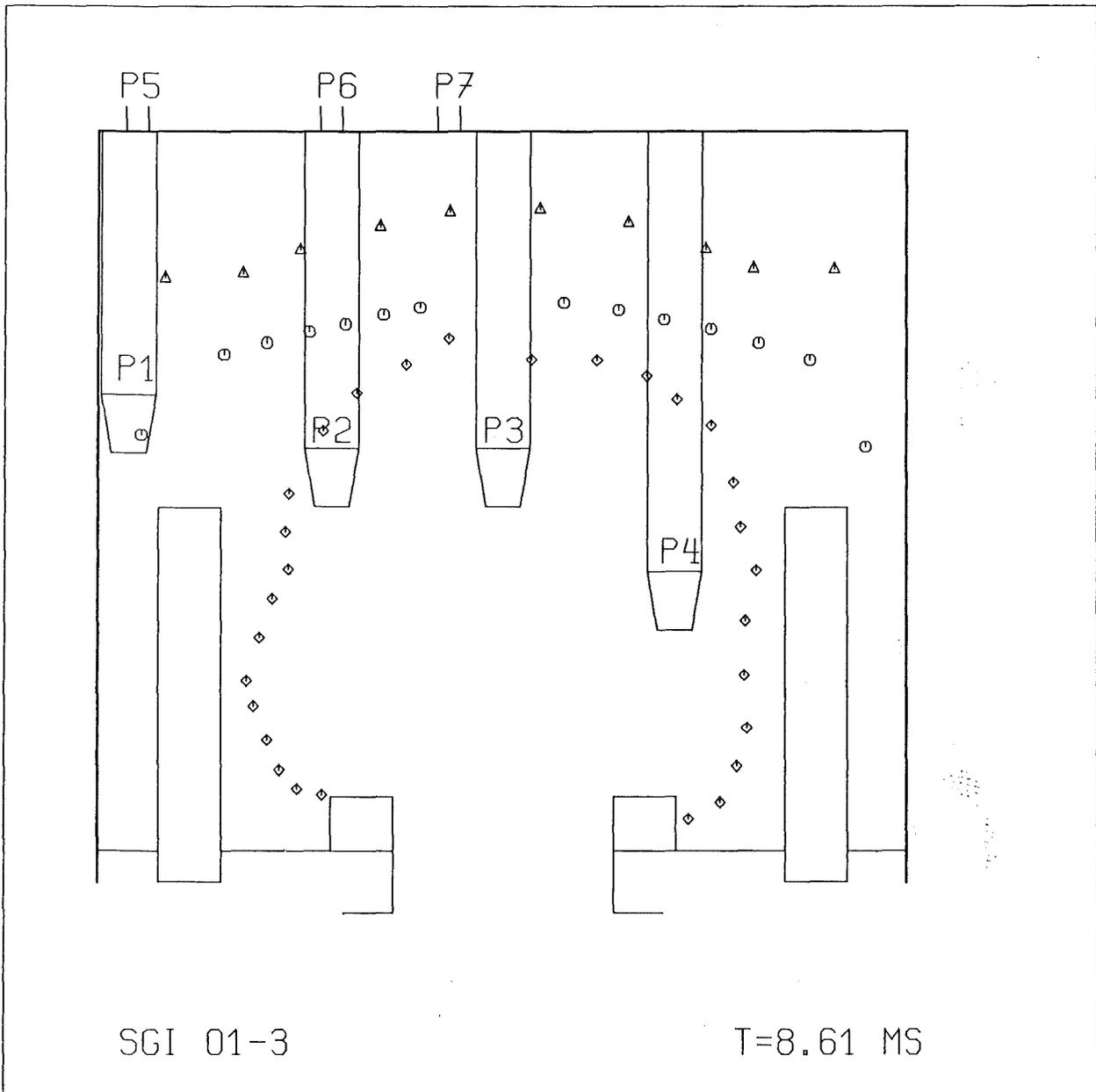


Abb.45g SGI 01-3, Kontur der Blase und Positionen der Kugeln

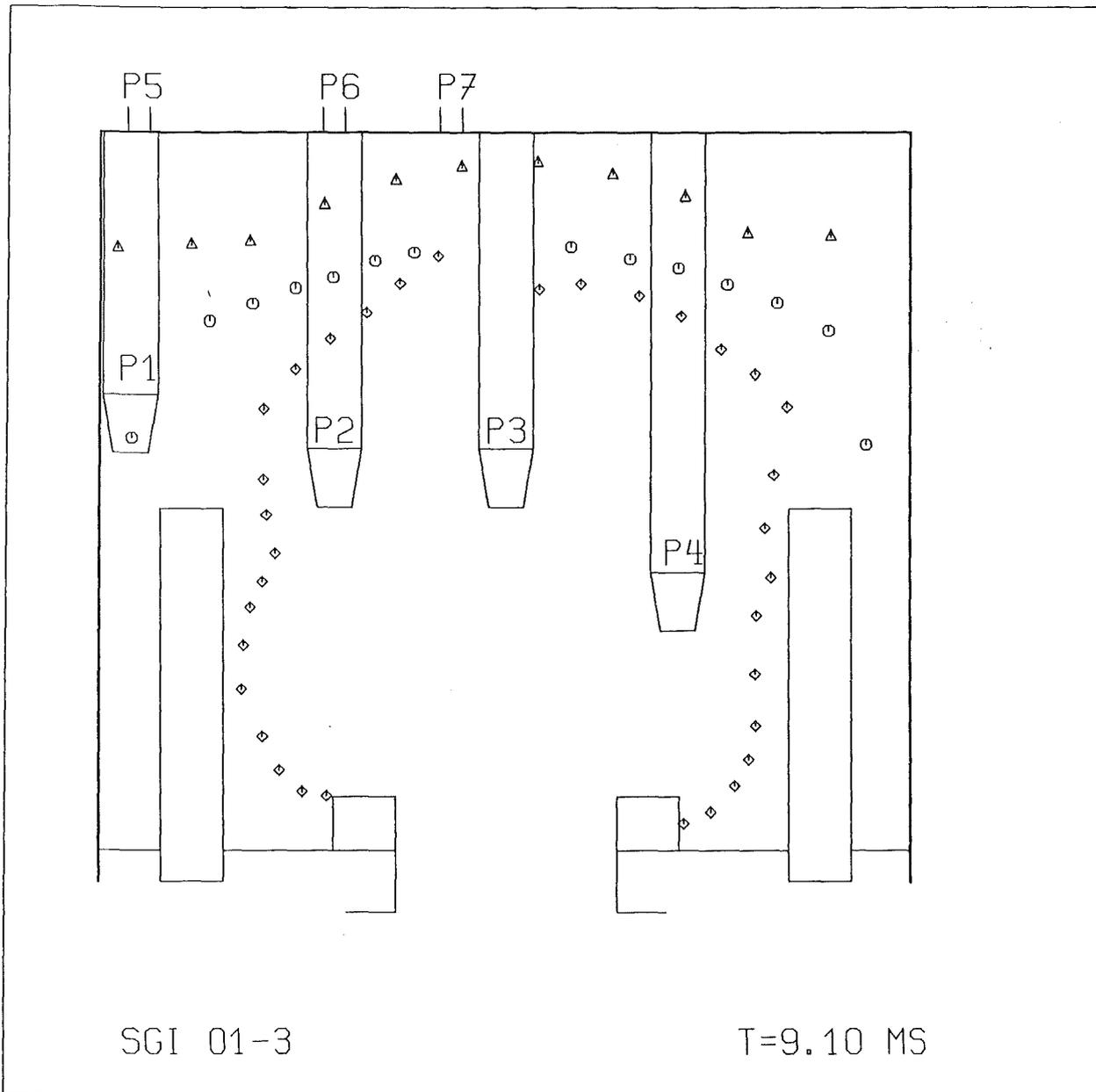
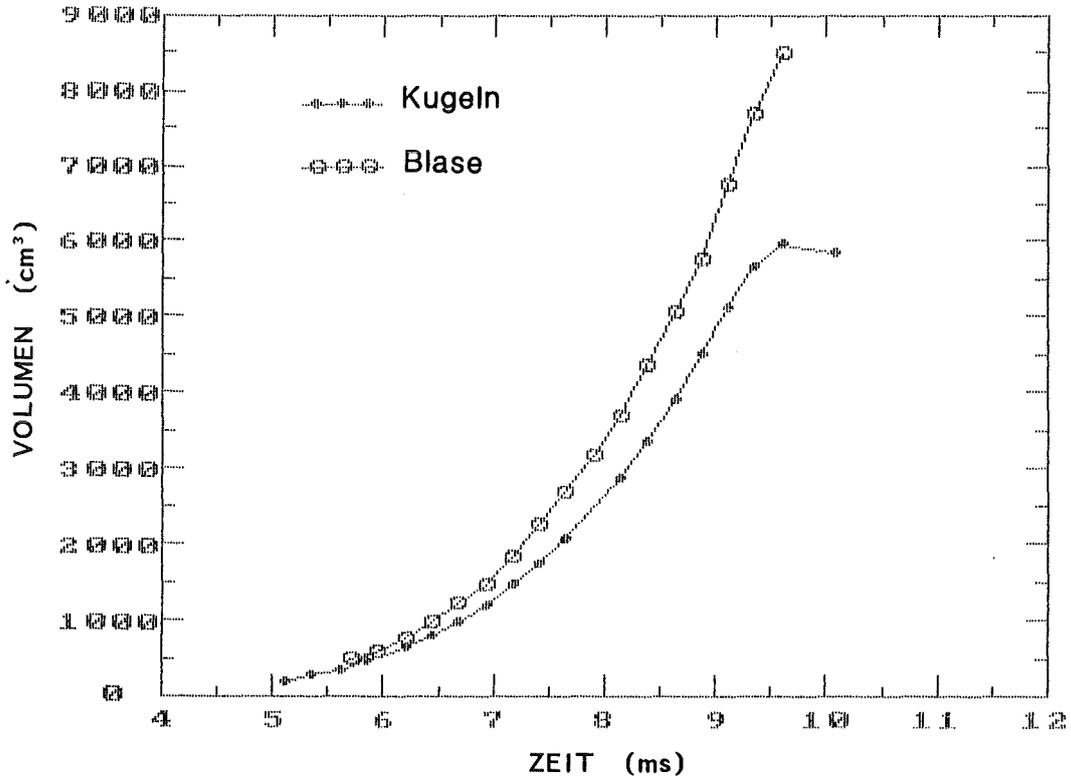


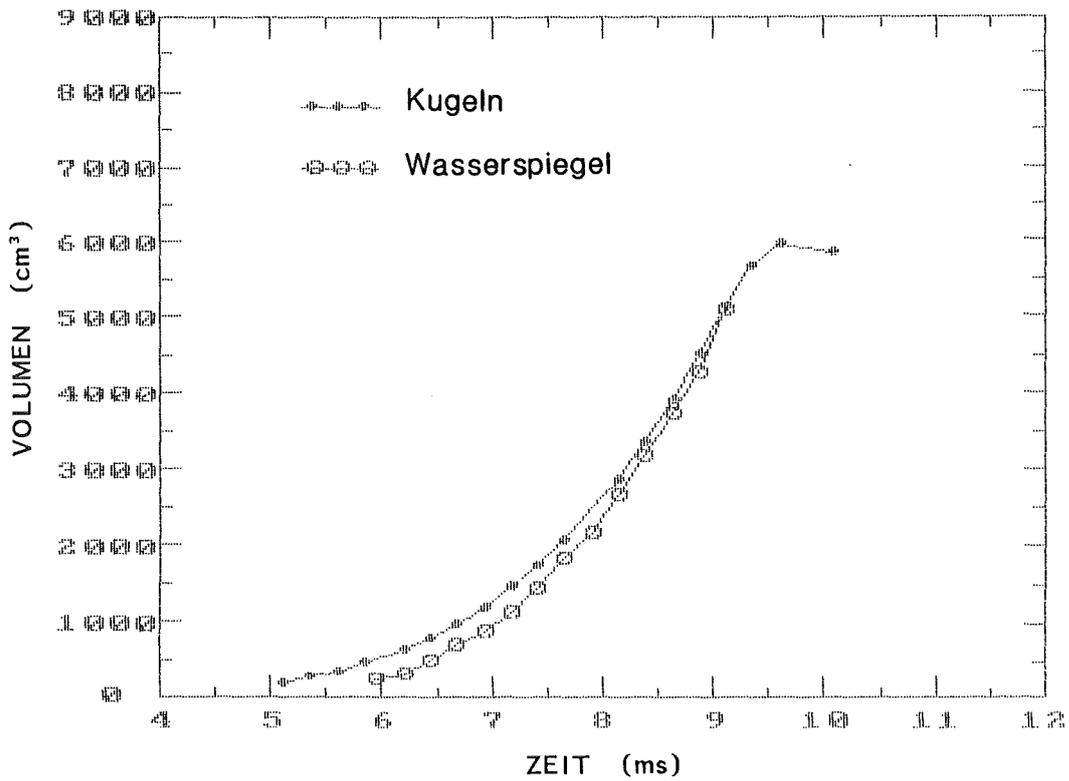
Abb.45h SGI 01-3, Kontur der Blase und Positionen der Kugeln



SGI 01-3 BLASENVOLUMEN

ZEIT (MS)	VOLUMEN (CM**3)	ABWEICHUNG (%)
5.70	474.	-28.2
5.95	590.	-47.2
6.19	752.	-54.6
6.43	957.	-41.4
6.67	1213.	-34.0
6.92	1462.	-26.8
7.16	1826.	-22.9
7.40	2255.	-21.5
7.65	2665.	-20.8
7.89	3147.	-16.0
8.13	3662.	-16.0
8.37	4335.	-16.5
8.62	5045.	-19.2
8.86	5753.	-17.5
9.10	6739.	-18.9
9.34	7686.	-16.7
9.59	8483.	-14.6

Abb.46 Verdrängungsvolumen SGI 01-3



SGI 01-3 VERDRAENGUNGSVOLUMEN, KUGELN

ZEIT (MS)	VOLUMEN (CM**3)	ABWEICHUNG (%)
5.10	190.	1.7
5.34	274.	0.0
5.58	342.	5.9
5.83	444.	-0.3
6.19	634.	-7.5
6.43	787.	-6.6
6.67	983.	-6.6
6.92	1199.	-3.9
7.16	1457.	-3.5
7.40	1730.	-4.0
7.65	2059.	-5.7
8.13	2852.	-7.4
8.37	3348.	-7.4
8.62	3888.	-6.5
8.86	4481.	-6.0
9.10	5111.	-2.8
9.34	5648.	0.1
9.59	5946.	0.9
10.07	5829.	-1.0

Abb.47 Verdrängungsvolumen SGI 01-3

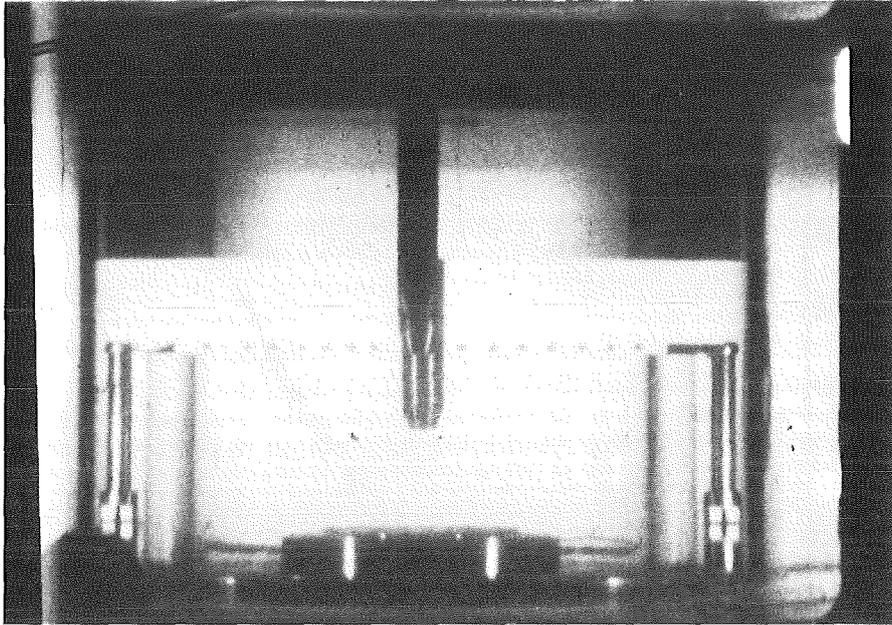


Abb.48a SGI 01-3 5.0 ms

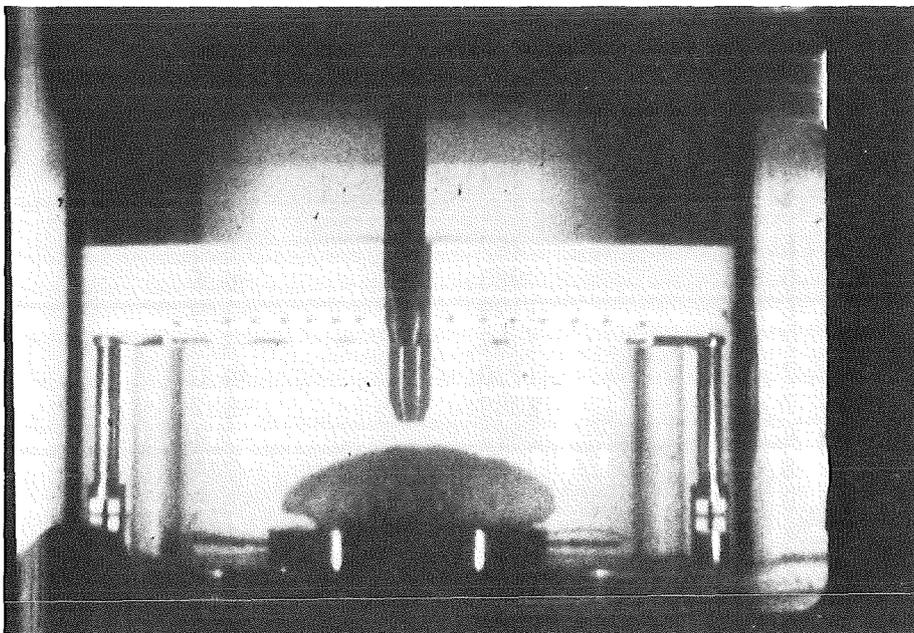


Abb.48b SGI 01-3 6.3 ms

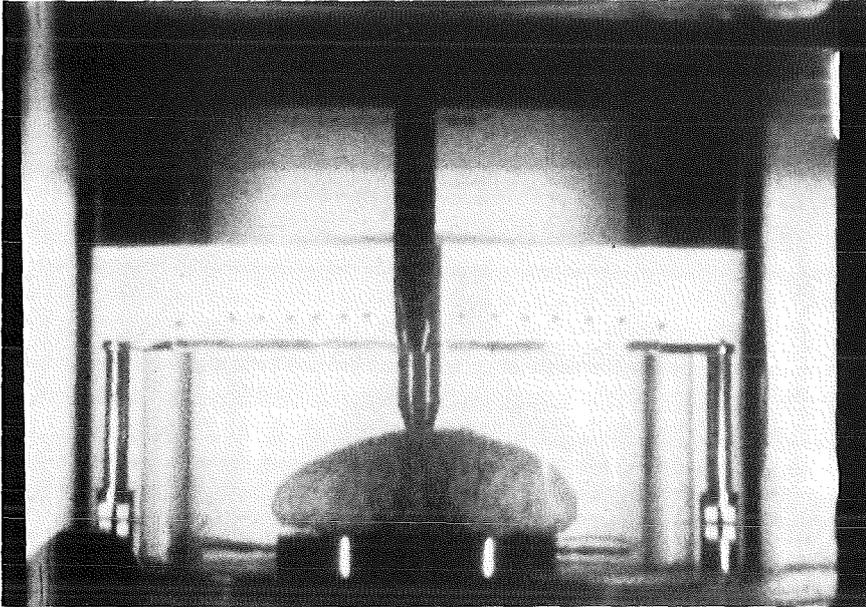


Abb.48c SGI 01-3 6.7 ms

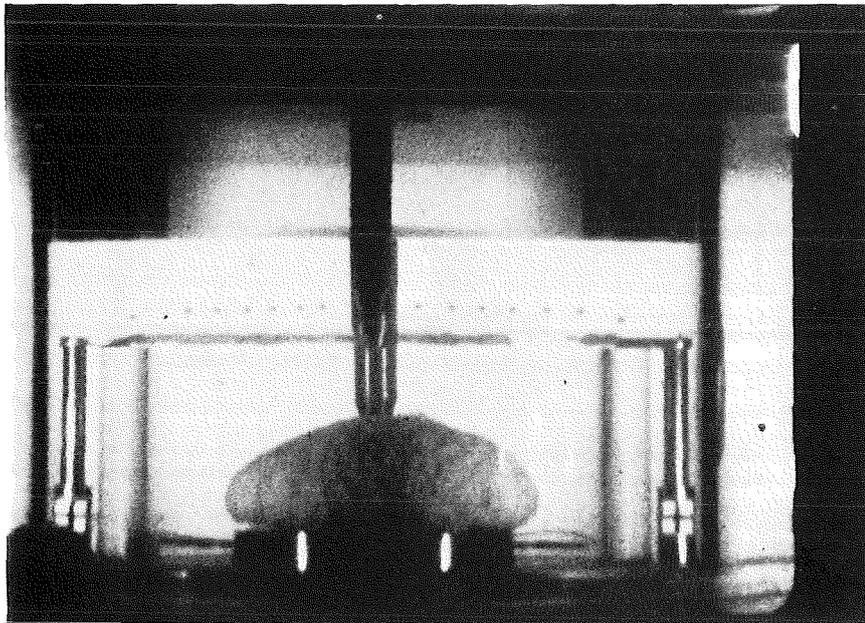


Abb.48d SGI 01-3 6.8 ms

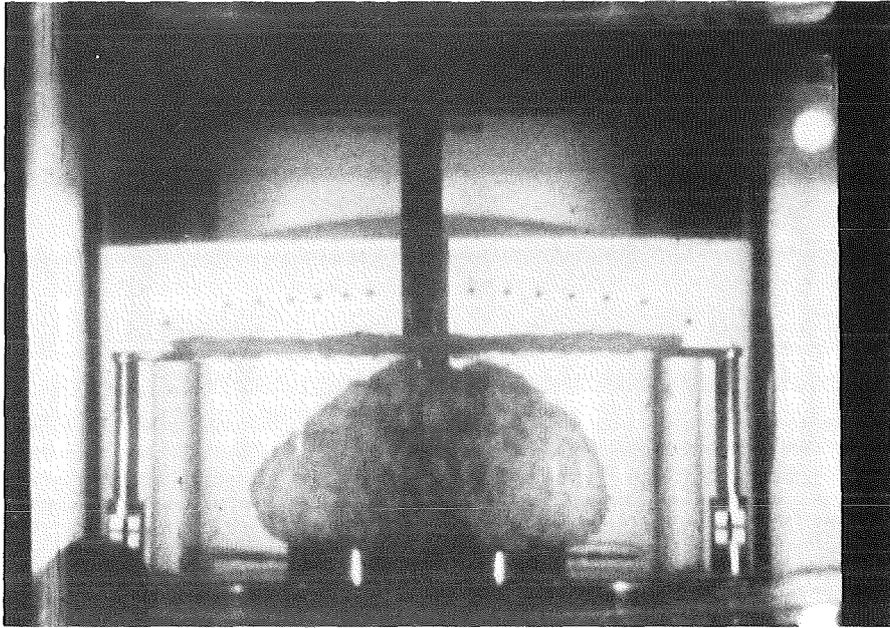


Abb.48e SGI 01-3 7.5 ms

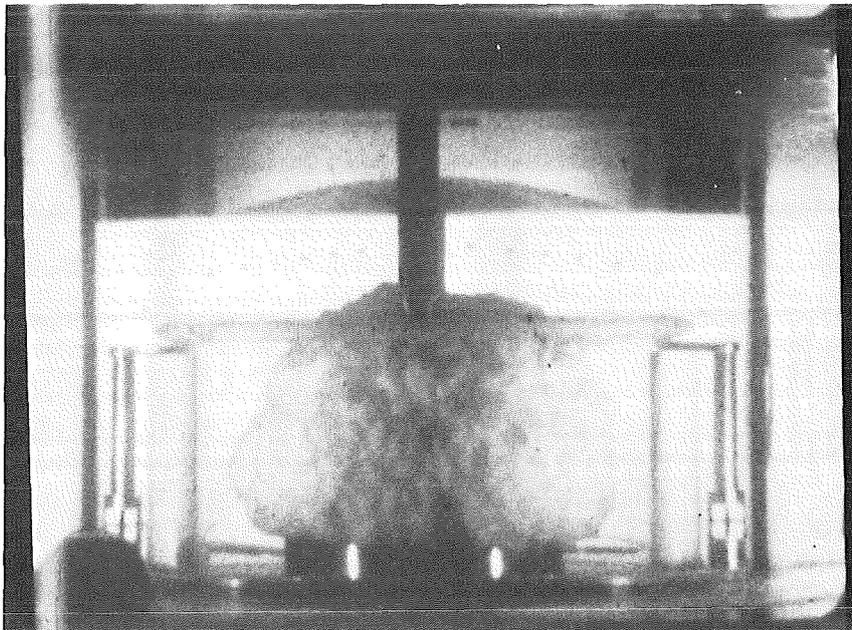


Abb.48f SGI 01-3 8.3 ms

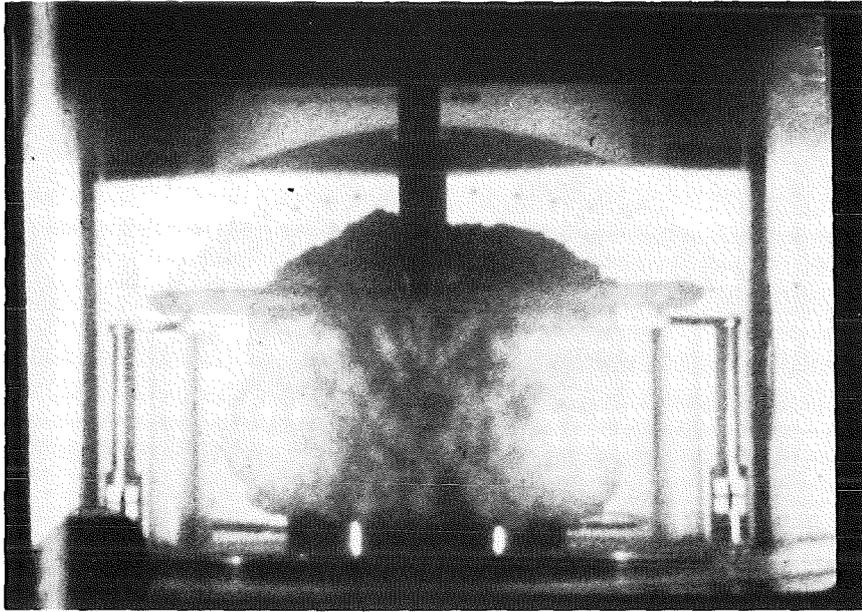


Abb.48g SGI 01-3 8.7 ms

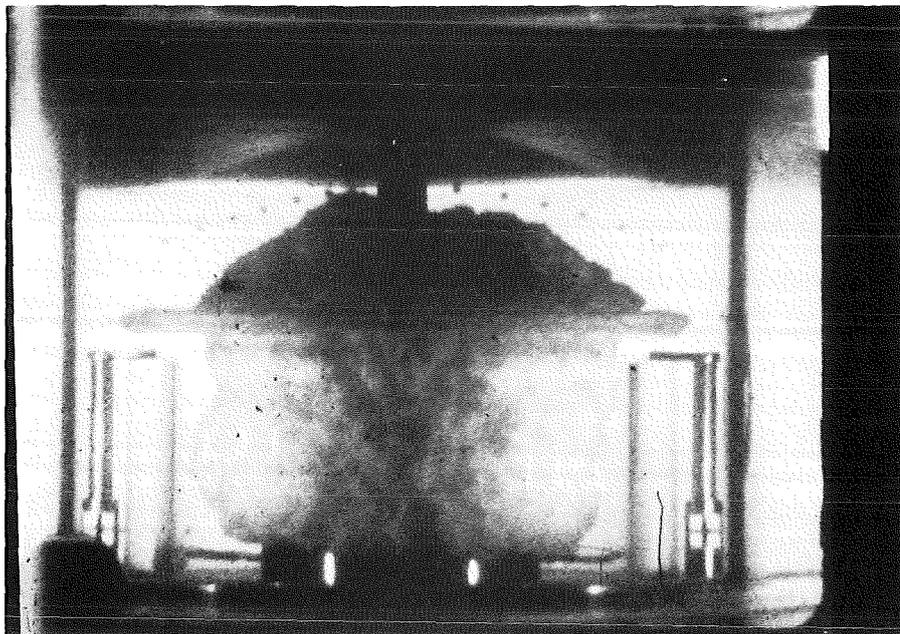


Abb.48h SGI 01-3 9.2 ms

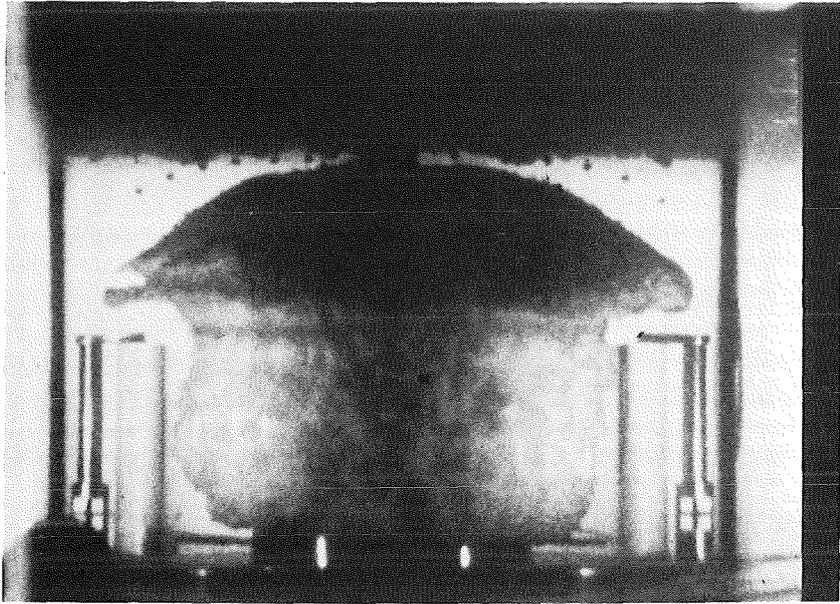


Abb.48i SGI 01-3 10.2 ms

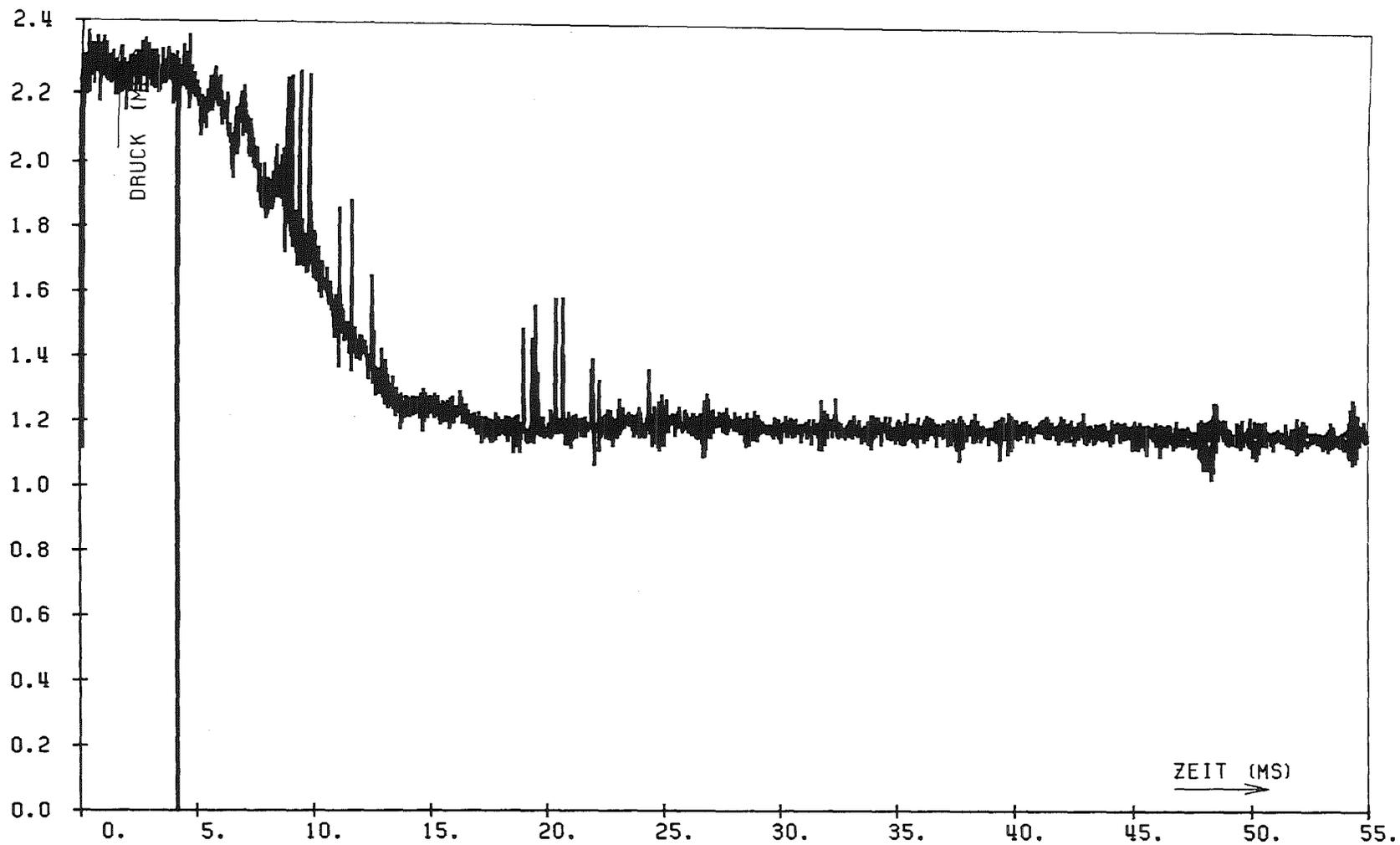


Abb.49

SGI 02-1 1 TR

SIGNAL FUER OV:	-0.03893 +/- 0.00883	KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER 3V:	2.98895 +/- 0.01558	KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	2.31314 +/- 0.01511	KORRIGIERT:	2.31314 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.56039 +/- 0.01100	KORRIGIERT:	2.58054 +/- 0.04066
LINEARE KORREKTUR:	(0.03865 +/- 0.00908)	+	(0.99277 +/- 0.00800) * X
LOG-VERSTAERKER-BASIS:	0.99658 +/- 0.00694		
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.13218 +/- 0.04961	(+/- 4.38222 PROZENT)	

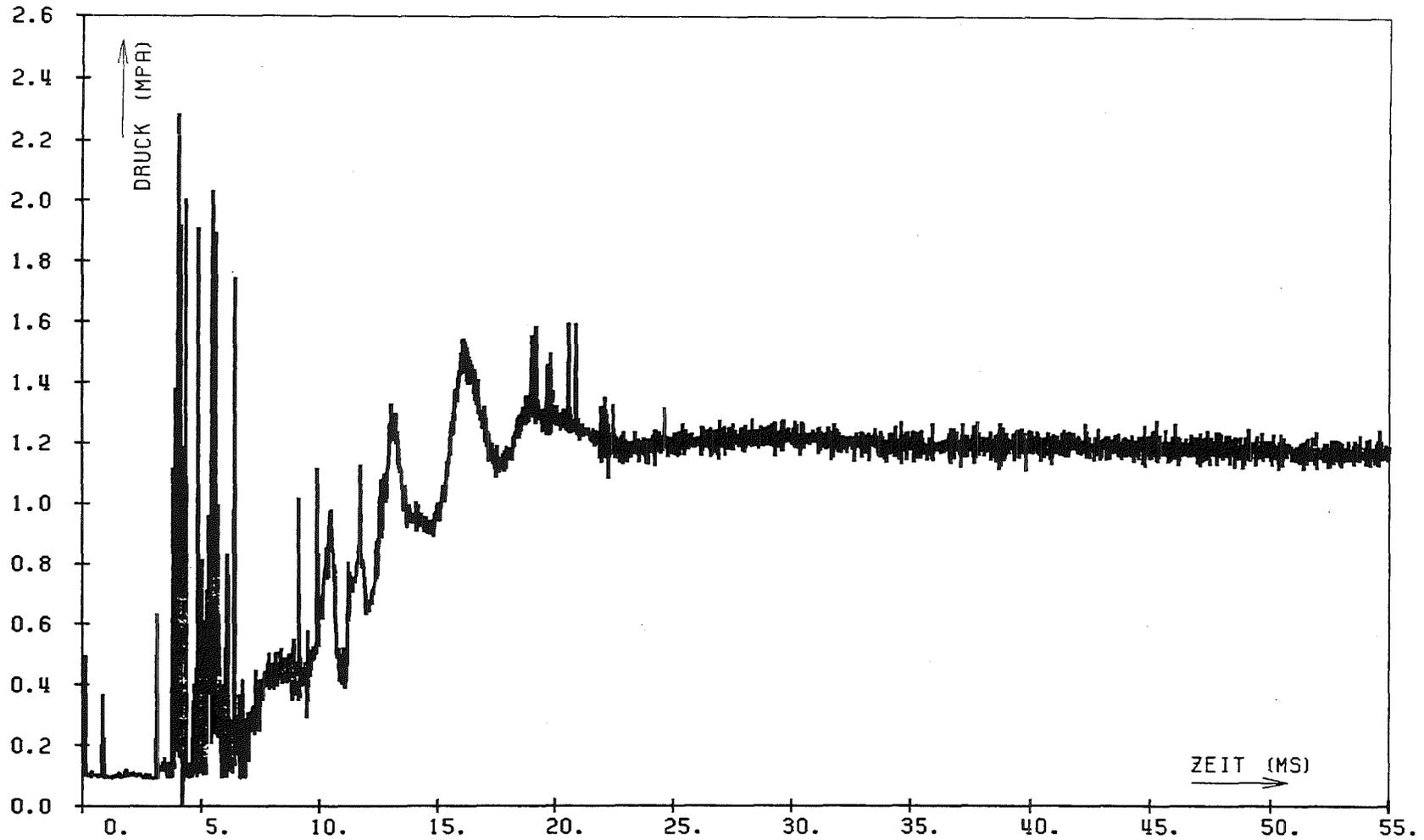


Abb.50 SGI 02-1 2 TR

SIGNAL FUER OV:	-0.05544 +/- 0.01348	KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER 3V:	2.97049 +/- 0.01470	KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	-0.05456 +/- 0.02961	KORRIGIERT:	-0.05456 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.52209 +/- 0.01696	KORRIGIERT:	2.56055 +/- 0.05444
LINEARE KORREKTUR:	(0.05507 +/- 0.01391)	+	(0.99342 +/- 0.00925) * X
LOG-VERSTAERKER-BASIS:	0.99492 +/- 0.01081		
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.17322 +/- 0.07828	(+/- 6.67212 PROZENT)	

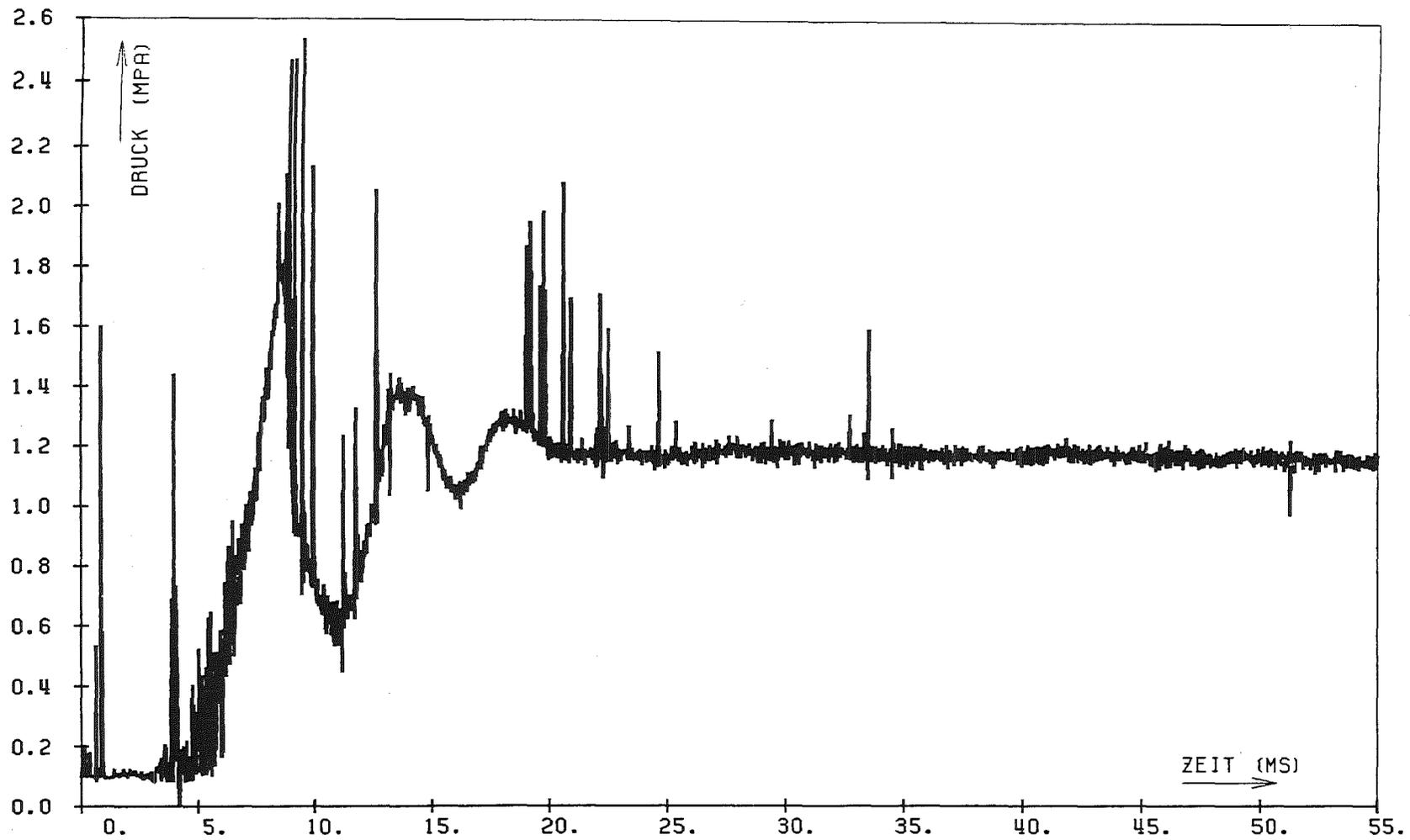


Abb.51 SGI 02-1 3 TR

SIGNAL FUER 0V:	-0.04129 +/- 0.01054	KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER 3V:	2.99605 +/- 0.01229	KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	-0.03608 +/- 0.02945	KORRIGIERT:	-0.03608 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.59866 +/- 0.01095	KORRIGIERT:	2.61272 +/- 0.04101
LINEARE KORREKTUR:	(0.04086 +/- 0.01074)	+	(0.98968 +/- 0.00744) * X
LOG-VERSTAERKER-BASIS:	0.99909 +/- 0.00678		
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.14984 +/- 0.07273	(+/-	6.32552 PROZENT)

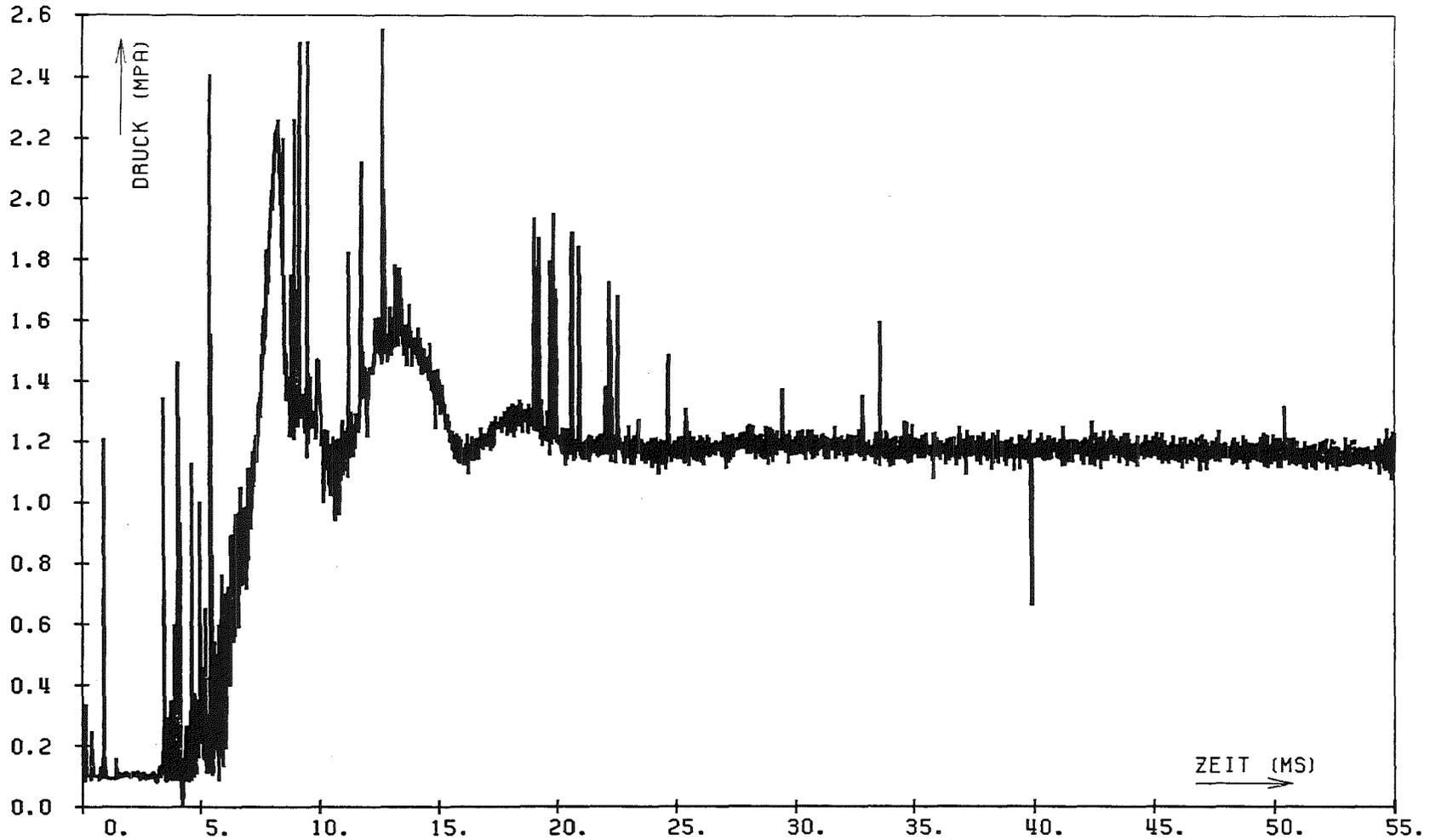


Abb.52 SGI 02-1 4 TR

SIGNAL FUER OV:	-0.04025 +/-	0.00987	KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER 3V:	2.98490 +/-	0.01425	KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	-0.01226 +/-	0.02075	KORRIGIERT:	-0.01226 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.56940 +/-	0.01389	KORRIGIERT:	2.59313 +/- 0.04446
LINEARE KORREKTUR:	{ 0.04000 +/-	0.01012 }	+	{ 0.99367 +/- 0.00792 } * X
LOG-VERSTAERKER-BASIS:	0.99607 +/-	0.00868		
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.16239 +/-	0.07147	(+/-	6.14867 PROZENT)

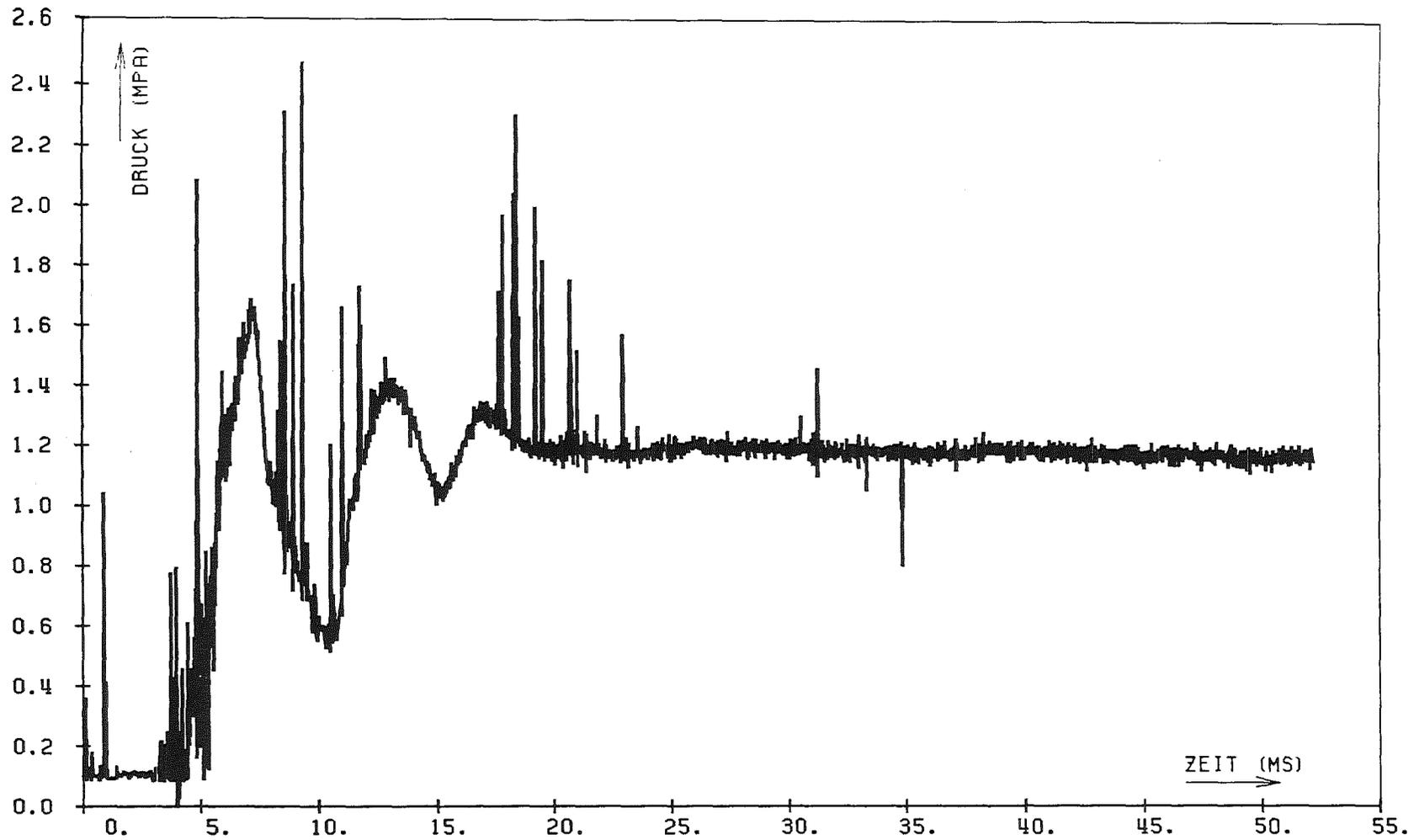


Abb.53 SGI 02-1 5 TR

SIGNAL FUER OV:	-0.05144 +/-	0.00770 KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER 3V:	2.96864 +/-	0.00935 KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	-0.03325 +/-	0.02268 KORRIGIERT:	-0.03325 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.51528 +/-	0.00872 KORRIGIERT:	2.55475 +/- 0.03098
LINEARE KORREKTUR:	(.05120 +/-	0.00795)	+ (0.99534 +/- 0.00562) * X
LOG-VERSTAERKER-BASIS:	0.99179 +/-	0.00556	
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.15898 +/-	0.05789 (+/-	4.99499 PROZENT)

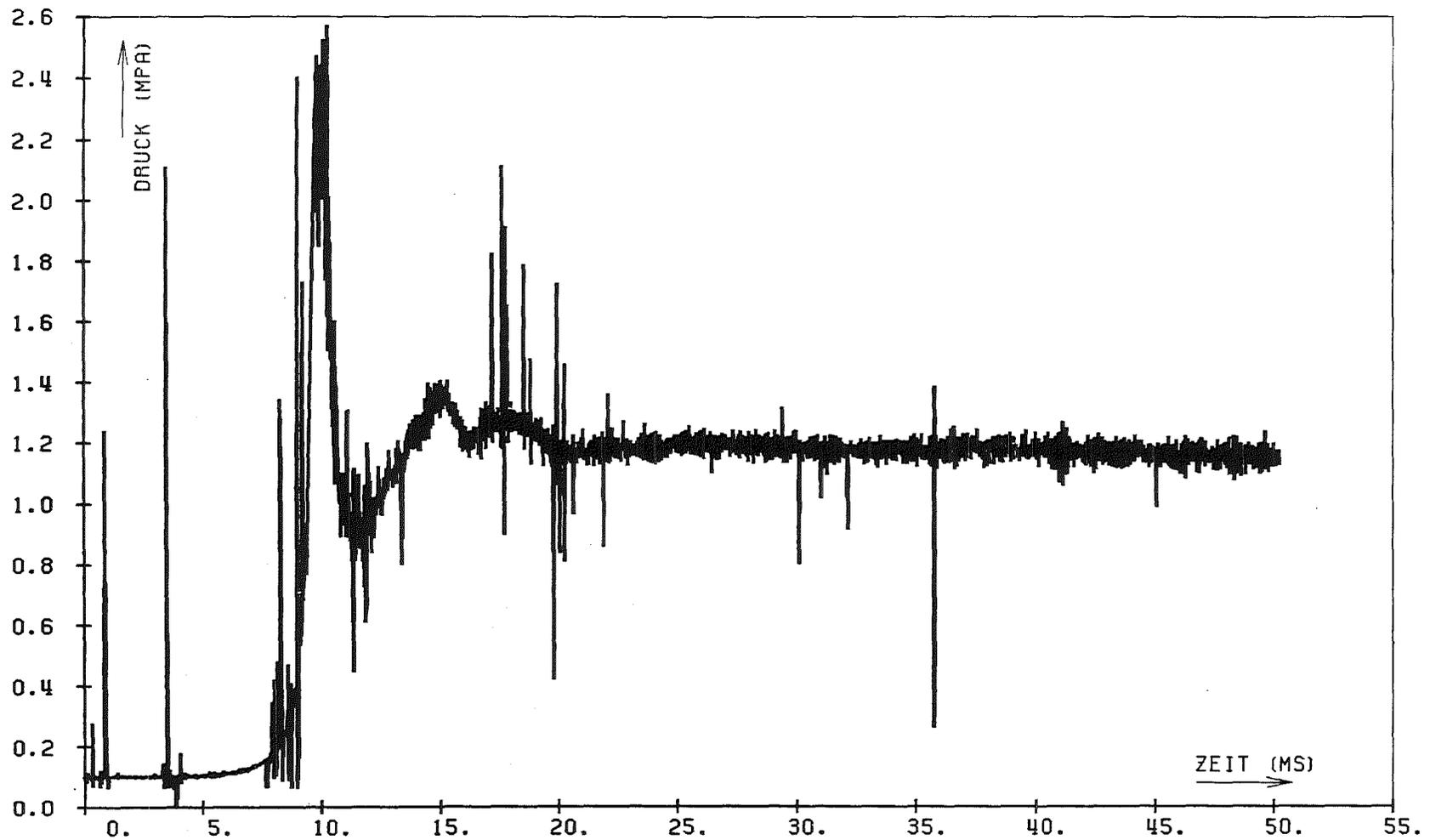


Abb.54

SGI 02-1 7 TR

SIGNAL FUER OV:	-0.03894 +/- 0.00932	KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER 3V:	2.98173 +/- 0.01040	KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	-0.02802 +/- 0.03634	KORRIGIERT:	-0.02802 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.59677 +/- 0.00978	KORRIGIERT:	2.62291 +/- 0.03630
LINEARE KORREKTUR:	(0.03875 +/- 0.00953)	+	(0.99515 +/- 0.00650) * X
LOG-VERSTAERKER-BASIS:	0.99668 +/- 0.00601		
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.15695 +/- 0.07270	(+/-	6.28349 PROZENT)

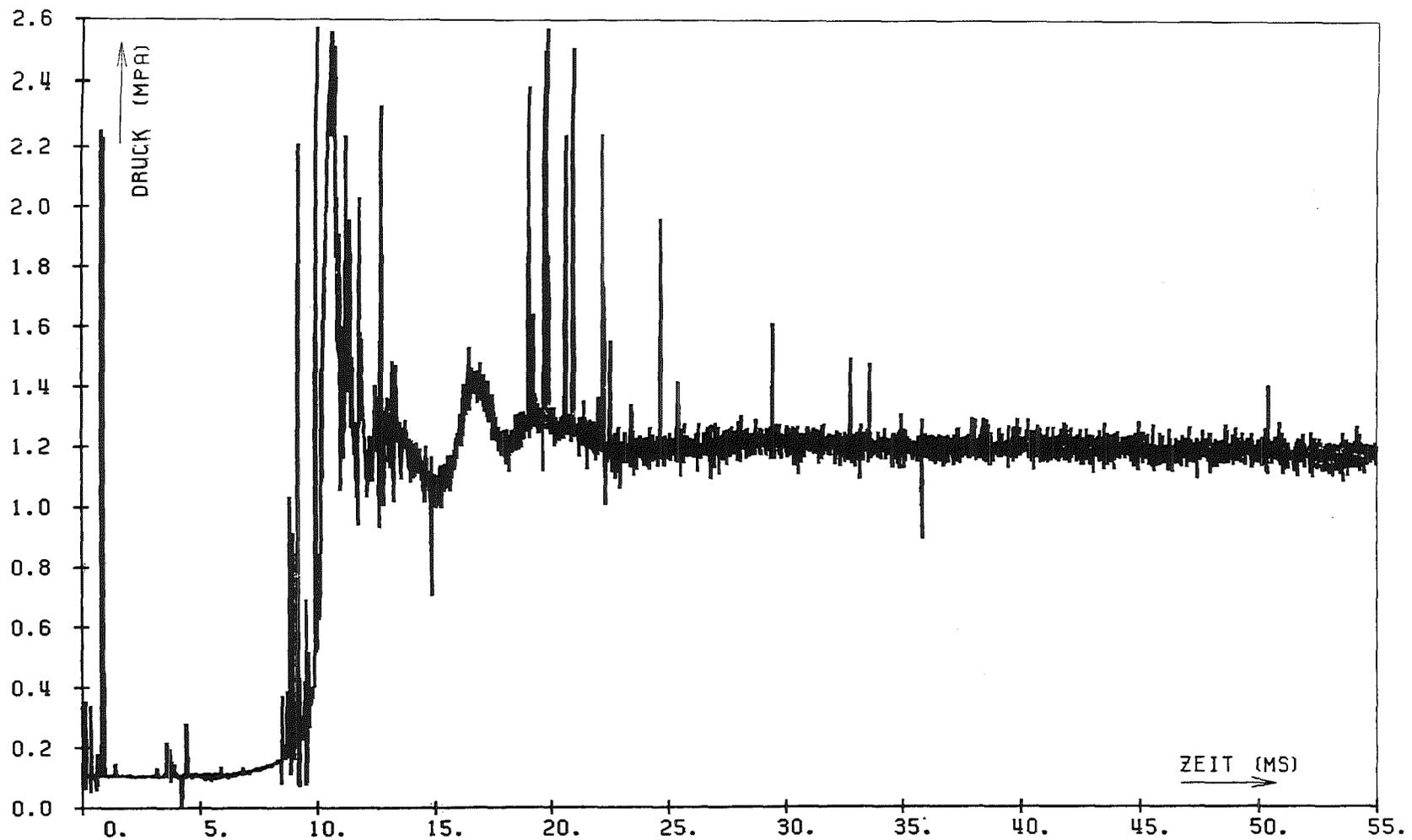


Abb.55 SGI 02-1 8 TR

SIGNAL FUER OV:	-0.04959 +/- 0.01208	KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER 3V:	2.98965 +/- 0.01451	KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	0.17161 +/- 0.02660	KORRIGIERT:	0.17161 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.61597 +/- 0.01388	KORRIGIERT:	2.63640 +/- 0.04891
LINEARE KORREKTUR:	(0.04905 +/- 0.01238)	+	(0.98906 +/- 0.00865) * X
LOG-VERSTAERKER-BASIS:	0.99477 +/- 0.00844		
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.16670 +/- 0.08071	(+/- 6.91780 PROZENT)	

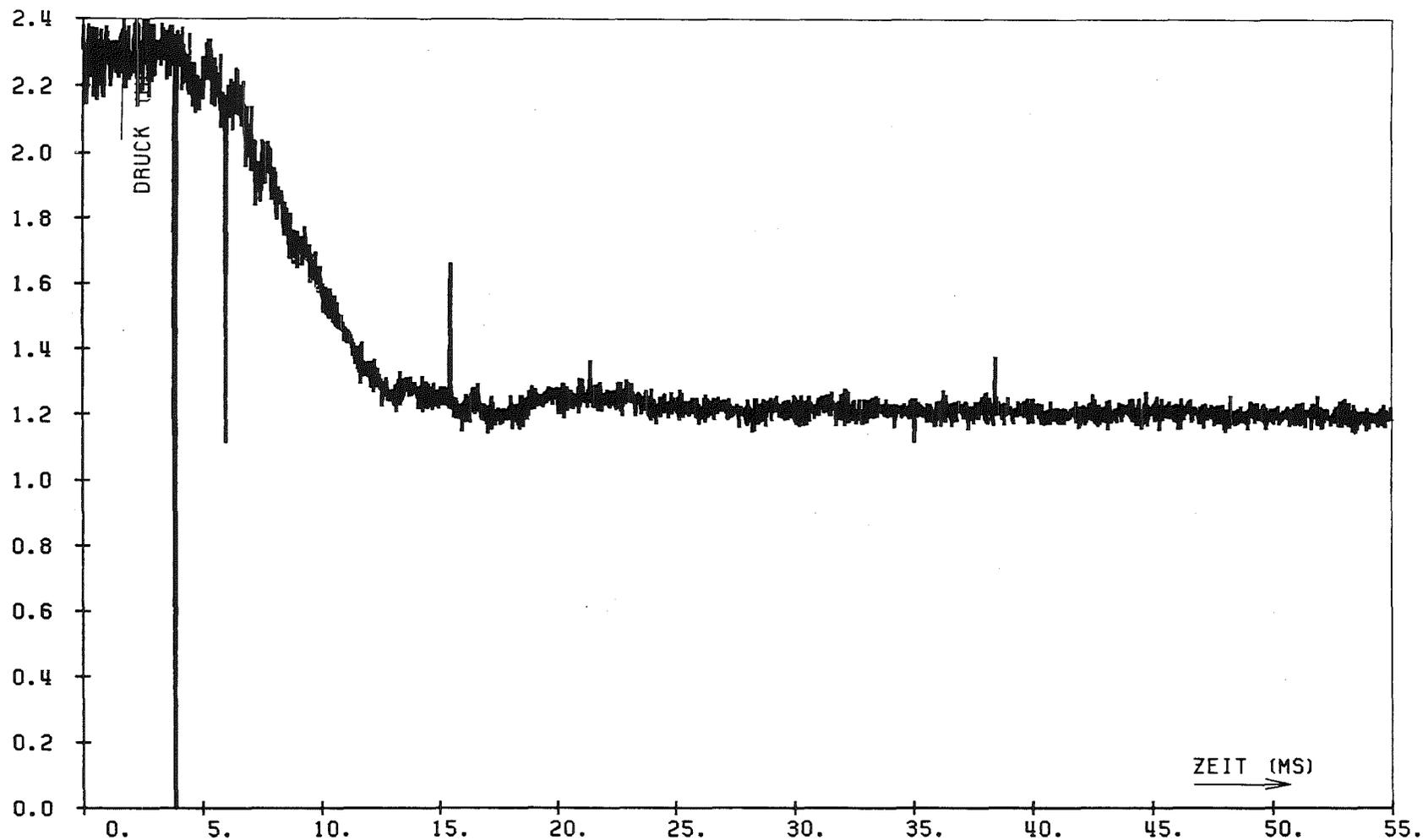


Abb.56 SGI 02-2 1 TR

SIGNAL FUER 0V:	-0.03956 +/- 0.00896	KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER 3V:	2.97339 +/- 0.01209	KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	2.30660 +/- 0.01202	KORRIGIERT:	2.30660 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.54891 +/- 0.00934	KORRIGIERT:	2.58250 +/- 0.03653
LINEARE KORREKTUR:	(0.03947 +/- 0.00921)	+	(0.99769 +/- 0.00697) * X
LOG-VERSTAERKER-BASIS:	1.00266 +/- 0.00591		
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.22344 +/- 0.04578	(+/- 3.74181 PROZENT)	

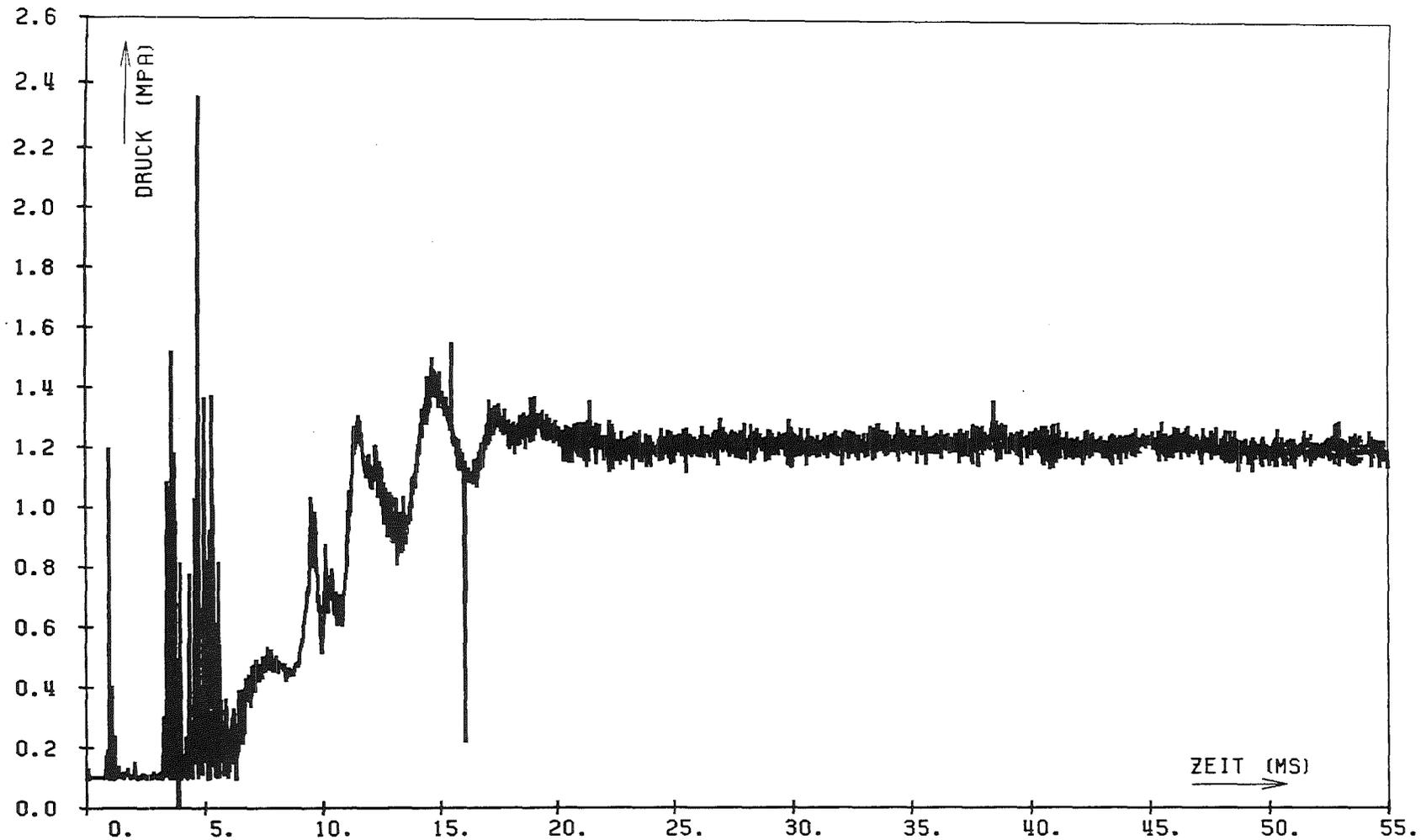


Abb.57 SGI 02-2 2 TR

SIGNAL FUER 0V:	-0.06204 +/- 0.01053	KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER 3V:	2.95133 +/- 0.01312	KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	-0.08129 +/- 0.01801	KORRIGIERT:	-0.08129 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.50511 +/- 0.01346	KORRIGIERT:	2.56087 +/- 0.04447
LINEARE KORREKTUR:	(0.06189 +/- 0.01099)	+	(0.99755 +/- 0.00783) * X
LOG-VERSTAERKER-BASIS:	0.99516 +/- 0.00858		
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.17918 +/- 0.06218	(+/- 5.27316 PROZENT)	

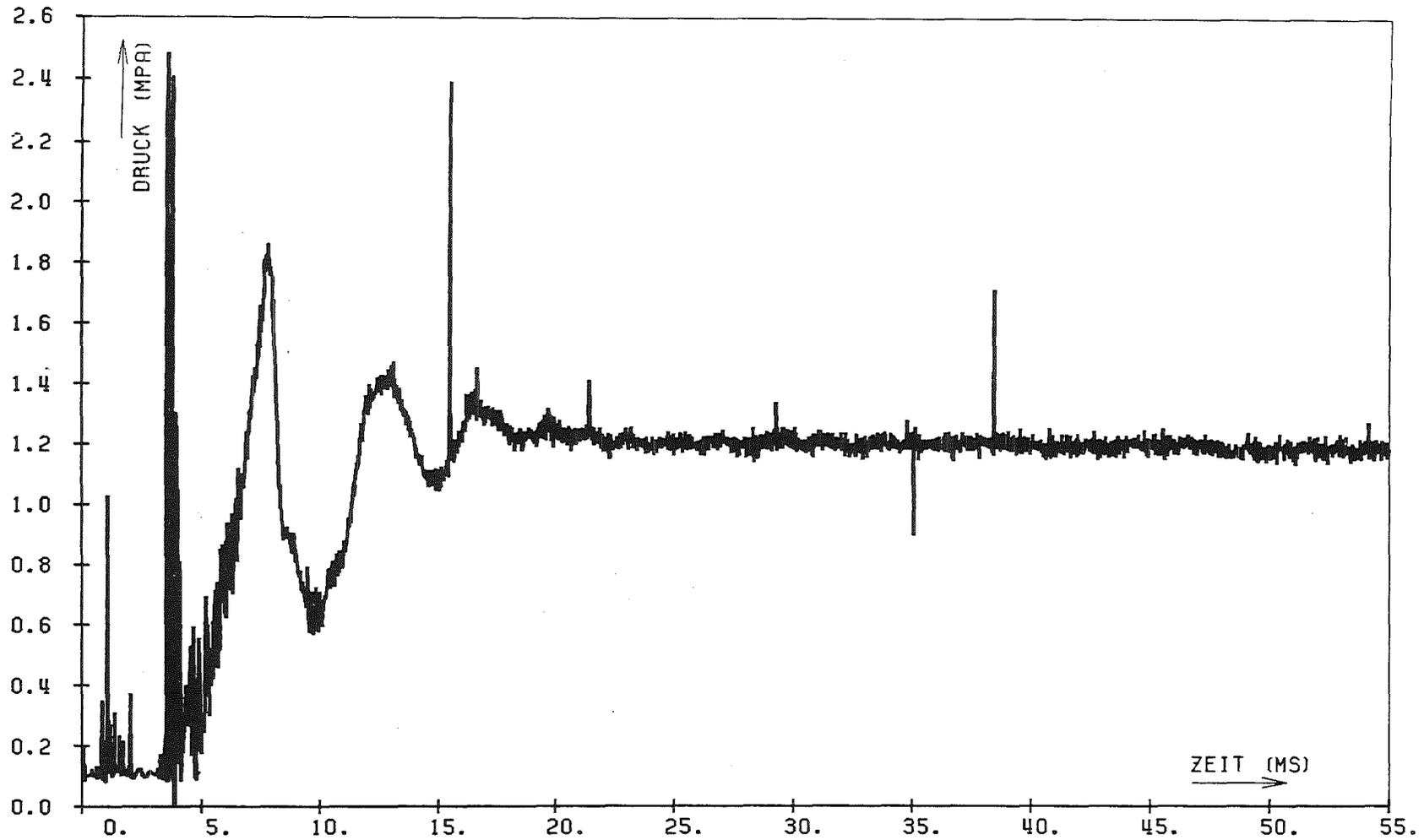


Abb.58

SGI 02-2 3 TR

SIGNAL FUER OV:	-0.03672 +/-	0.01874	KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER 3V:	2.98536 +/-	0.01539	KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	-0.03945 +/-	0.02944	KORRIGIERT:	-0.03945 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.59061 +/-	0.01257	KORRIGIERT:	2.61334 +/- 0.06092
LINEARE KORREKTUR:	(0.03653 +/-	0.01905)	+	(0.99468 +/- 0.01123) * x
LOG-VERSTAERKER-BASIS:	0.99949 +/-	0.00779		
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.18595 +/-	0.07648	(+/-	6.44872 PROZENT)

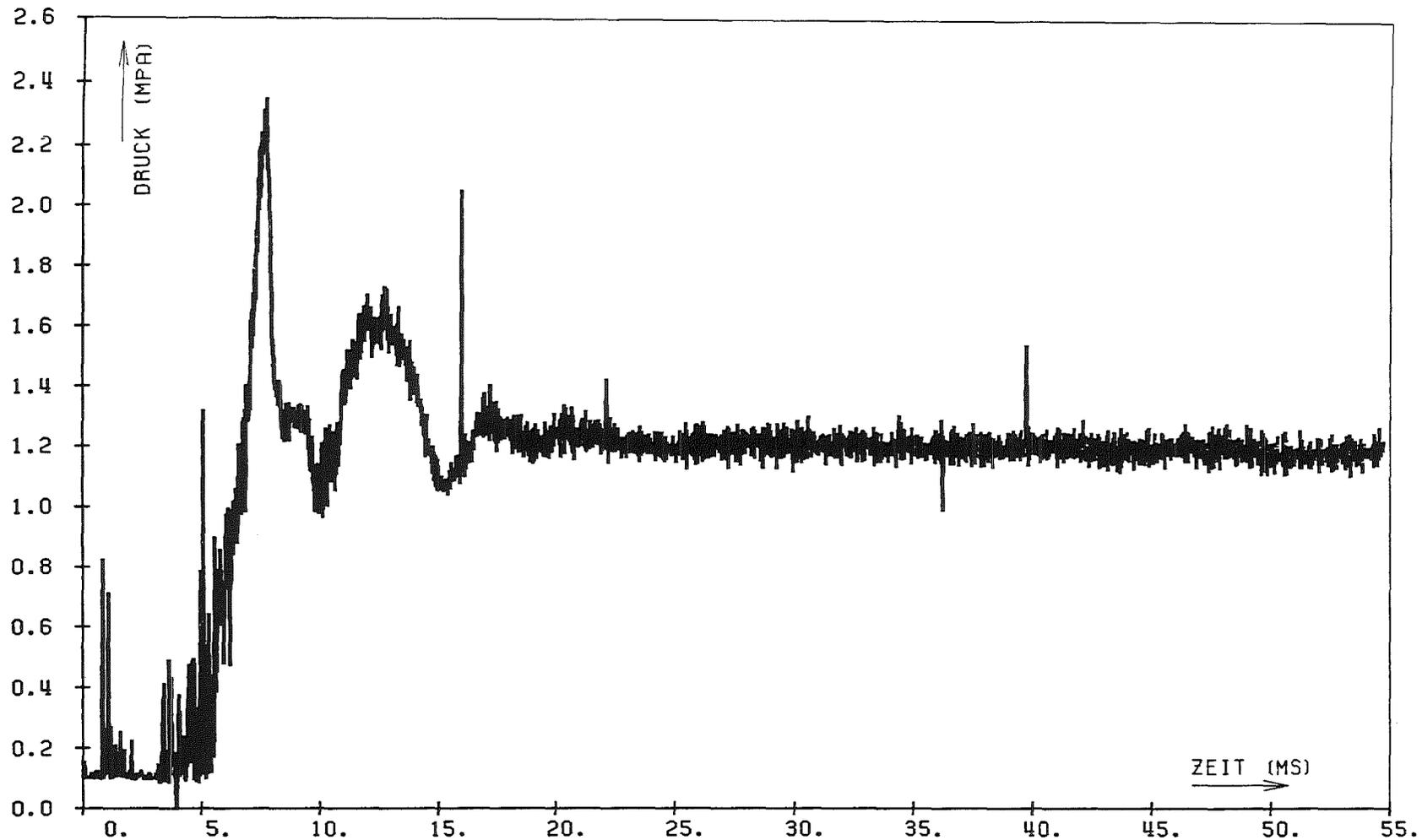


Abb.59 SGI-02-2 4 TR

SIGNAL FUER OV:	-0.03977 +/- 0.01780	KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER 3V:	2.97471 +/- 0.01799	KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	-0.05495 +/- 0.02761	KORRIGIERT:	-0.05495 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.56081 +/- 0.02619	KORRIGIERT:	2.59327 +/- 0.07503
LINEARE KORREKTUR:	(0.03966 +/- 0.01822)	+	(0.99719 +/- 0.01184) * X
LOG-VERSTAERKER-BASIS:	0.99622 +/- 0.01637		
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.17757 +/- 0.08912	(+/-	7.56820 PROZENT)

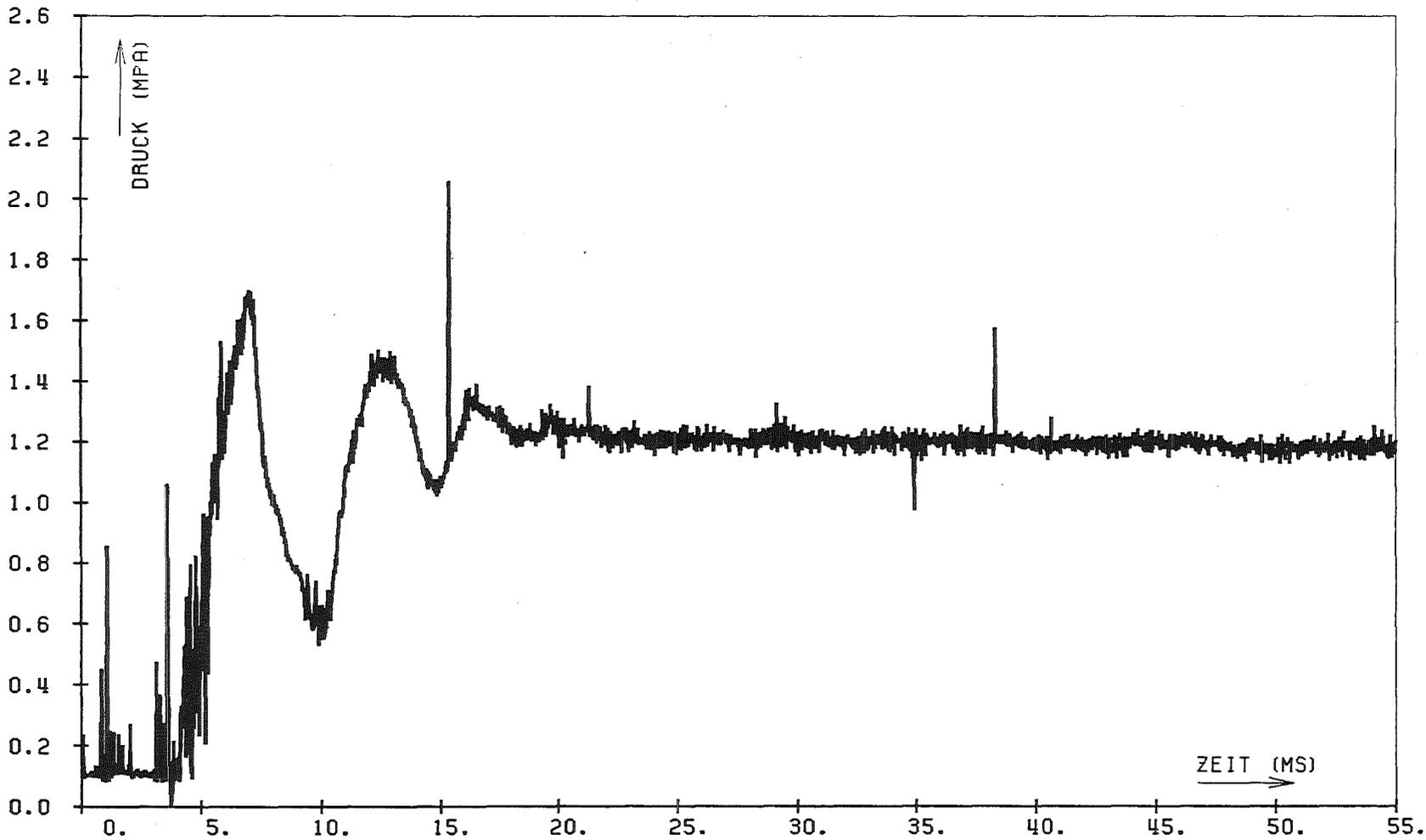


Abb.60 SGI 02-2 5 TR

SIGNAL FUER OV:	-0.04974 +/- 0.00682	KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER 3V:	2.95796 +/- 0.01068	KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	-0.03947 +/- 0.02340	KORRIGIERT:	-0.03947 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.50705 +/- 0.02024	KORRIGIERT:	2.55534 +/- 0.04219
LINEARE KORREKTUR:	(0.04971 +/- 0.00710)	+	(0.99943 +/- 0.00581) * X
LOG-VERSTAERKER-BASIS:	0.99217 +/- 0.01291		
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.18244 +/- 0.07126	(+/- 6.02622 PROZENT)	

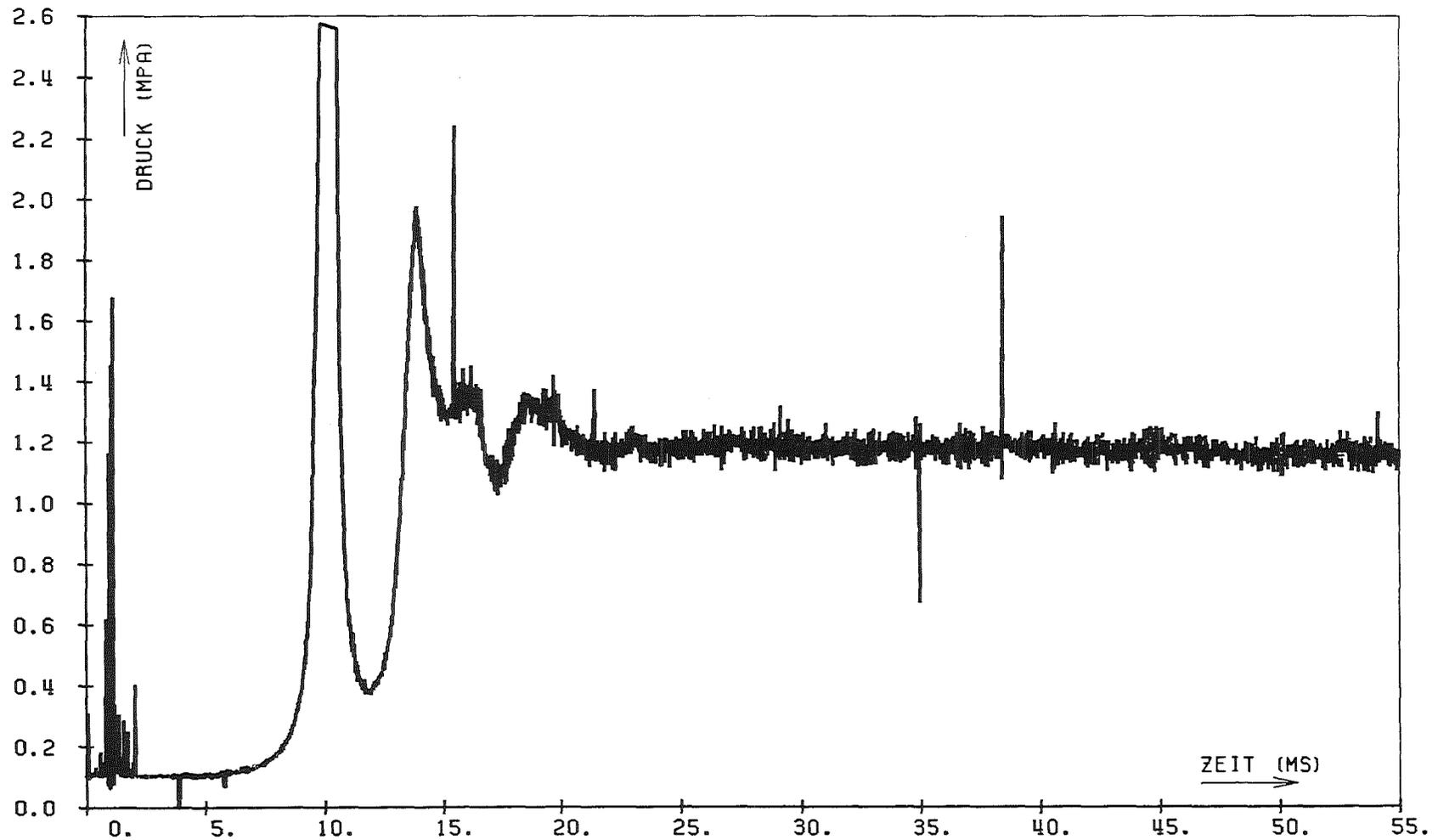


Abb.61 SGI 02-2 6 TR

SIGNAL FUER 0V:	-0.05171 +/-	0.01934	KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER 3V:	2.96438 +/-	0.02117	KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	-0.04588 +/-	0.02777	KORRIGIERT:	-0.04588 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.55490 +/-	0.02294	KORRIGIERT:	2.59789 +/- 0.07761
LINEARE KORREKTUR:	(0.05153 +/-	0.01997)	+	(0.99666 +/- 0.01339) * X
LOG-VERSTAERKER-BASIS:	0.99545 +/-	0.01429		
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.15037 +/-	0.07807	(+/-	6.78661 PROZENT)

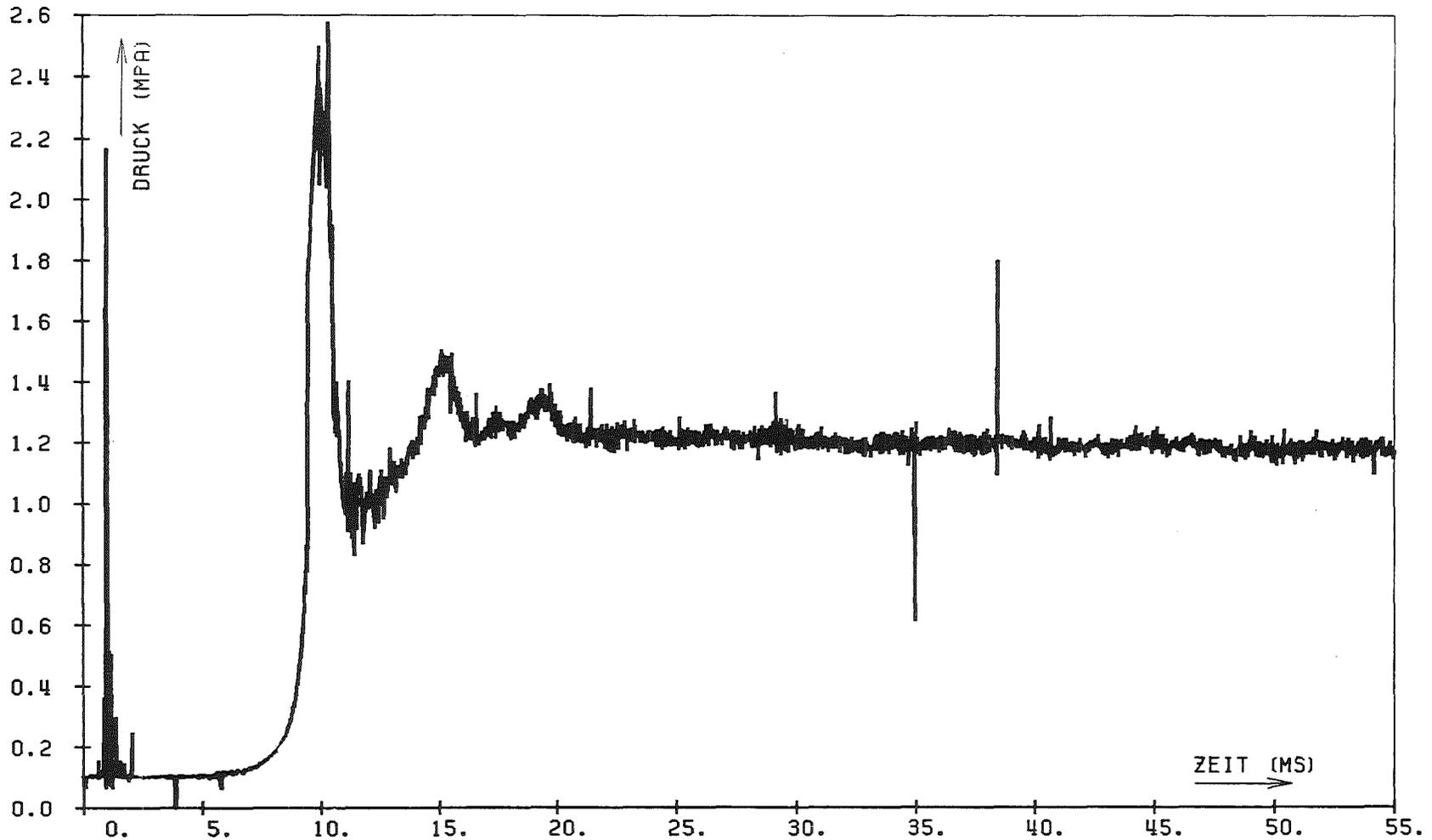


Abb.62 SGI 02-2 7 TR

SIGNAL FUER OV:	-0.04061 +/-	0.00751	KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER 3V:	2.96055 +/-	0.01109	KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	-0.02043 +/-	0.01868	KORRIGIERT:	-0.02043 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.58011 +/-	0.01284	KORRIGIERT:	2.62494 +/- 0.03694
LINEARE KORREKTUR:	(0.04068 +/-	0.00777)	+	(1.00161 +/- 0.00621) * X
LOG-VERSTAERKER-BASIS:	0.99791 +/-	0.00789		
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.17506 +/-	0.06508	(+/-	5.53835 PROZENT)

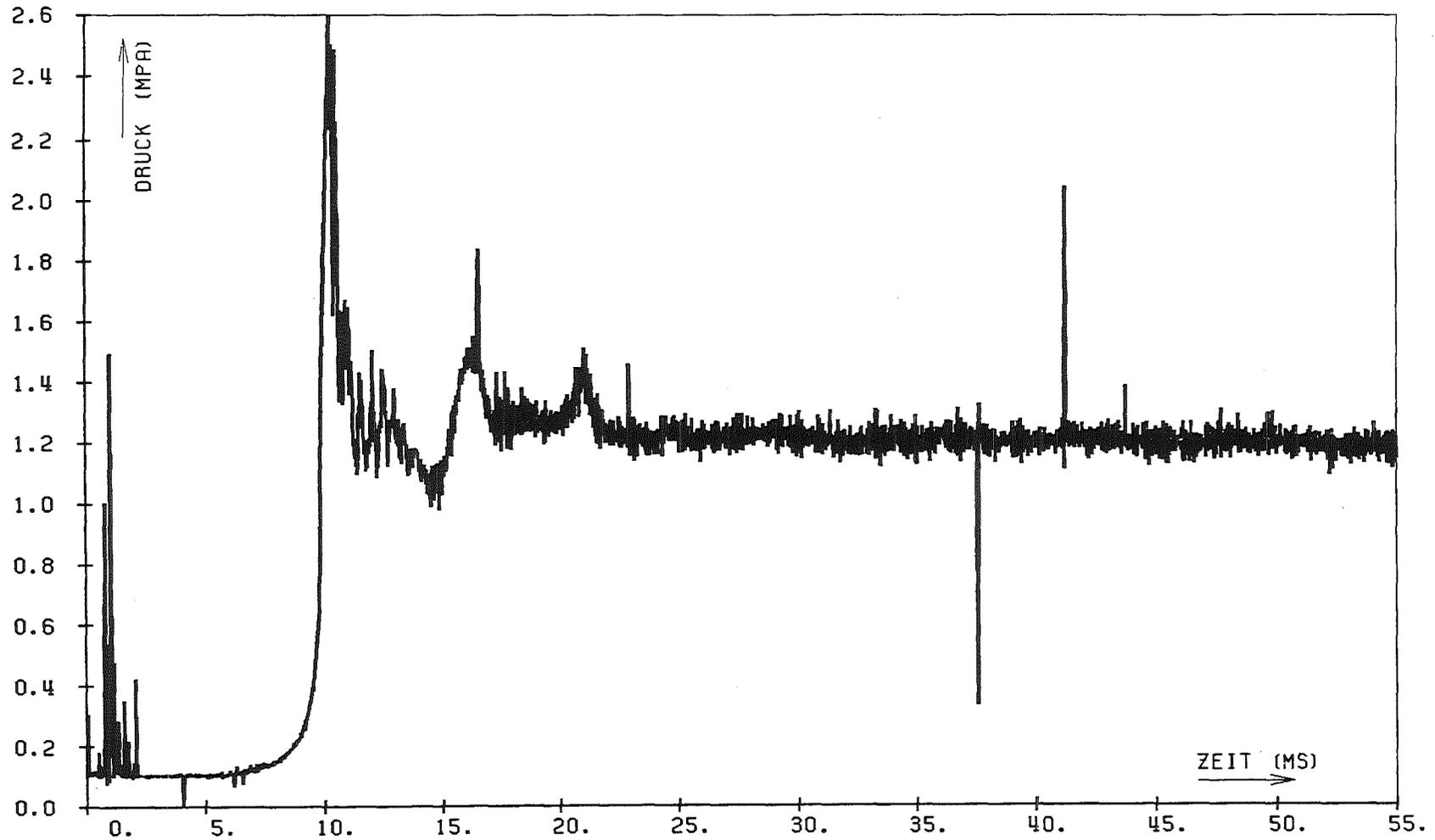
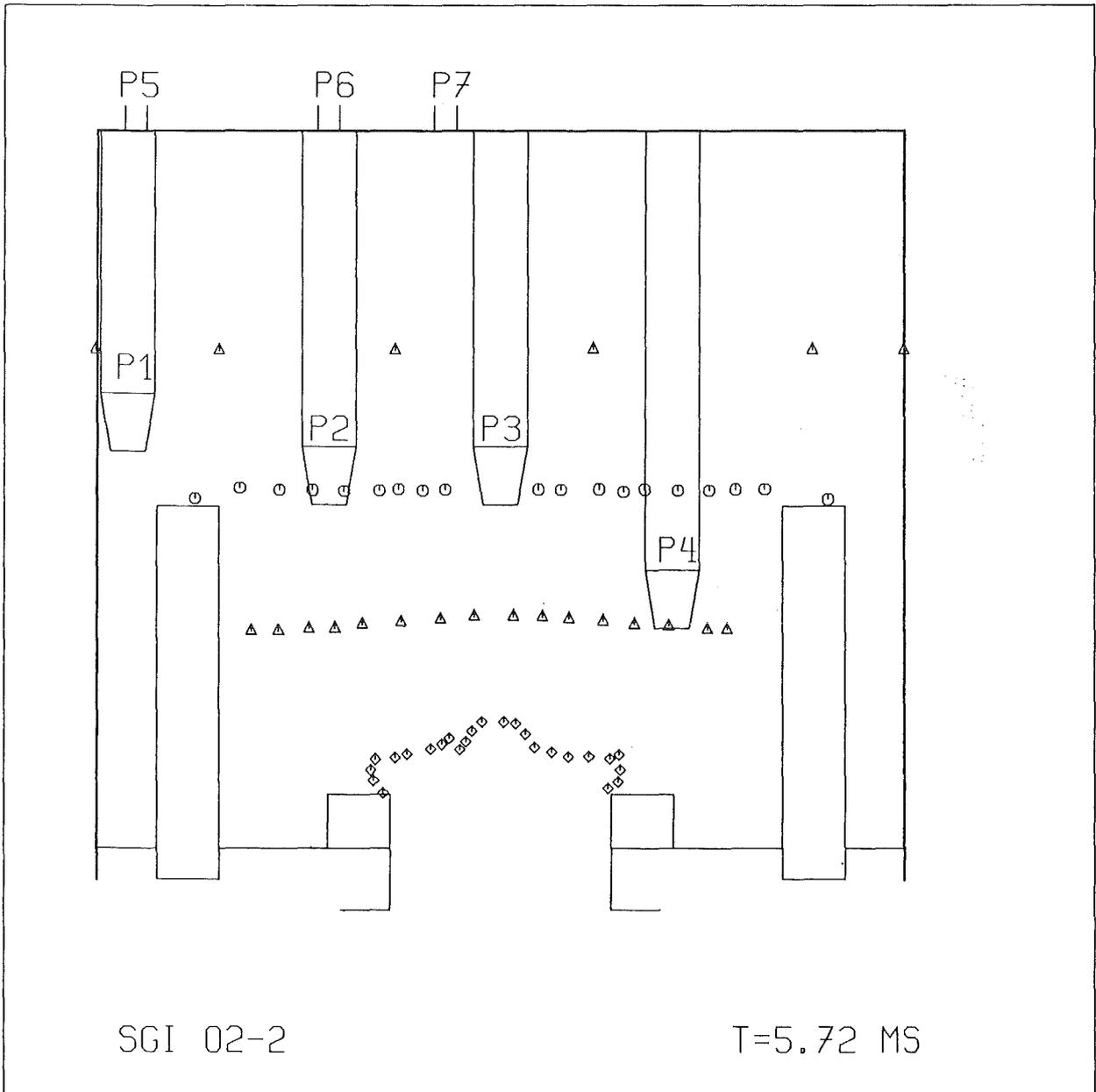


Abb.63 SGI 02-2 8 TR

SIGNAL FUER OV:	-0.04845 +/- 0.01671	KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER 3V:	2.97708 +/- 0.01867	KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	-0.05499 +/- 0.02586	KORRIGIERT:	-0.05499 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.60694 +/- 0.01930	KORRIGIERT:	2.63825 +/- 0.06699
LINEARE KORREKTUR:	(0.04814 +/- 0.01717)	+	(0.99354 +/- 0.01162) * X
LOG-VERSTAERKER-BASIS:	0.99625 +/- 0.01173		
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.18625 +/- 0.07080	(+/- 5.96861 PROZENT)	



- ◇ Blase
- △ (unten) untere Kugeln
- obere Kugeln
- △ (oben) Wasseroberfläche

Abb.64a SGI 02-2, Kontur der Blase und Positionen der Kugeln

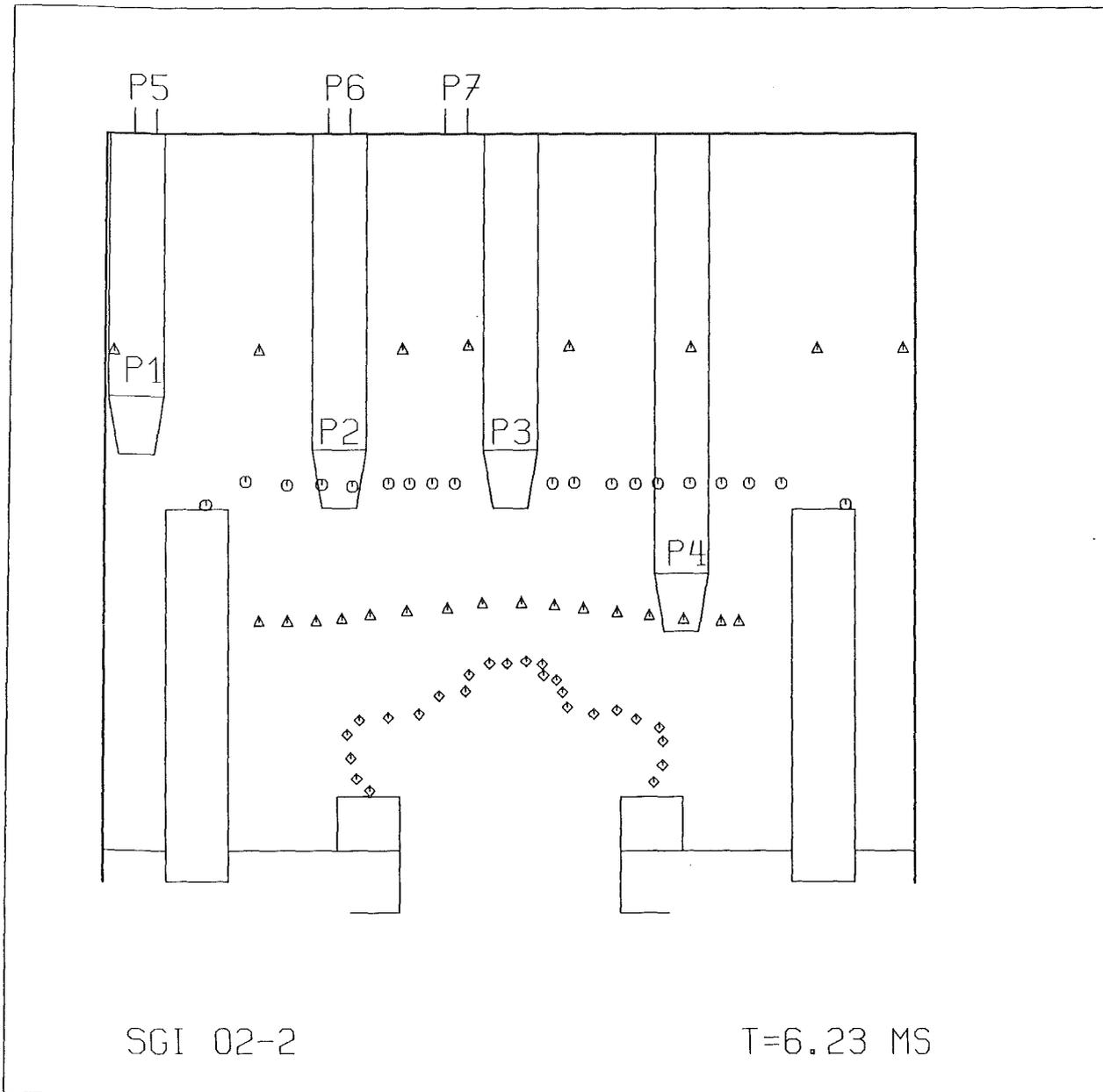


Abb.64b SGI 02-2, Kontur der Blase und Positionen der Kugeln

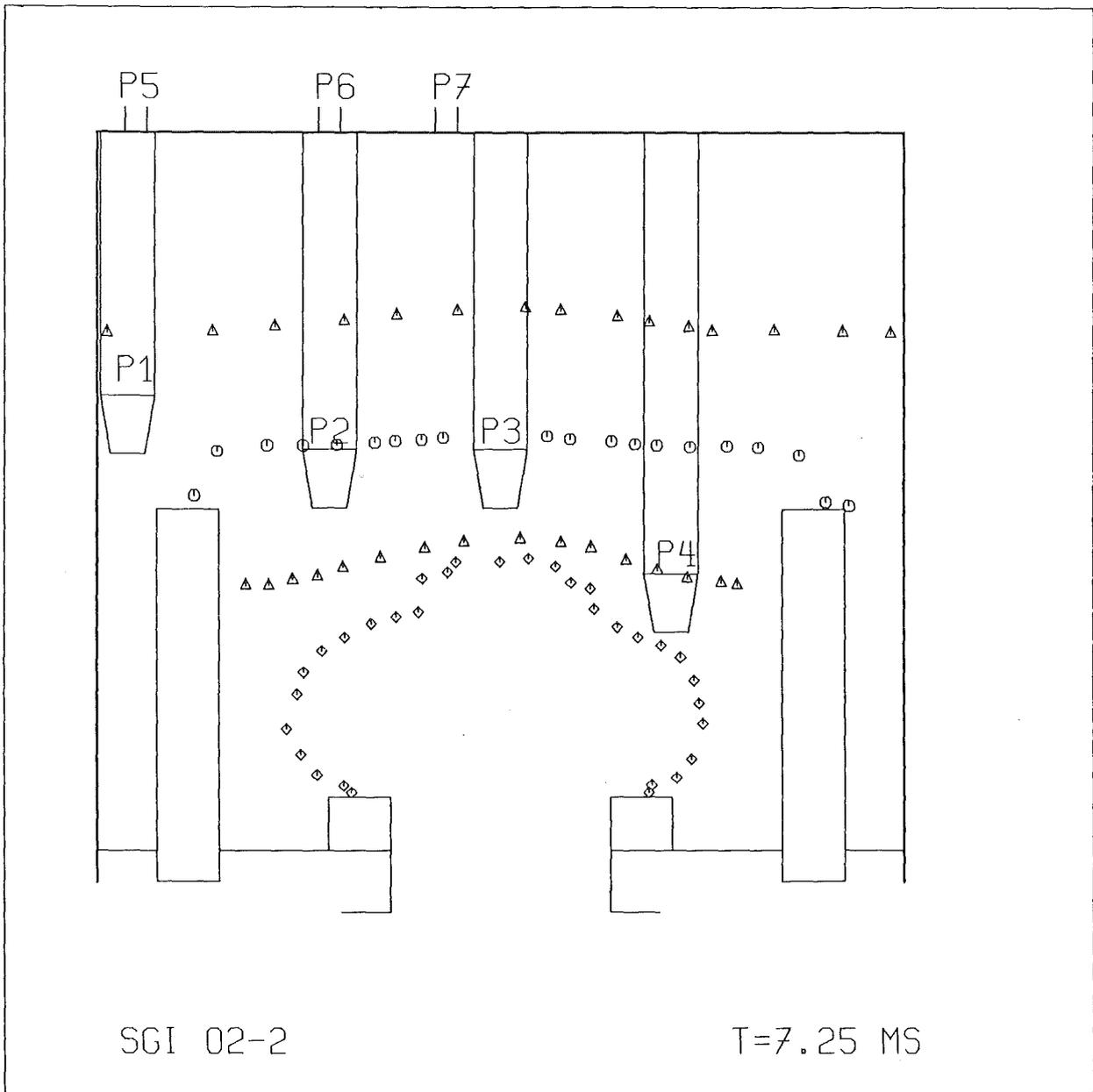


Abb.64d SGI 02-2, Kontur der Blase und Positionen der Kugeln

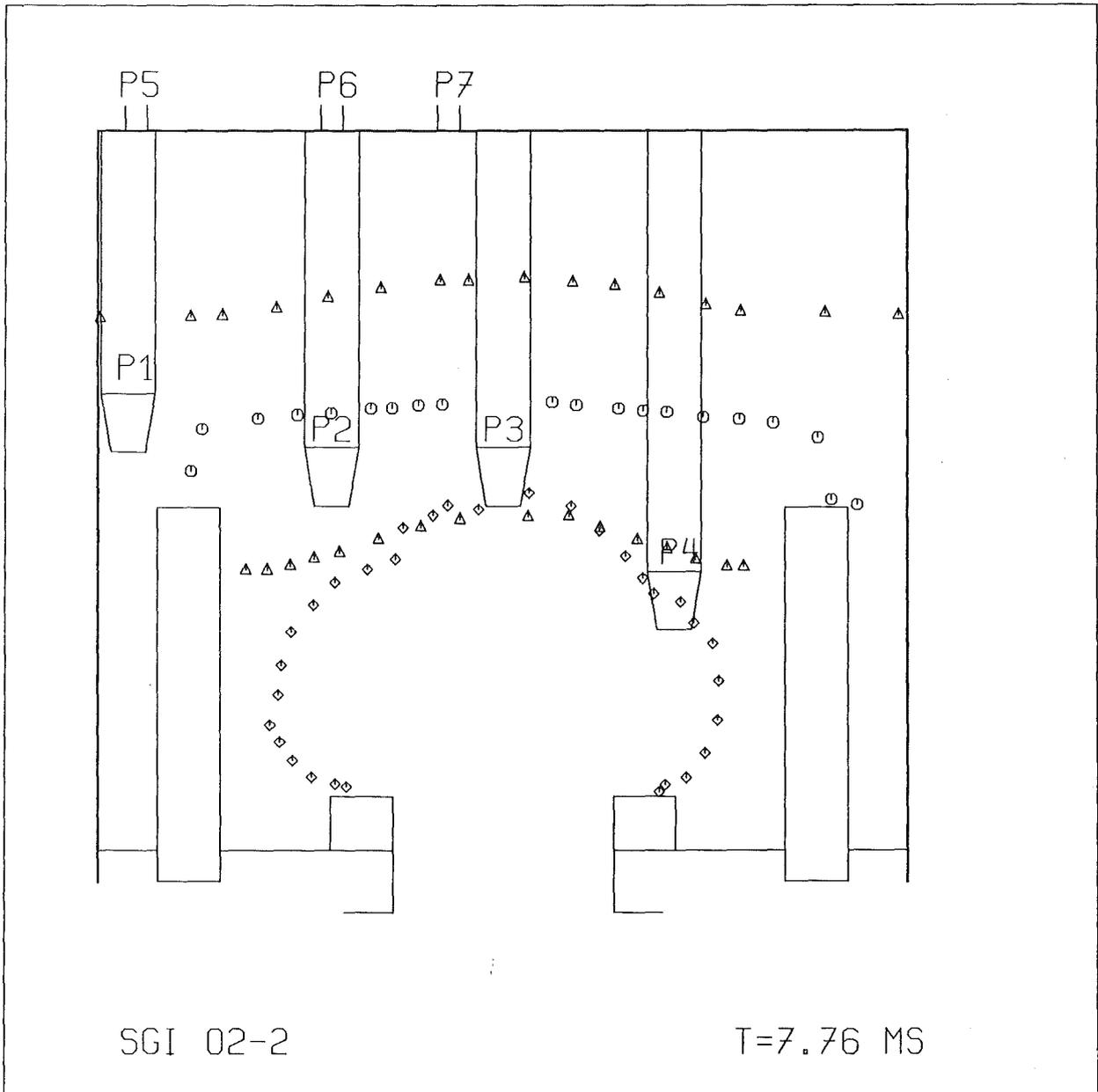


Abb.64e SGI 02-2, Kontur der Blase, und Positionen der Kugeln

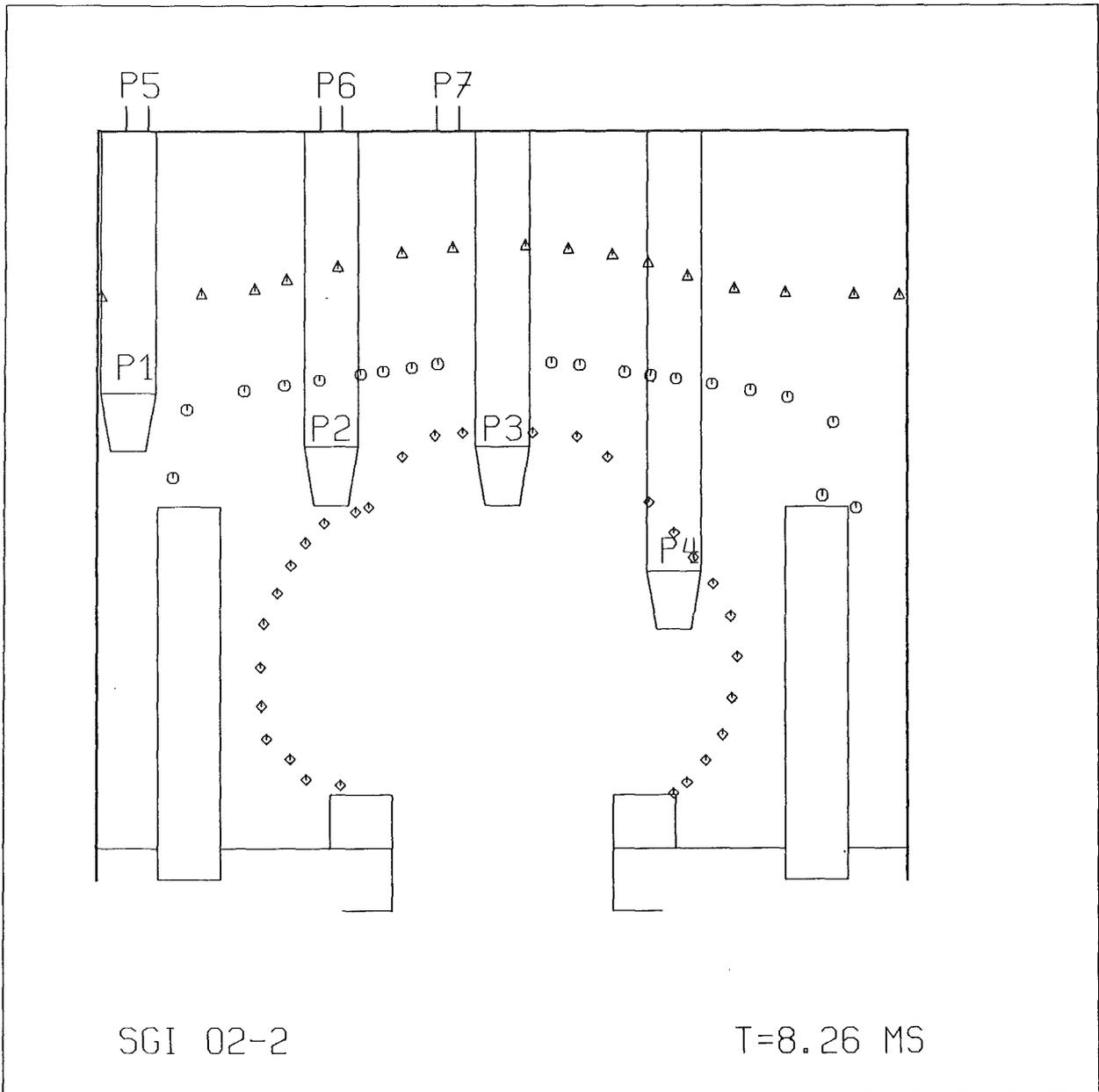


Abb.64f SGI 02-2, Kontur der Blase und Positionen der Kugeln

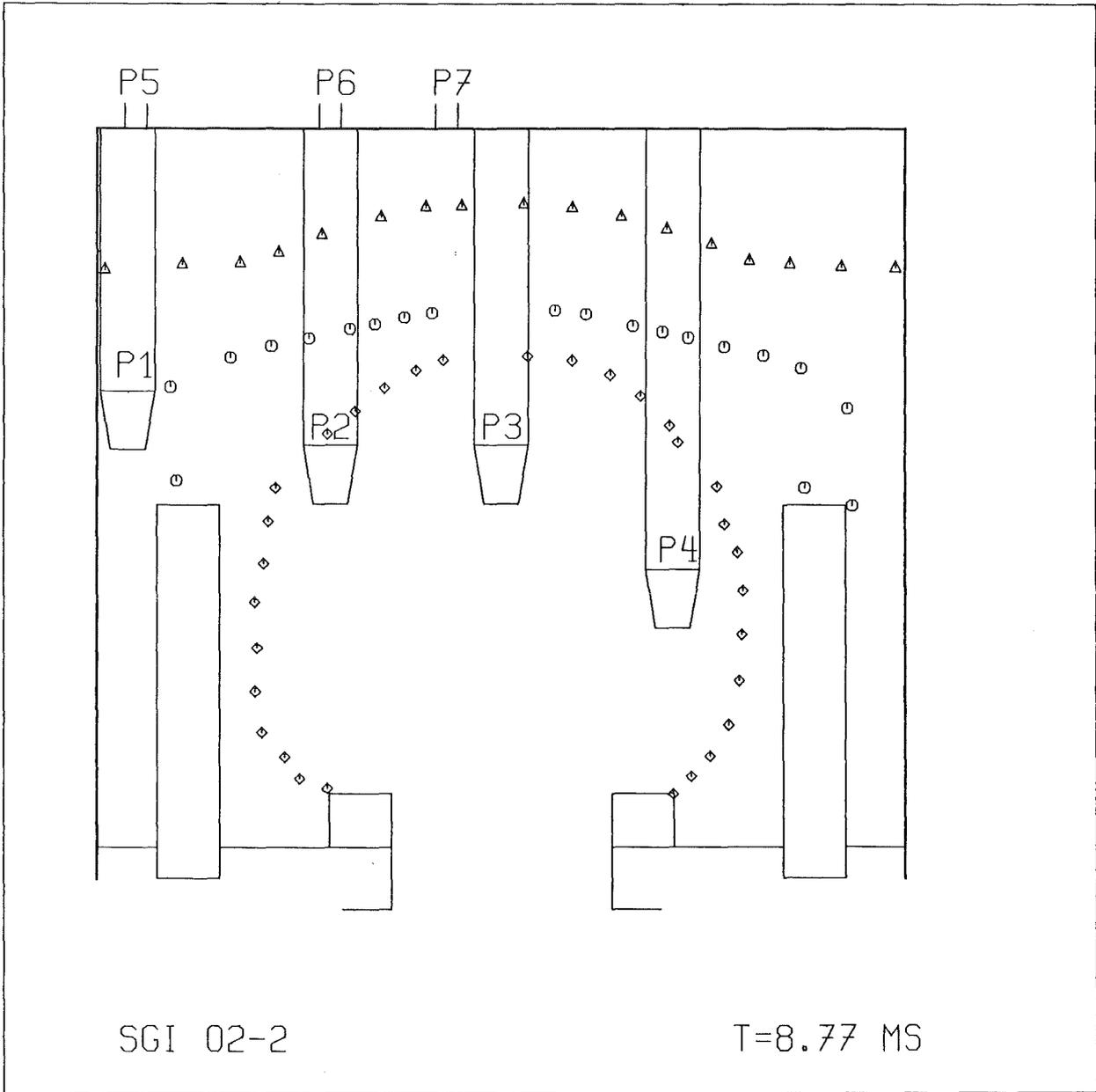
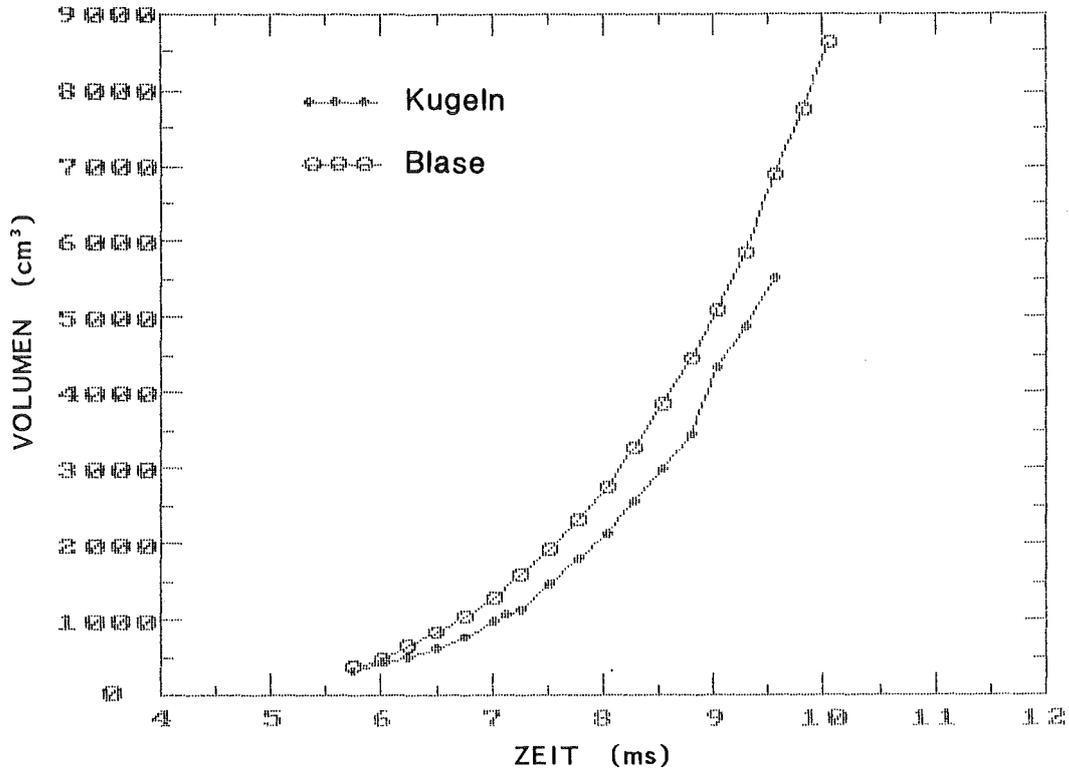
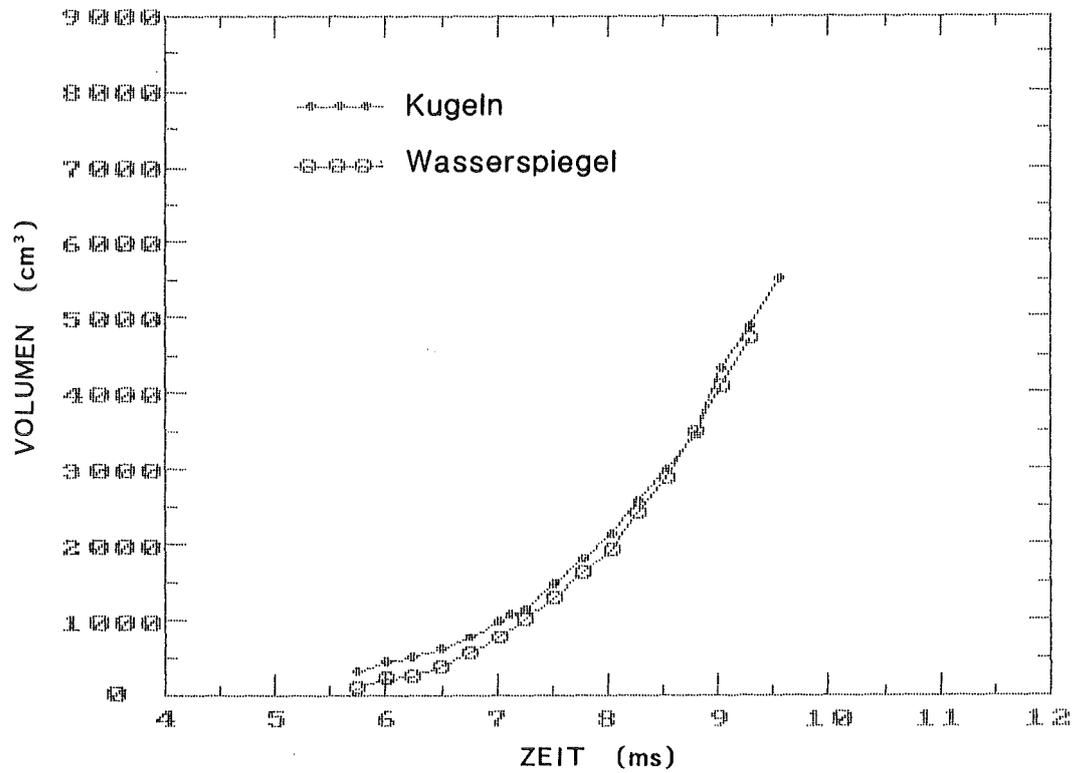


Abb.64g SGI 02-2, Kontur der Blase und Positionen der Kugeln



SGI 02-2 BLASENVOLUMEN		
ZEIT (MS)	VOLUMEN (CM**3)	ABWEICHUNG (%)
5.73	355.	10.2
5.98	457.	10.3
6.23	635.	8.0
6.49	818.	10.5
6.74	1042.	11.8
7.00	1271.	10.3
7.25	1587.	6.4
7.51	1925.	11.1
7.76	2297.	8.7
8.02	2721.	11.0
8.27	3248.	6.9
8.52	3835.	10.0
8.78	4440.	4.6
9.03	5059.	4.4
9.29	5842.	1.4
9.54	6875.	3.1
9.80	7736.	5.9
10.05	8606.	0.7

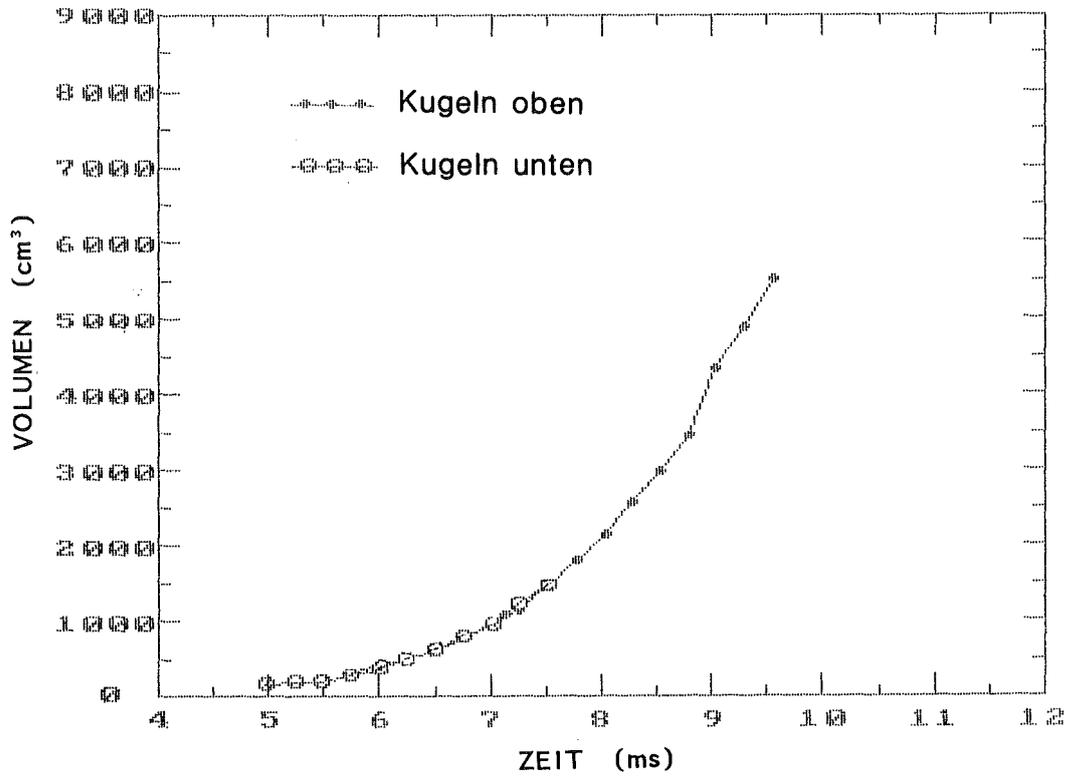
Abb.65 Verdrängungsvolumen SGI 02-2



SGI 02-2 VERDRAENGUNGSVOLUMEN, OBERE KUGELN

ZEIT (MS)	VOLUMEN (CM**3)	ABWEICHUNG (%)
5.73	303.	-19.9
5.98	422.	0.8
6.23	484.	-14.1
6.49	608.	5.6
6.74	769.	-10.5
7.00	986.	-8.5
7.12	1065.	-18.9
7.25	1138.	-16.6
7.51	1444.	-10.4
7.76	1794.	-7.2
8.02	2141.	-5.2
8.27	2557.	-0.5
8.52	2966.	1.7
8.78	3431.	1.6
9.03	4322.	-14.9
9.29	4861.	-15.7
9.54	5486.	-15.2

Abb.66 Verdrängungsvolumen SGI 02-2



SGI 02-2 VERDRAENGUNGSVOLUMEN, UNTERE KUGELN

ZEIT (MS)	VOLUMEN (CM**3)	ABWEICHUNG (%)
4.96	155.	-15.2
5.22	180.	11.3
5.47	197.	7.7
5.73	279.	2.6
5.98	361.	-3.0
6.23	473.	7.4
6.49	600.	6.3
6.74	781.	7.4
7.00	949.	5.4
7.25	1202.	6.2
7.51	1473.	5.5

Abb.67 Verdrängungsvolumen SGI 02-2

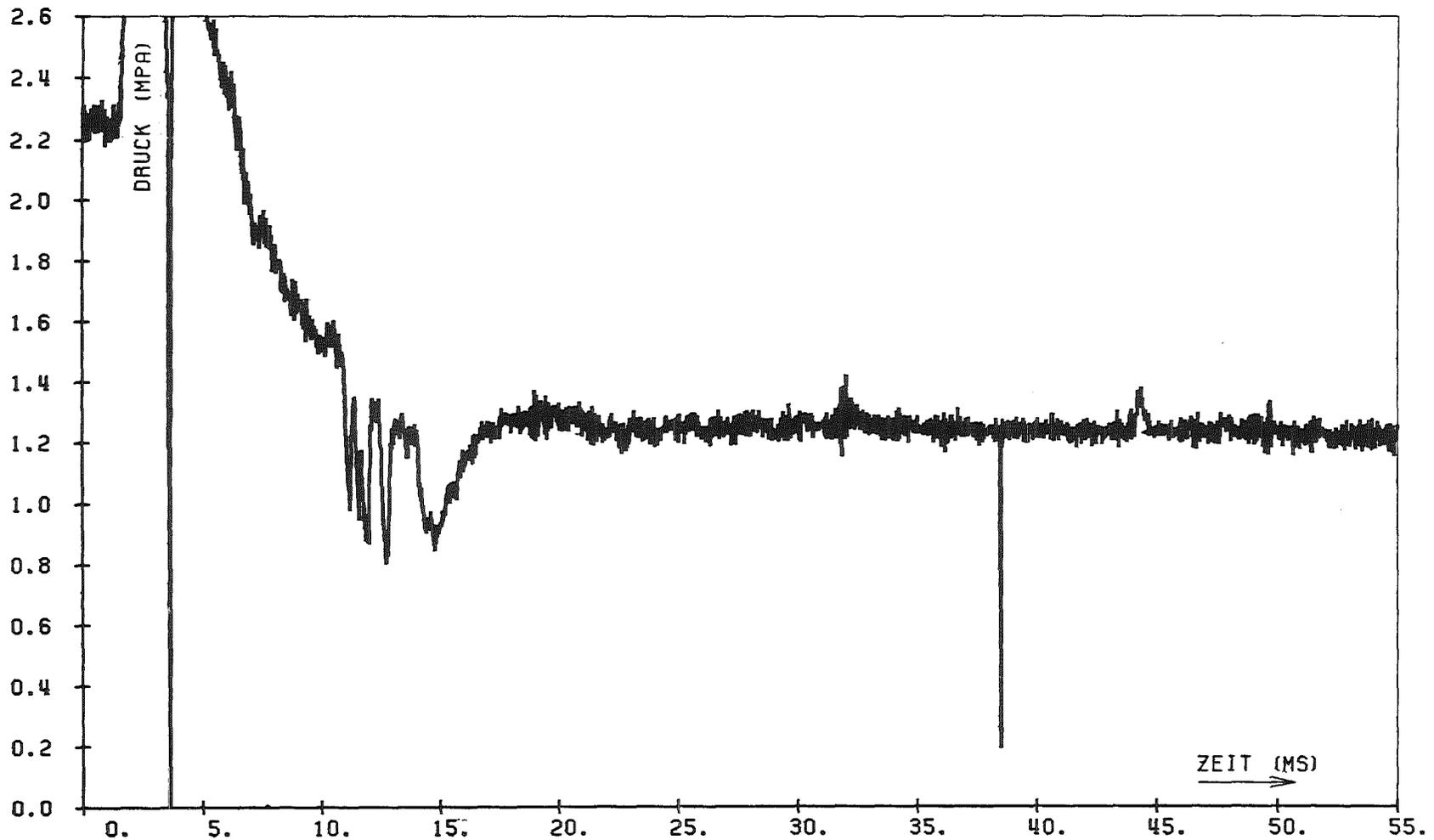


Abb.68 SGI 03-1 1 TR

SIGNAL FUER OV:	-0.03094 +/- 0.01262	KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER 3V:	2.98323 +/- 0.03160	KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	0.0 +/- 0.01399	KORRIGIERT:	0.0 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.31496 +/- 0.01465	KORRIGIERT:	2.33954 +/- 0.06187
LINEARE KORREKTUR:	(0.03085 +/- 0.01304)	+	(0.99729 +/- 0.01463) * X
LOG-VERSTAERKER-BASIS:	0.84649 +/- 0.00926		
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.91411 +/- 0.10184	(+/- 5.32074 PROZENT)	MPA

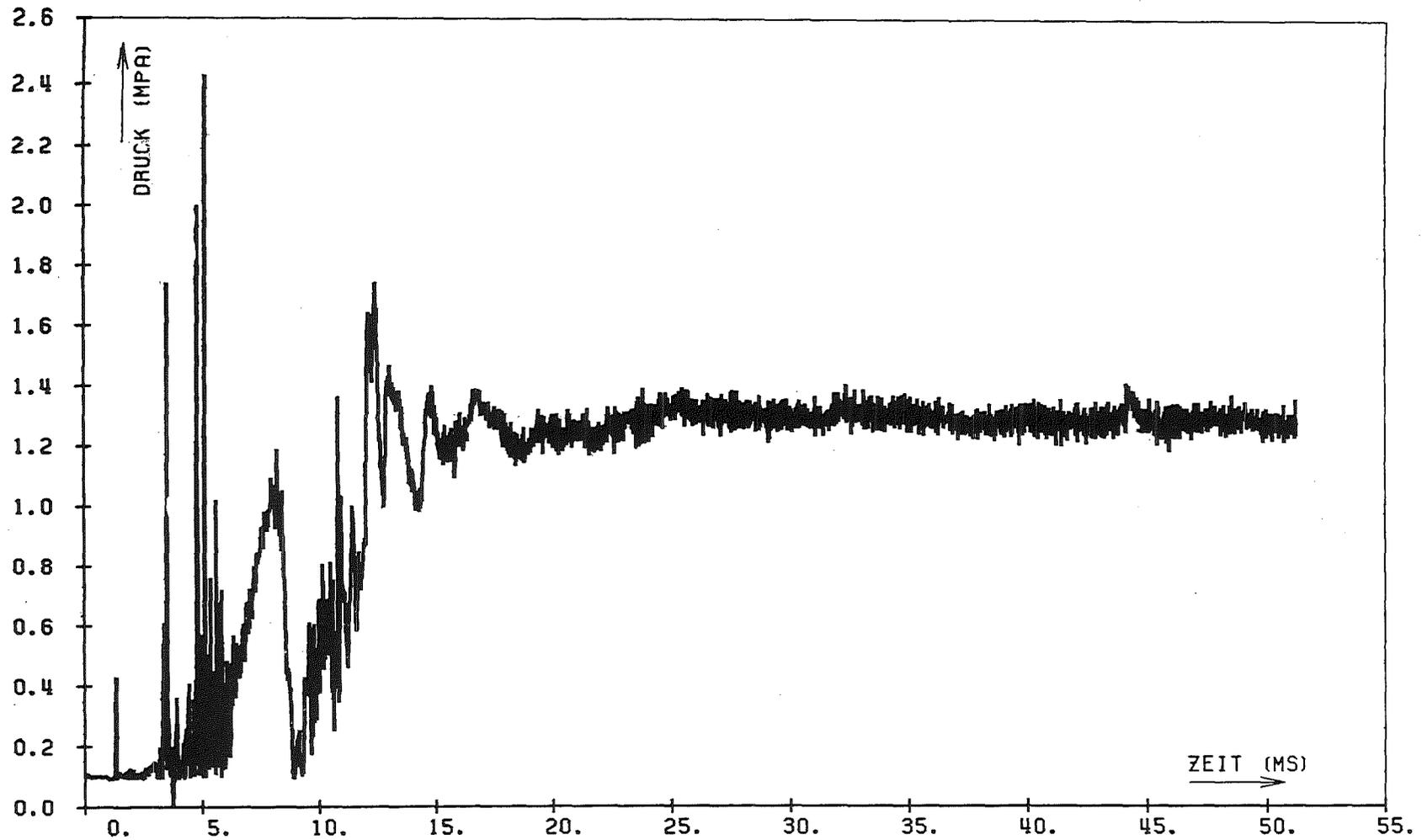


Abb.69 SGI 03-1 2 TR

SIGNAL FUER OV:	-0.05419 +/-	0.01729	KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER 3V:	2.96029 +/-	0.01620	KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	-0.06632 +/-	0.01032	KORRIGIERT:	-0.06632 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.51559 +/-	0.01661	KORRIGIERT:	2.56255 +/- 0.06280
LINEARE KORREKTUR:	- (0.05404 +/- 0.01784) + (0.99719 +/- 0.01108) * X			
LOG-VERSTAERKER-BASIS:	0.99621 +/-	0.01059		
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.26489 +/-	0.08733	(+/- 6.90383 PROZENT)	MPA

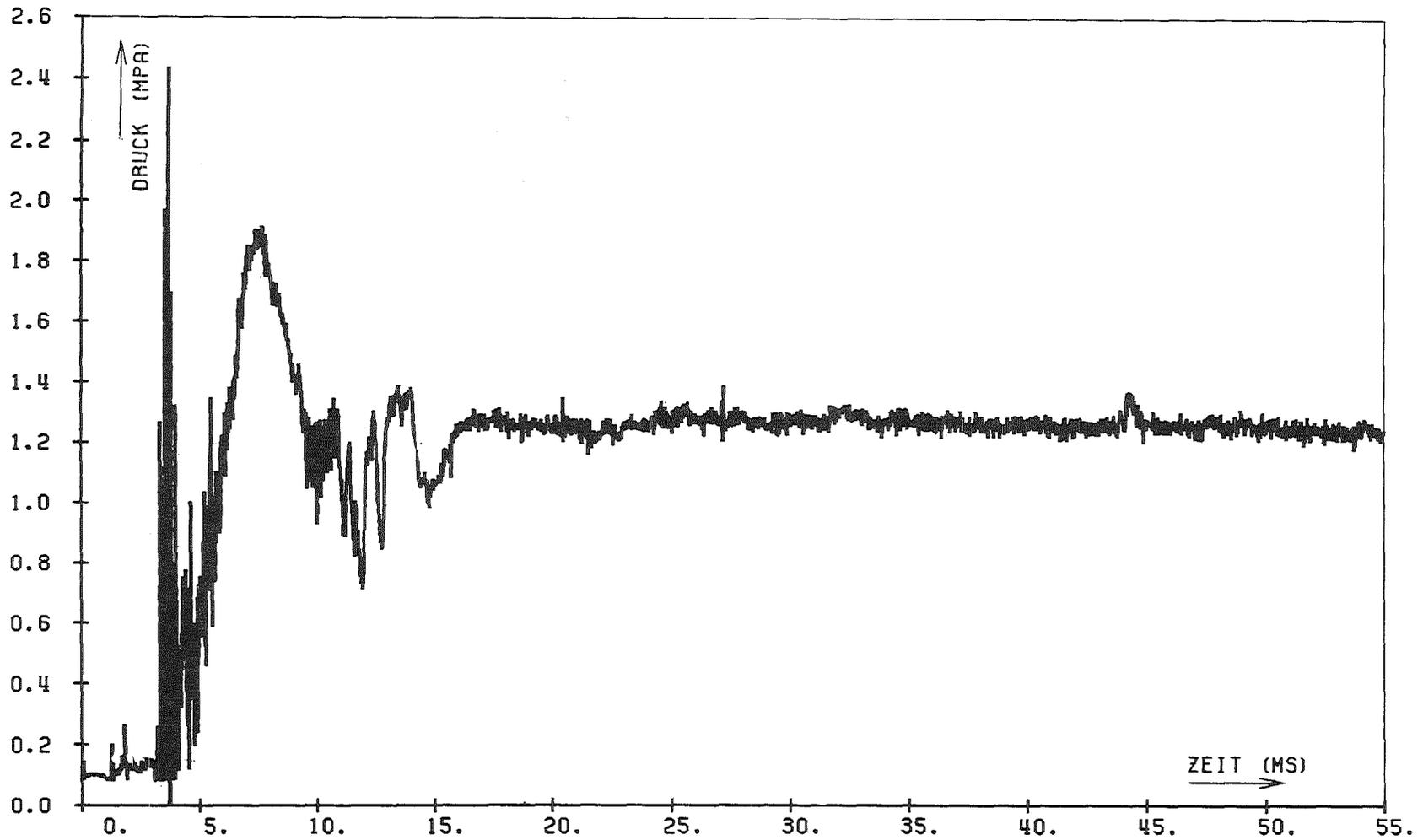


Abb.70 SGI 03-1 3 TR

SIGNAL FUER 0V:	-0.02646 +/-	0.00996	KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER 3V:	3.00040 +/-	0.01572	KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	-0.02709 +/-	0.01010	KORRIGIERT:	-0.02709 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.60267 +/-	0.03023	KORRIGIERT:	2.61101 +/- 0.06213
LINEARE KORREKTUR:	(0.02628 +/-	0.01011)	+	(0.99311 +/- 0.00843) * X
LOG-VERSTAERKER-BASIS:	0.99803 +/-	0.01873		
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.24438 +/-	0.13105	(+/- 10.53154 PROZENT)	MPA

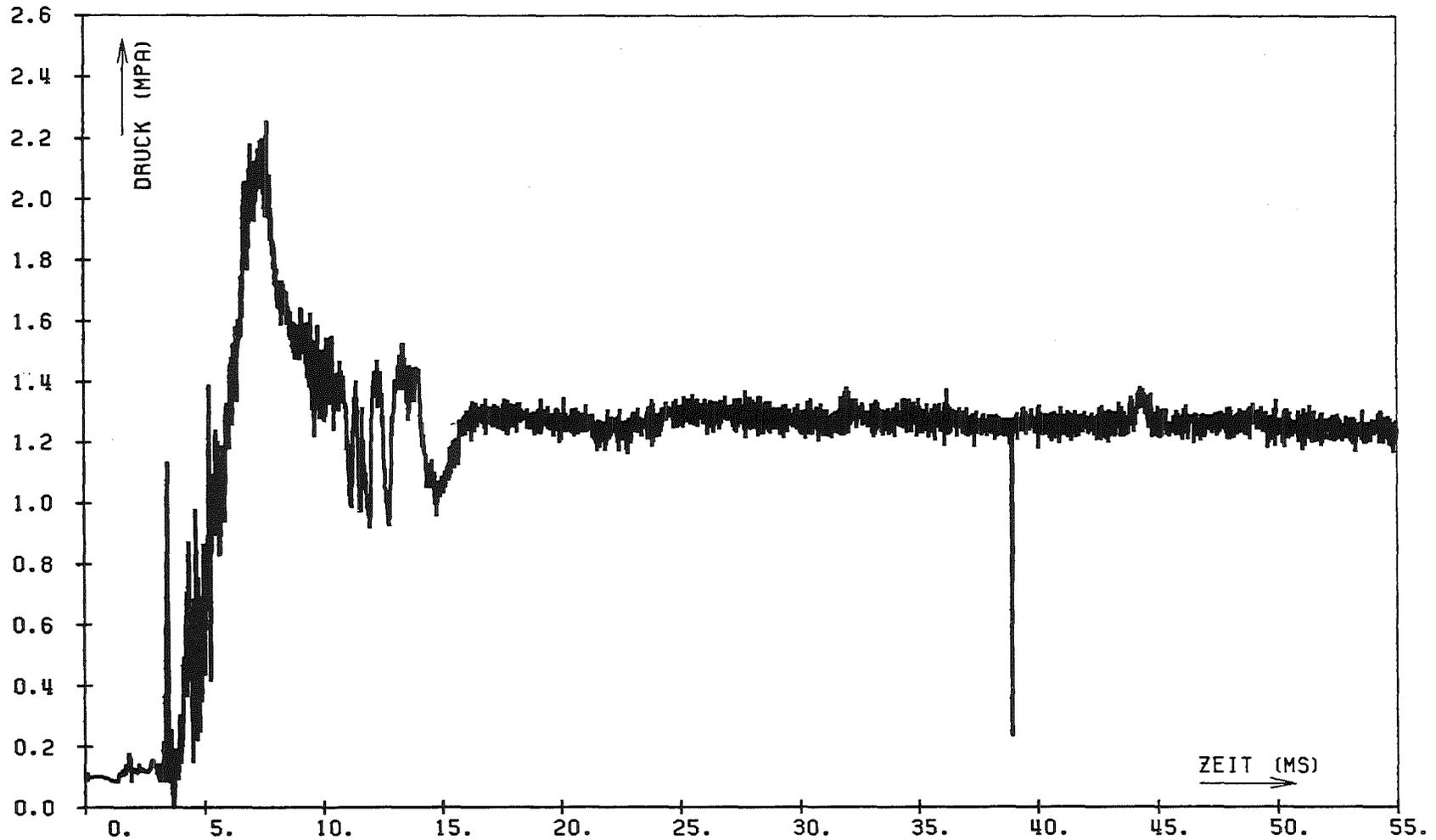


Abb.71 SGI 03-1 4 TR

SIGNAL FUER 0V:	-0.03235 +/- 0.00973	KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER 3V:	2.98422 +/- 0.01332	KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	-0.05194 +/- 0.01021	KORRIGIERT:	-0.05194 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.56864 +/- 0.02551	KORRIGIERT:	2.59188 +/- 0.05510
LINEARE KORREKTUR:	(0.03223 +/- 0.00994)	+	(0.99650 +/- 0.00761) * X
LOG-VERSTAERKER-BASIS:	0.99535 +/- 0.01595		
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.24590 +/- 0.09307	(+/- 7.47019 PROZENT)	MPa

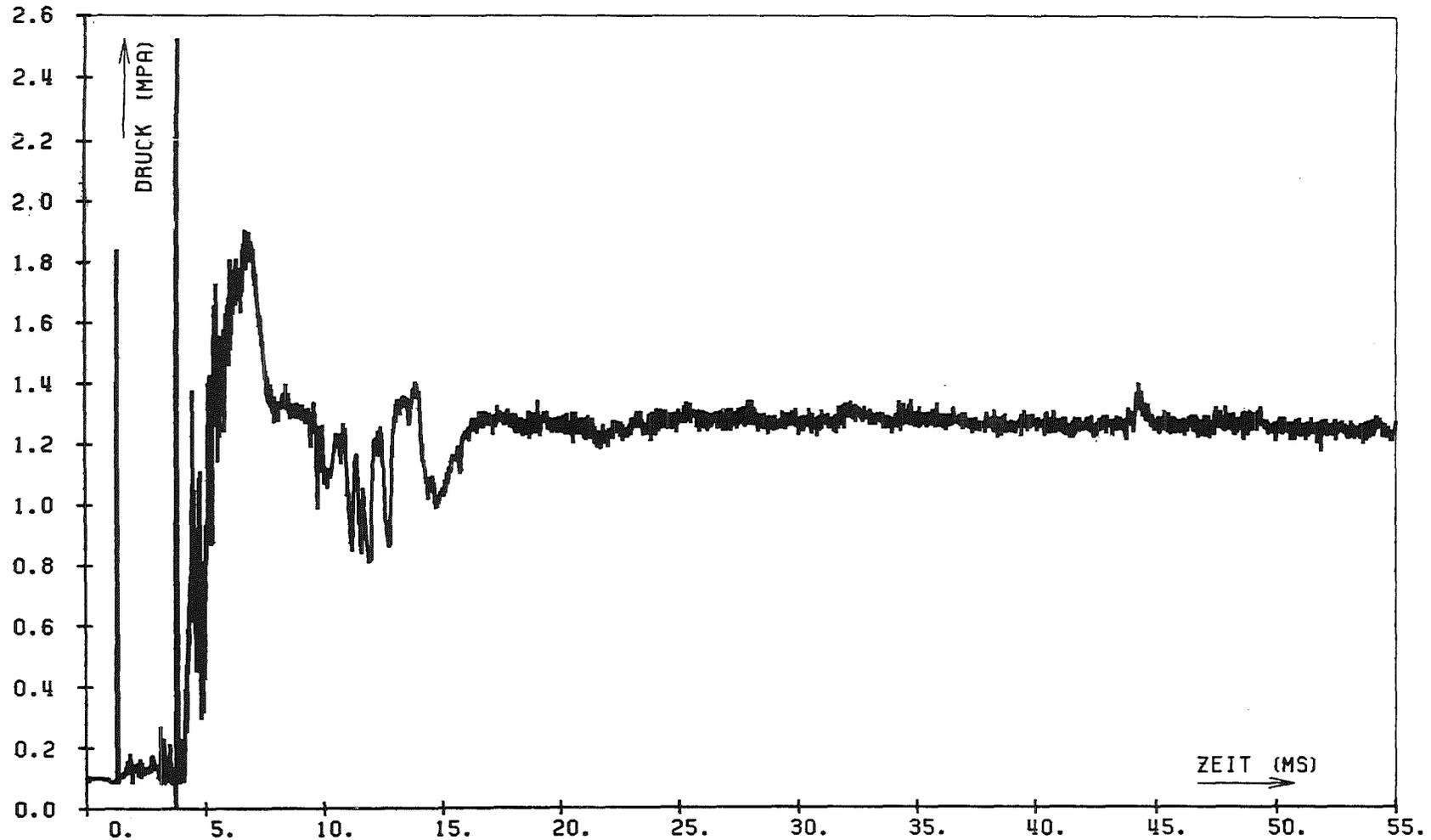


Abb.72 SGI 03-1 5 TR

SIGNAL FUER OV:	-0.04109 +/-	0.00745	KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER 3V:	2.96875 +/-	0.01245	KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	-0.05847 +/-	0.01248	KORRIGIERT:	-0.05847 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.51722 +/-	0.02401	KORRIGIERT:	2.55505 +/- 0.04855
LINEARE KORREKTUR:	(0.04103 +/-	0.00771)	+	(0.99873 +/- 0.00660) * X
LOG-VERSTAERKER-BASIS:	0.99202 +/-	0.01532		
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.25993 +/-	0.08368	(+/- 6.64201 PROZENT)	MPA

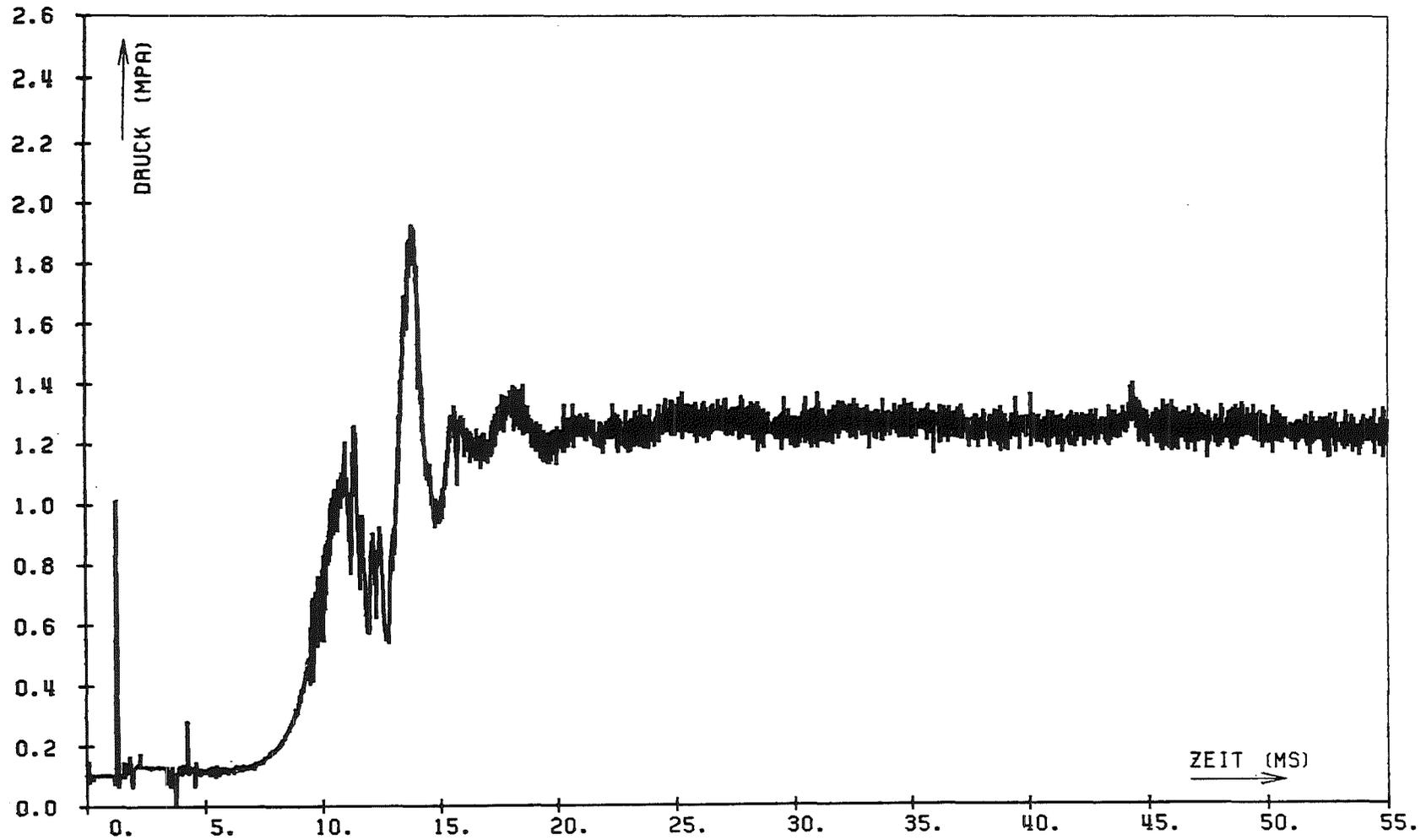


Abb.73 SGI 03-1 6 TR

SIGNAL FUER OV:	-0.04057 +/-	0.01003	KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER 3V:	2.97776 +/-	0.01484	KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	-0.04253 +/-	0.02619	KORRIGIERT:	-0.04253 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.56879 +/-	0.01334	KORRIGIERT:	2.59870 +/- 0.04493
LINEARE KORREKTUR:	(0.04040 +/-	0.01032)	+	(0.99592 +/- 0.00820) * X
LOG-VERSTAERKER-BASIS:	0.99595 +/-	0.00831		
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.23452 +/-	0.08530	(+/- 6.90927 PROZENT)	MPA

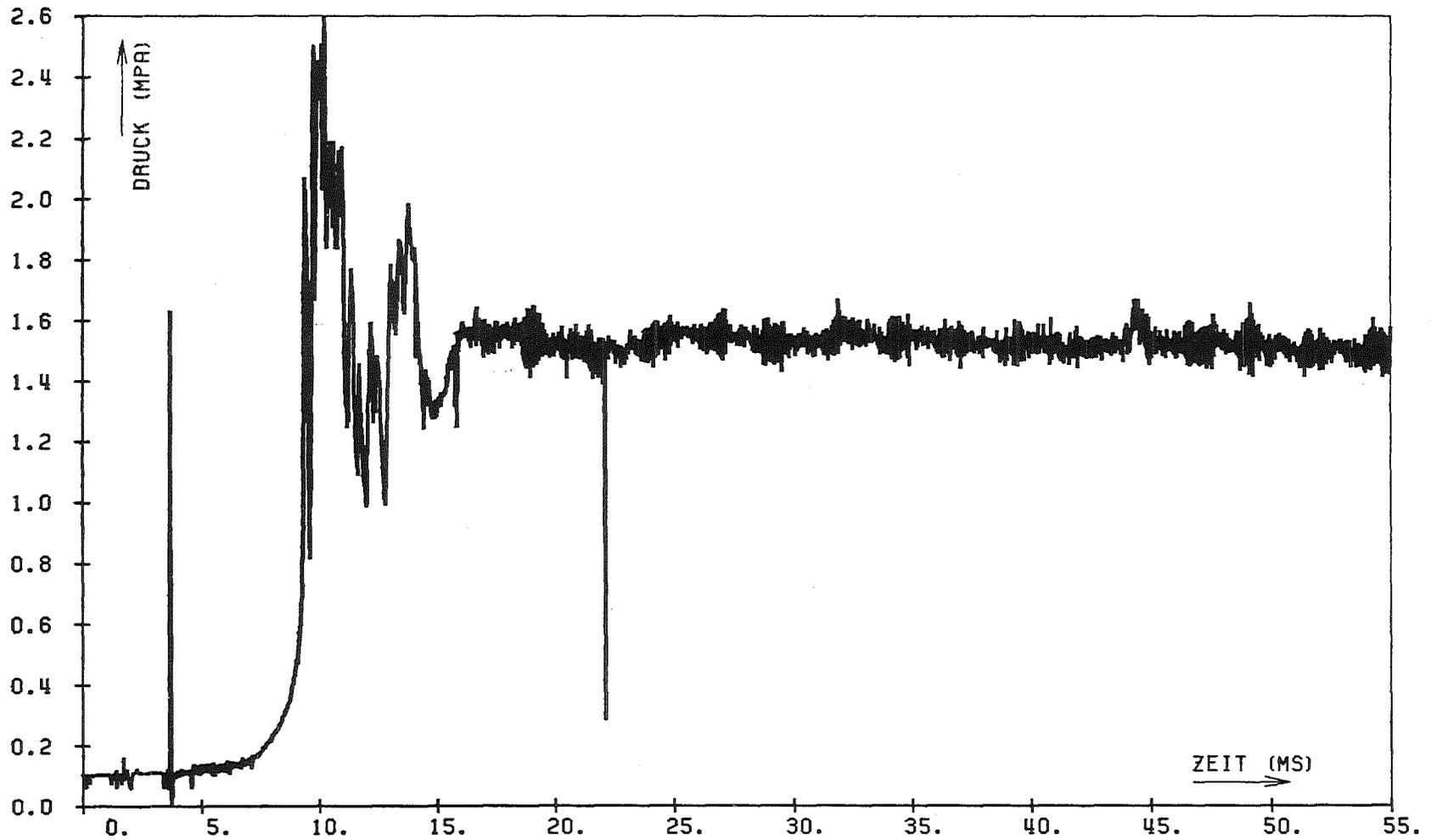


Abb.74 SGI 03-1 7 TR

SIGNAL FUER 0V:	-0.03173 +/- 0.00757	KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER 3V:	2.96944 +/- 0.01437	KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	-0.05918 +/- 0.00850	KORRIGIERT:	-0.05918 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.71769 +/- 0.00966	KORRIGIERT:	2.75384 +/- 0.03765
LINEARE KORREKTUR:	(0.03178 +/- 0.00781)	+	(1.00161 +/- 0.00732) * X
LOG-VERSTAERKER-BASIS:	1.07702 +/- 0.00593		
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.52136 +/- 0.07324	(+/- 4.81413 PROZENT)	MPA

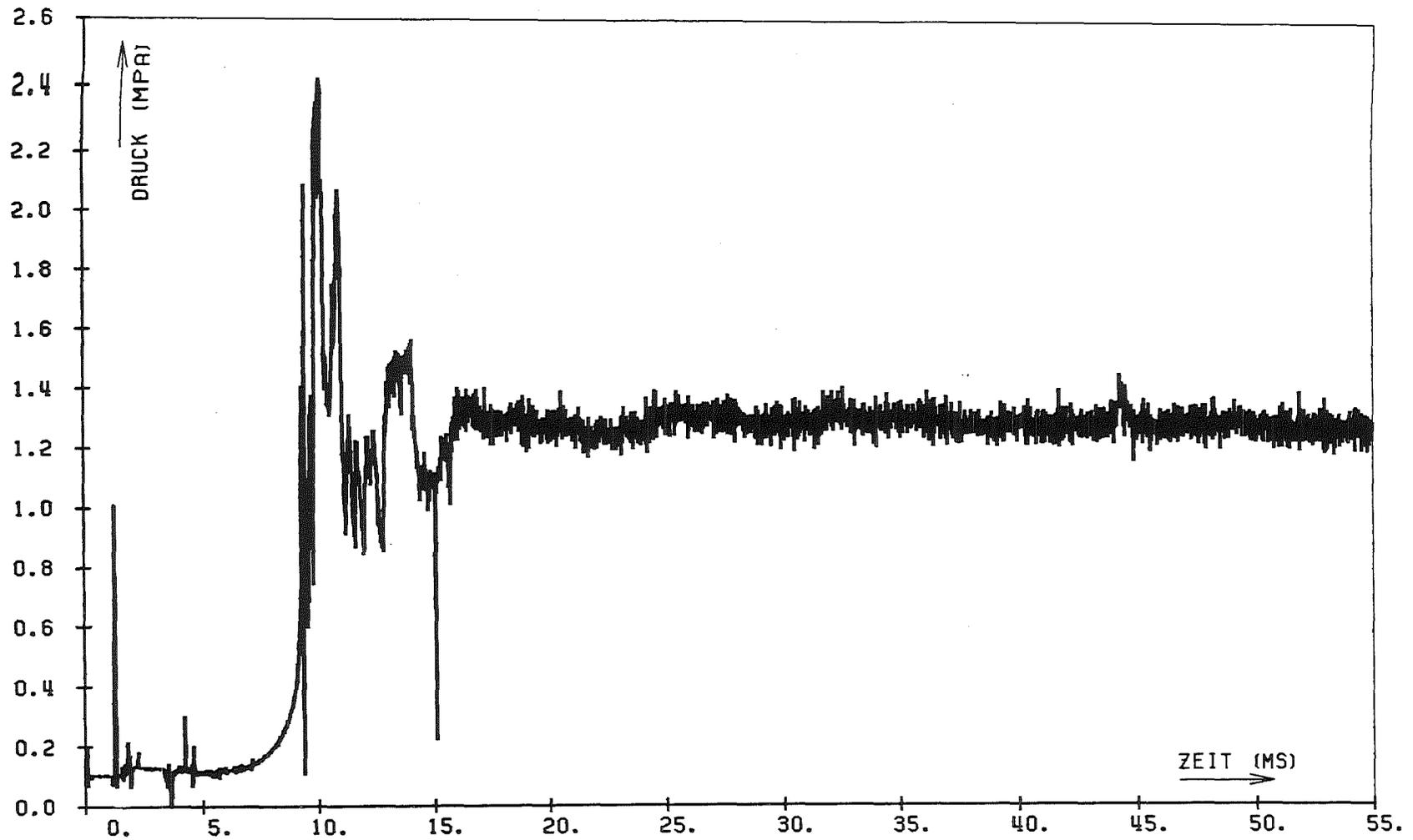


Abb.75 SGI 03-1 8 TR

SIGNAL FUER 0V:	-0.03663 +/-	0.01130	KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER 3V:	2.99193 +/-	0.01404	KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	-0.04872 +/-	0.01067	KORRIGIERT:	-0.04872 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.62114 +/-	0.01279	KORRIGIERT:	2.63797 +/- 0.04612
LINEARE KORREKTUR:	(0.03636 +/-	0.01152)	+	(0.99255 +/- 0.00830) * X
LOG-VERSTAERKER-BASIS:	0.99608 +/-	0.00778		
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.25806 +/-	0.10449	(+/- 8.30584 PROZENT)	MPA

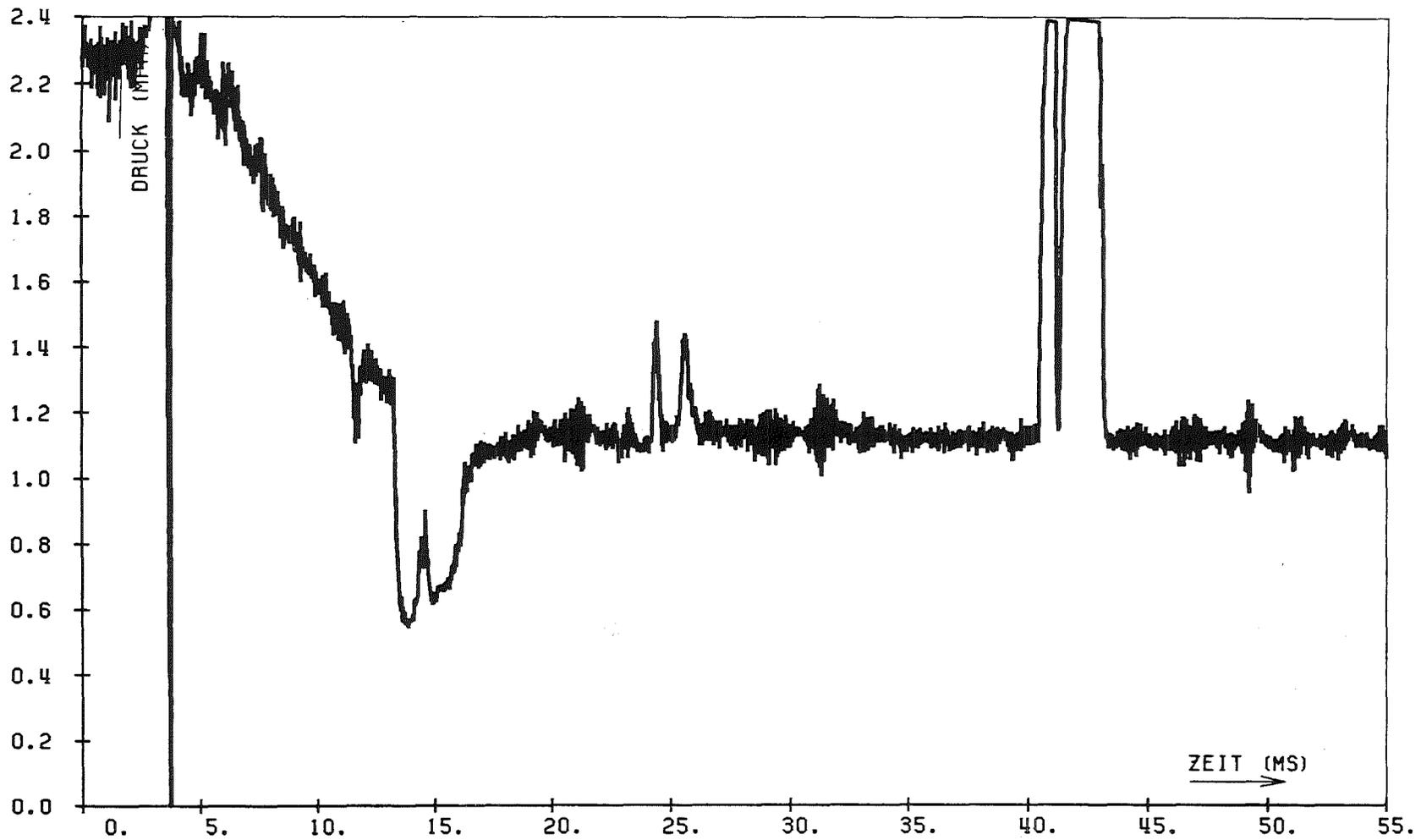


Abb.76 SGI 03-2 1 TR

SIGNAL FUER 0V:	-0.03392 +/- 0.01053	KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER 3V:	2.98192 +/- 0.02303	KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	0.0 +/- 0.01293	KORRIGIERT:	0.0 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.54987 +/- 0.01117	KORRIGIERT:	2.57537 +/- 0.05057
LINEARE KORREKTUR:	(0.03381 +/- 0.01087)	+	(0.99674 +/- 0.01109) * X
LOG-VERSTAERKER-BASIS:	0.99528 +/- 0.00706		
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.11319 +/- 0.05743	(+/- 5.15921 PROZENT)	MPA

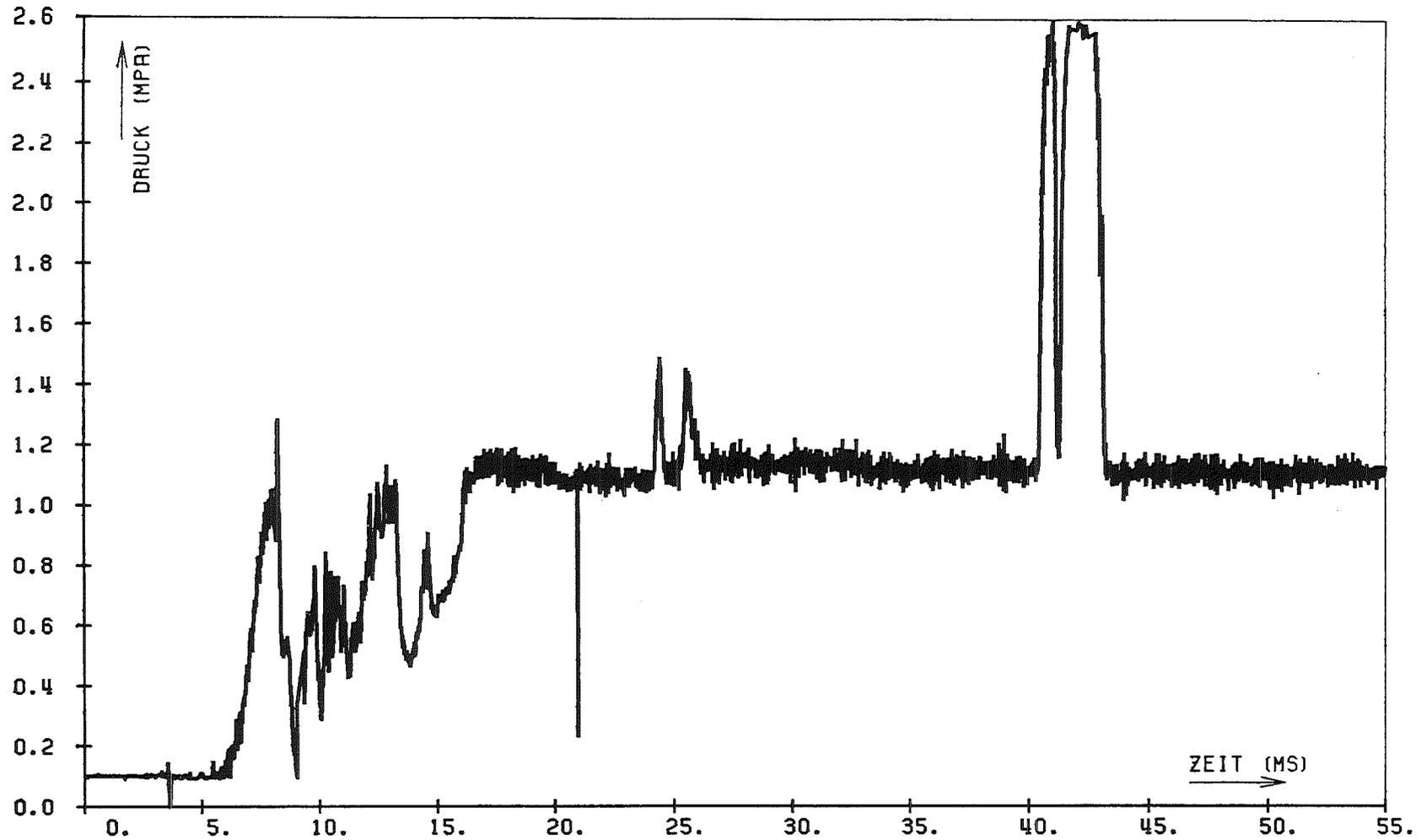


Abb.77 SGI 03-2 2 TR

SIGNAL FUER 0V:	-0.05520 +/- 0.00957	KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER 3V:	2.96105 +/- 0.01461	KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	-0.07875 +/- 0.01461	KORRIGIERT:	-0.07875 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.51661 +/- 0.01655	KORRIGIERT:	2.56306 +/- 0.04695
LINEARE KORREKTUR:	(0.05501 +/- 0.00998)	+	(0.99660 +/- 0.00799) * X
LOG-VERSTAERKER-BASIS:	0.99656 +/- 0.01055		
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.10217 +/- 0.06858	(+/-	6.22208 PROZENT)

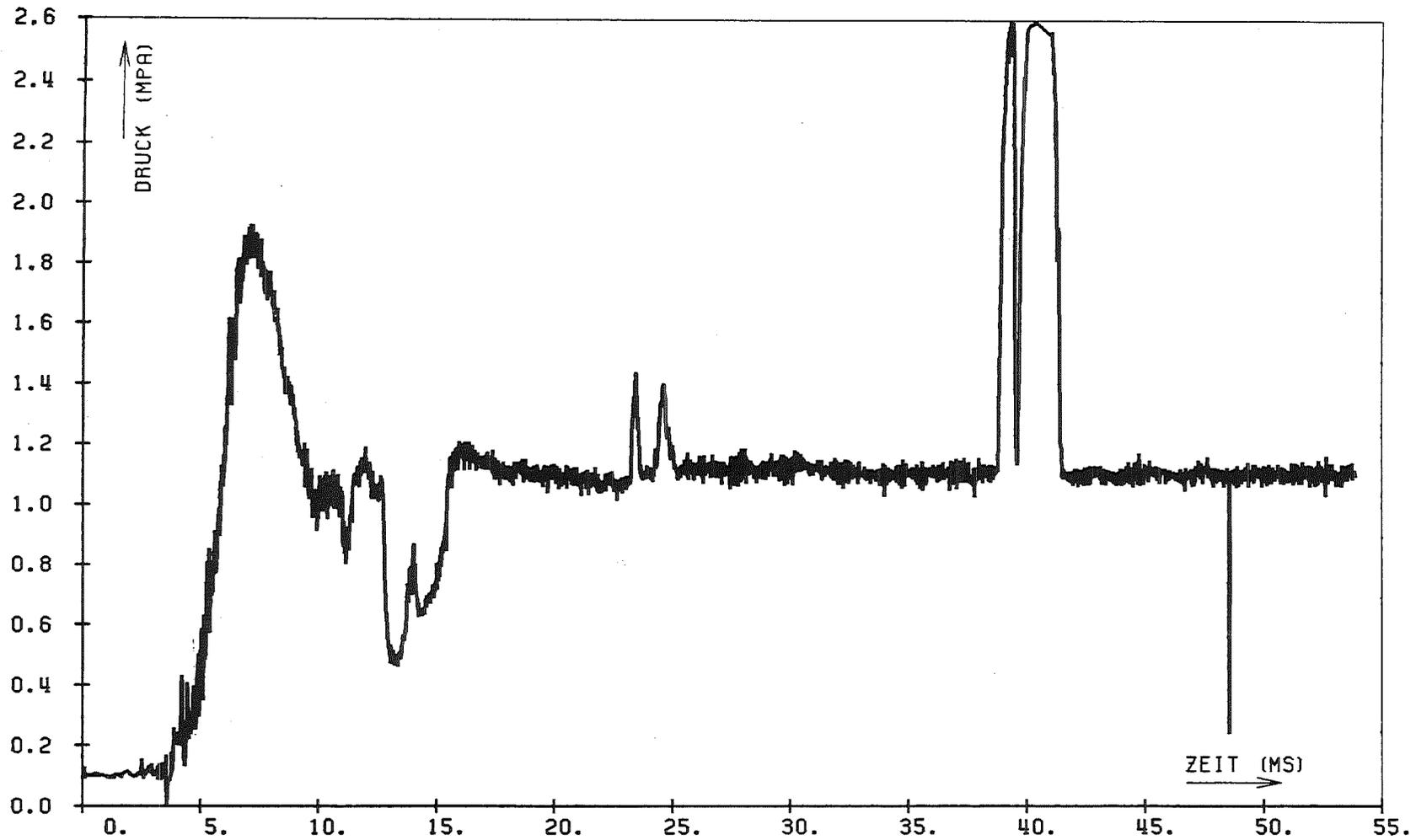


Abb.78

SGI 03-2 3 TR

SIGNAL FUER 0V:	-0.03112 +/- 0.00816	KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER 3V:	2.99571 +/- 0.02117	KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	-0.05483 +/- 0.01082	KORRIGIERT:	-0.05483 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.59342 +/- 0.02050	KORRIGIERT:	2.60647 +/- 0.05384
LINEARE KORREKTUR:	(0.03091 +/- 0.00840)	+	(0.99312 +/- 0.00962) * X
LOG-VERSTAERKER-BASIS:	0.99525 +/- 0.01270		
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.09819 +/- 0.10020	(+/- 9.12443 PROZENT)	MPA

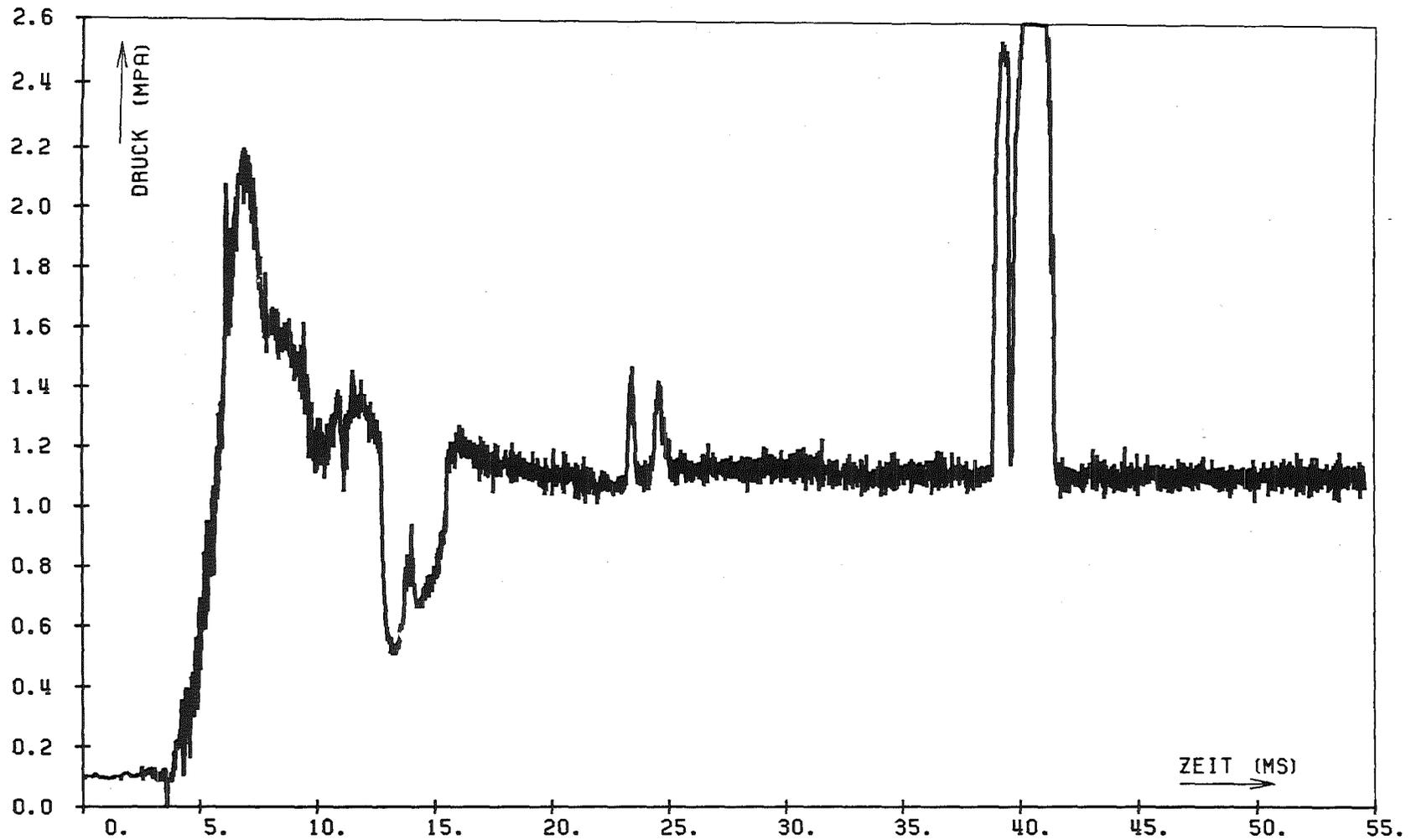


Abb.79 SGI 03-2 4 TR

SIGNAL FUER 0V:	-0.03567 +/- 0.00946	KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER 3V:	2.98042 +/- 0.01335	KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	-0.05867 +/- 0.02201	KORRIGIERT:	-0.05867 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.56140 +/- 0.01365	KORRIGIERT:	2.58838 +/- 0.04281
LINEARE KORREKTUR:	(0.03555 +/- 0.00970)	+	(0.99665 +/- 0.00754) * X
LOG-VERSTAERKER-BASIS:	0.99318 +/- 0.00853		
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.09704 +/- 0.07213	(+/- 6.57516 PROZENT)	MPA

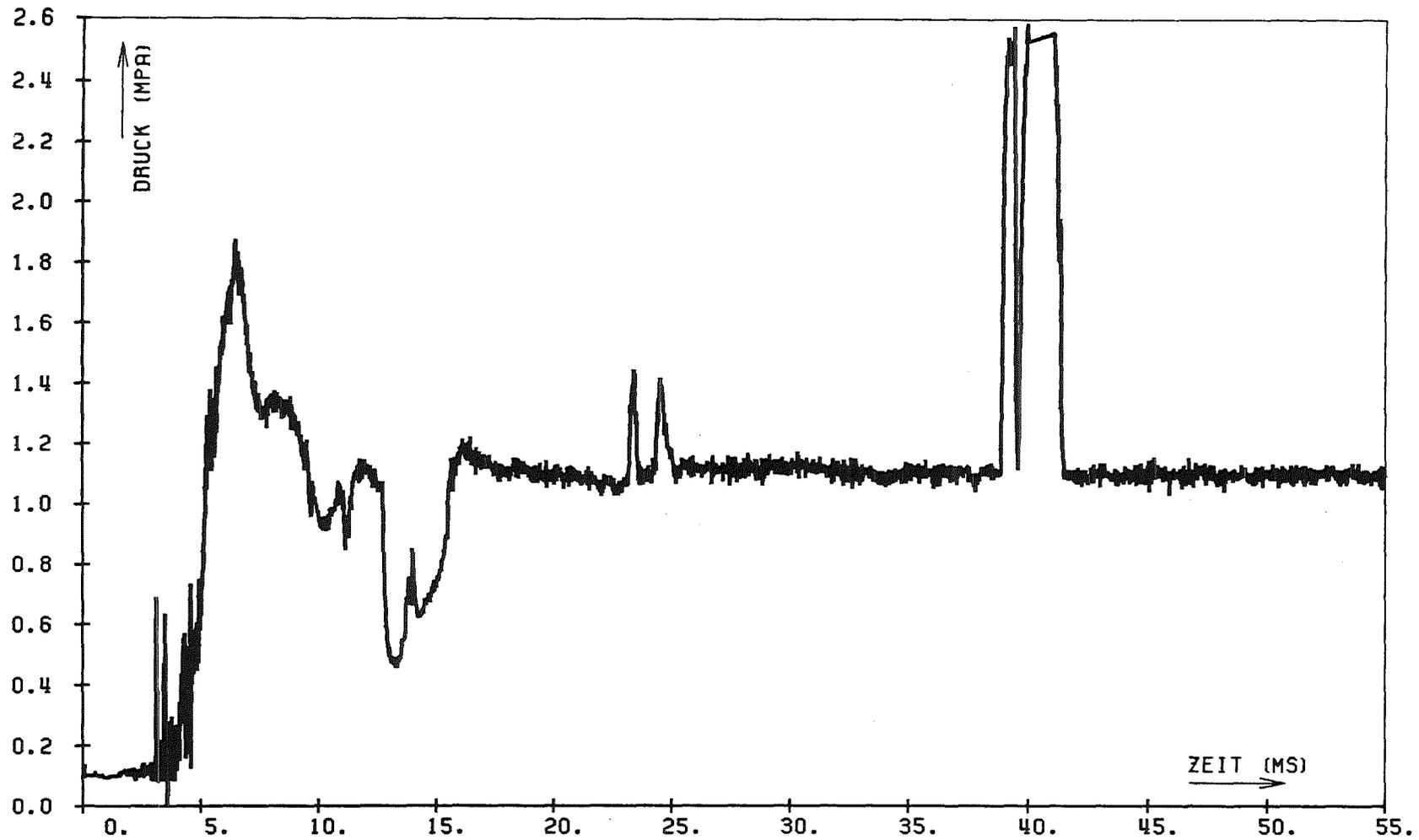


Abb.80 SGI 03-2 5 TR

SIGNAL FUER 0V:	-0.04360 +/- 0.00700	KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER 3V:	2.96640 +/- 0.01153	KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	-0.06294 +/- 0.01035	KORRIGIERT:	-0.06294 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.51186 +/- 0.01194	KORRIGIERT:	2.55206 +/- 0.03489
LINEARE KORREKTUR:	(0.04354 +/- 0.00726)	+	(0.99867 +/- 0.00615) * X
LOG-VERSTAERKER-BASIS:	0.99012 +/- 0.00762		
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.09265 +/- 0.04784	(+/-	4.37828 PROZENT)

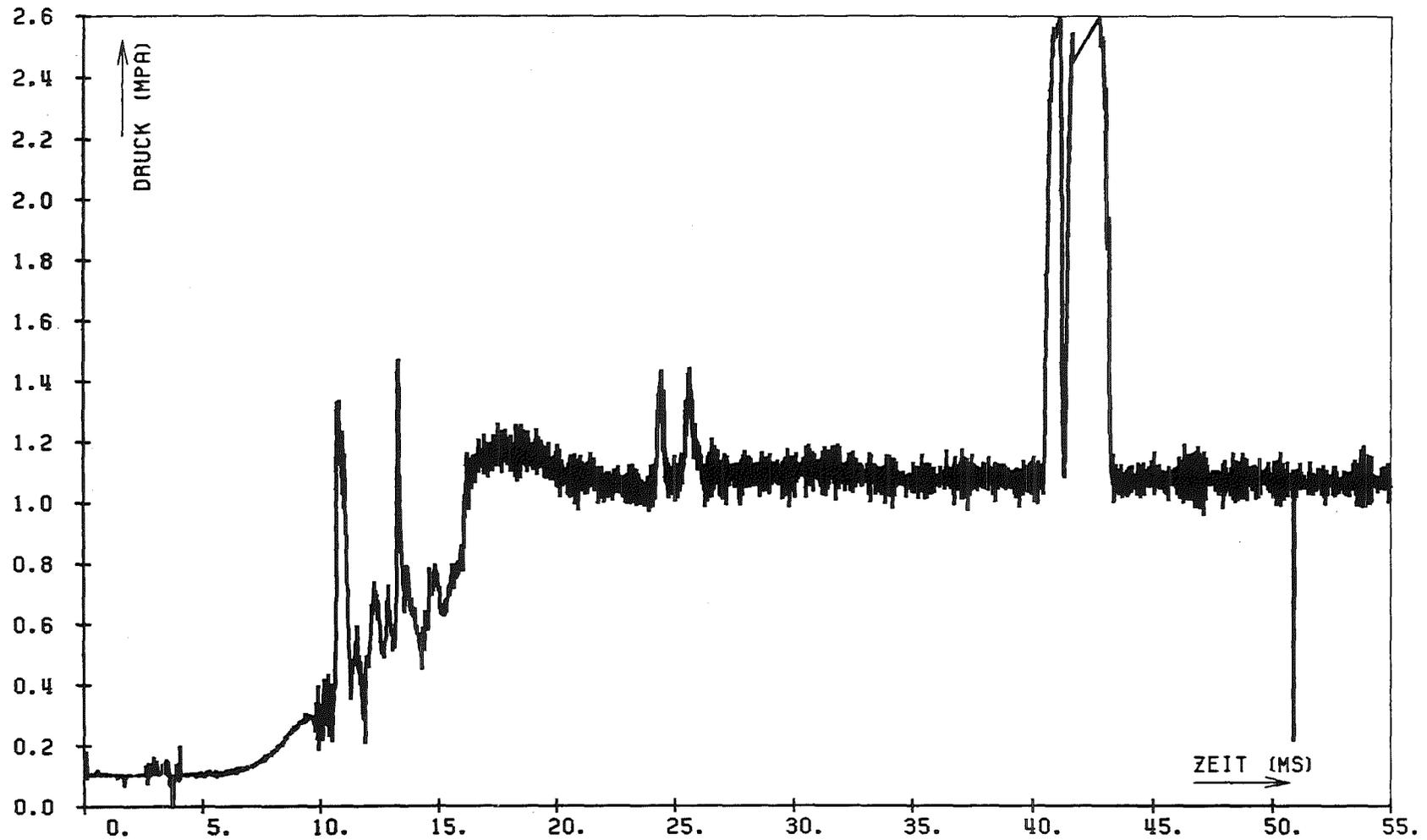


Abb.81 SGI 03-2 6 TR

SIGNAL FUER OV:	-0.04123 +/- 0.01010	KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER 3V:	2.97956 +/- 0.01553	KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	-0.05669 +/- 0.01281	KORRIGIERT:	-0.05669 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.56538 +/- 0.01659	KORRIGIERT:	2.59385 +/- 0.04881
LINEARE KORREKTUR:	(0.04103 +/- 0.01040)	+	(0.99511 +/- 0.00844) * X
LOG-VERSTAERKER-BASIS:	0.99296 +/- 0.01034		
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.07523 +/- 0.11931	(+/- 11.09632 PROZENT)	MPA

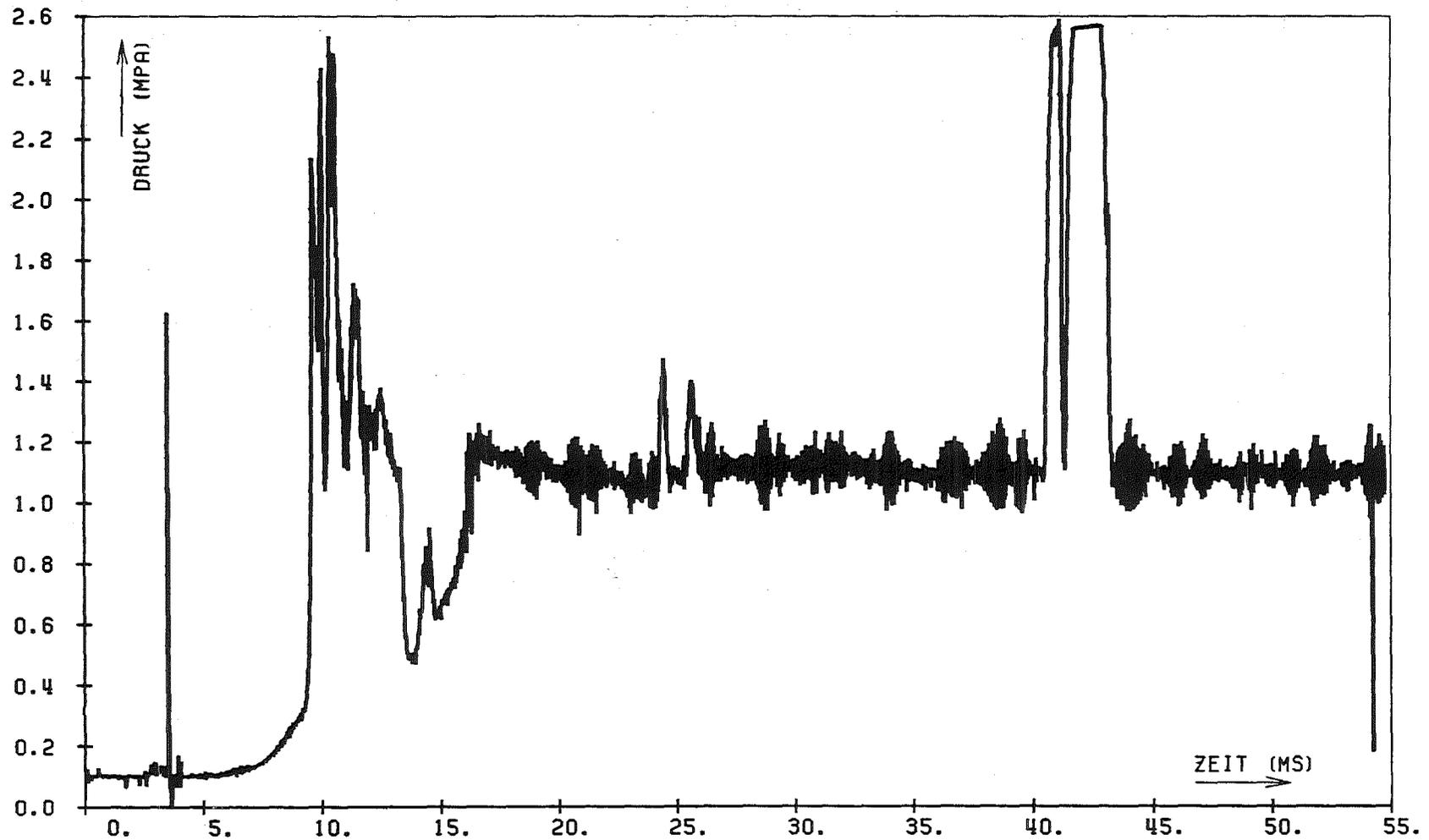


Abb.82 SGI 03-2 7 TR

SIGNAL FUER OV:	-0.03392 +/-	0.00807	KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER 3V:	2.96878 +/-	0.01662	KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	-0.04749 +/-	0.01059	KORRIGIERT:	-0.04749 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.57955 +/-	0.02105	KORRIGIERT:	2.61634 +/- 0.05097
LINEARE KORREKTUR:	(0.03395 +/-	0.00836)	+	(1.00110 +/- 0.00823) * X
LOG-VERSTAERKER-BASIS:	0.99268 +/-	0.01293		
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.09655 +/-	0.08890	(+/-	8.10705 PROZENT)

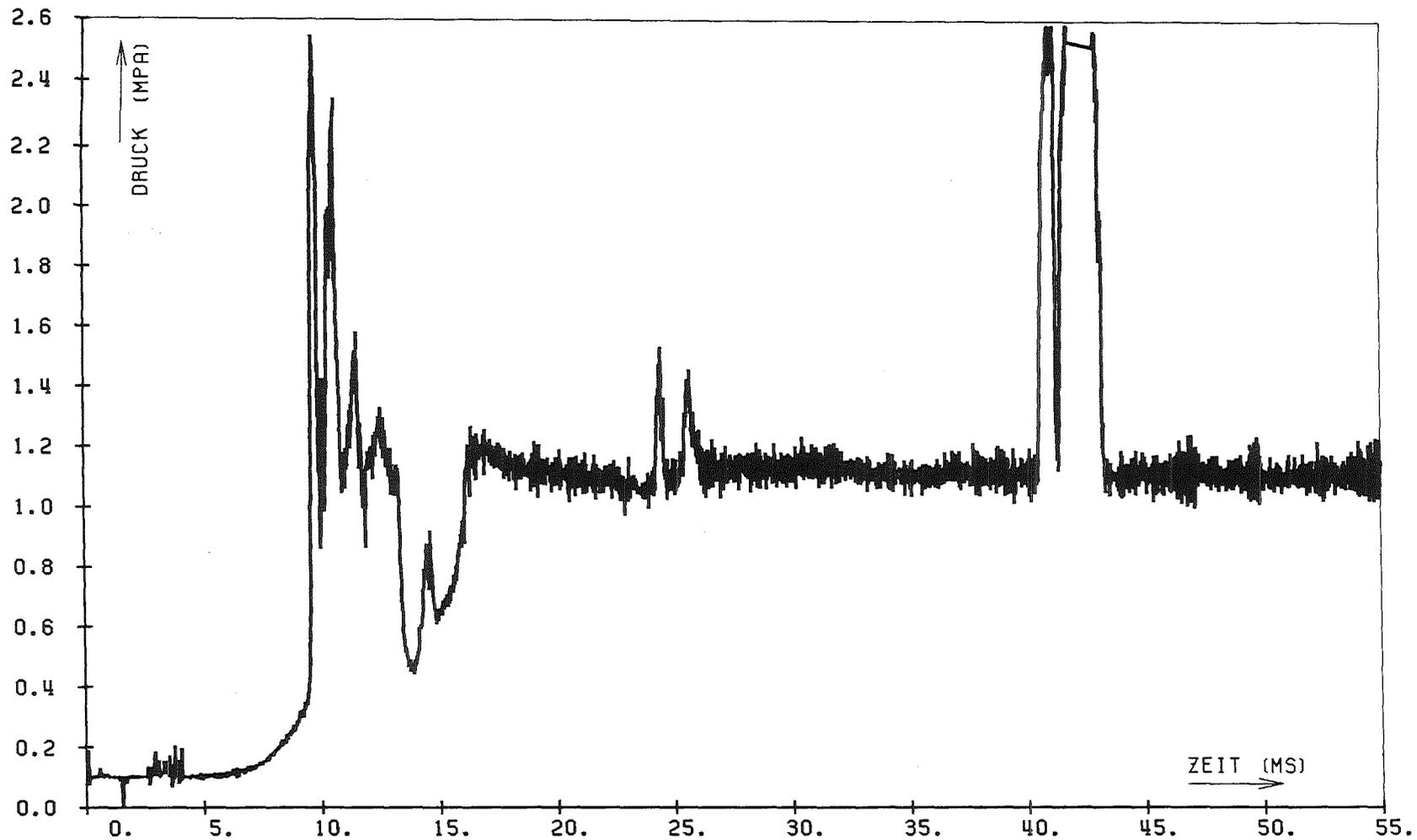
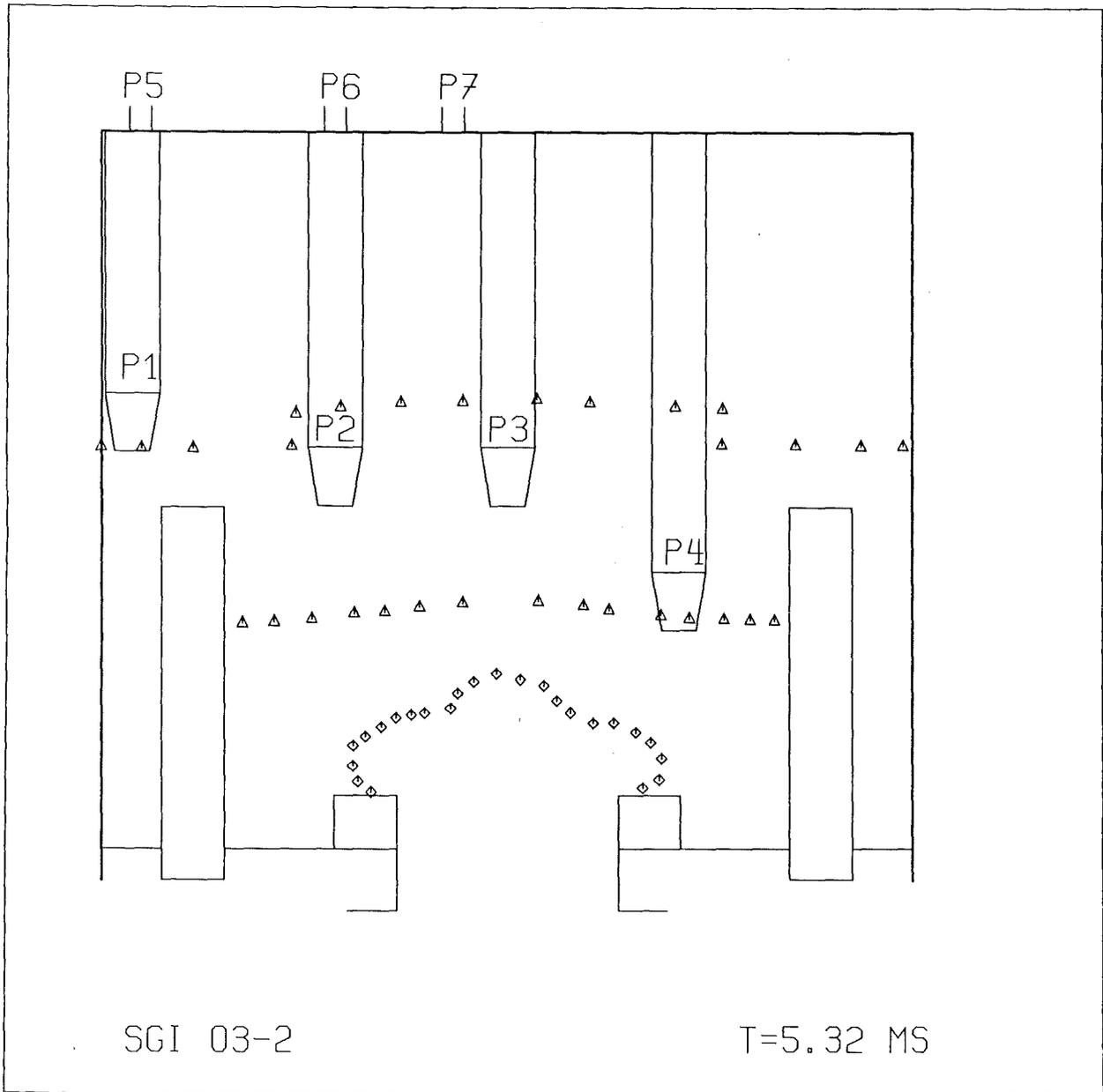


Abb.83 SGI 03-2 8 TR

SIGNAL FUER OV:	-0.04192 +/-	0.01132	KORRIGIERT:	0.0
SIGNAL FUER 3V:	2.99056 +/-	0.01383	KORRIGIERT:	3.00600
SIGNAL FUER NS:	-0.08171 +/-	0.01292	KORRIGIERT:	-0.08171 +/- 0.0
SIGNAL FUER VA:	2.61034 +/-	0.01719	KORRIGIERT:	2.62910 +/- 0.05023
LINEARE KORREKTUR:	(0.04155 +/-	0.01157)	+	(0.99120 +/- 0.00822) * X
LOG-VERSTAERKER-BASIS:	0.99073 +/-	0.01045		
MITTELWERT AM TRANSIENTENENDE	1.09971 +/-	0.11223	(+/- 10.20521 PROZENT	



- ◇ Blase
- △ (unten) Kugeln
- △ (oben) Wasseroberfläche

Abb.84a SGI 03-2, Kontur der Blase und Positionen der Kugeln

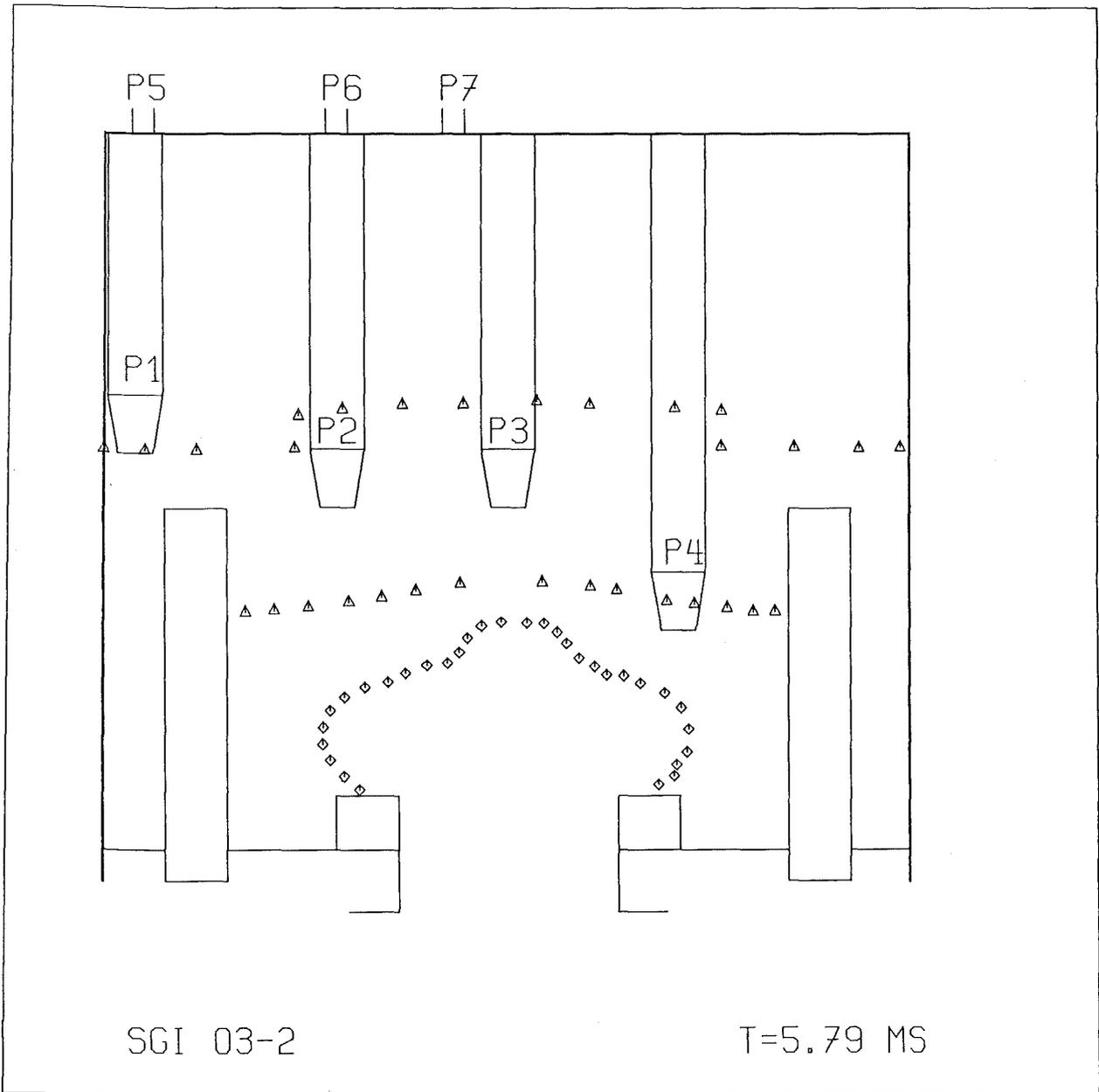


Abb.8 , SGI 03-2, Kontur der Blase und Positionen der Kugeln

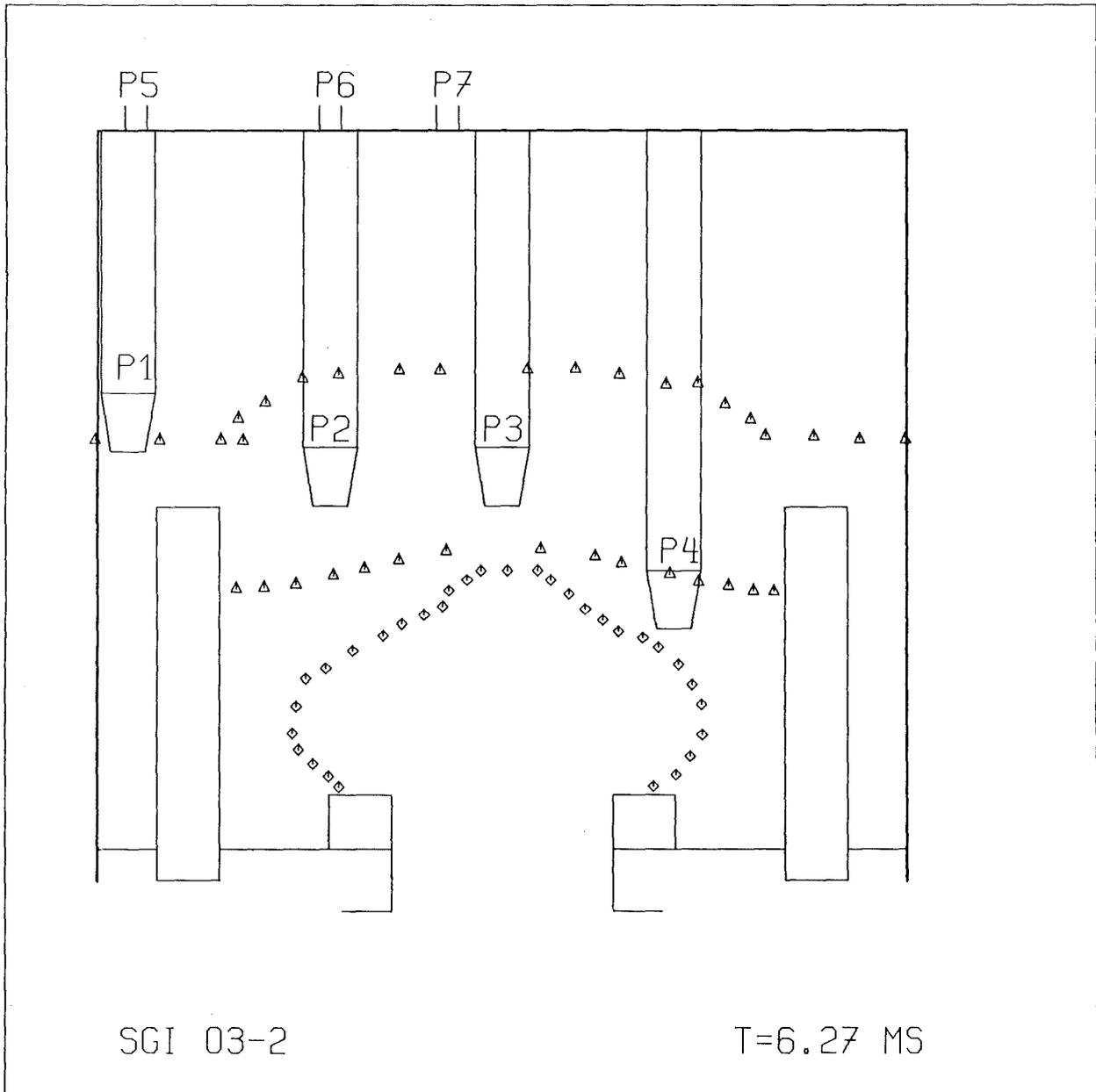


Abb.84c SGI 03-2, Kontur der Blase und Positionen der Kugeln

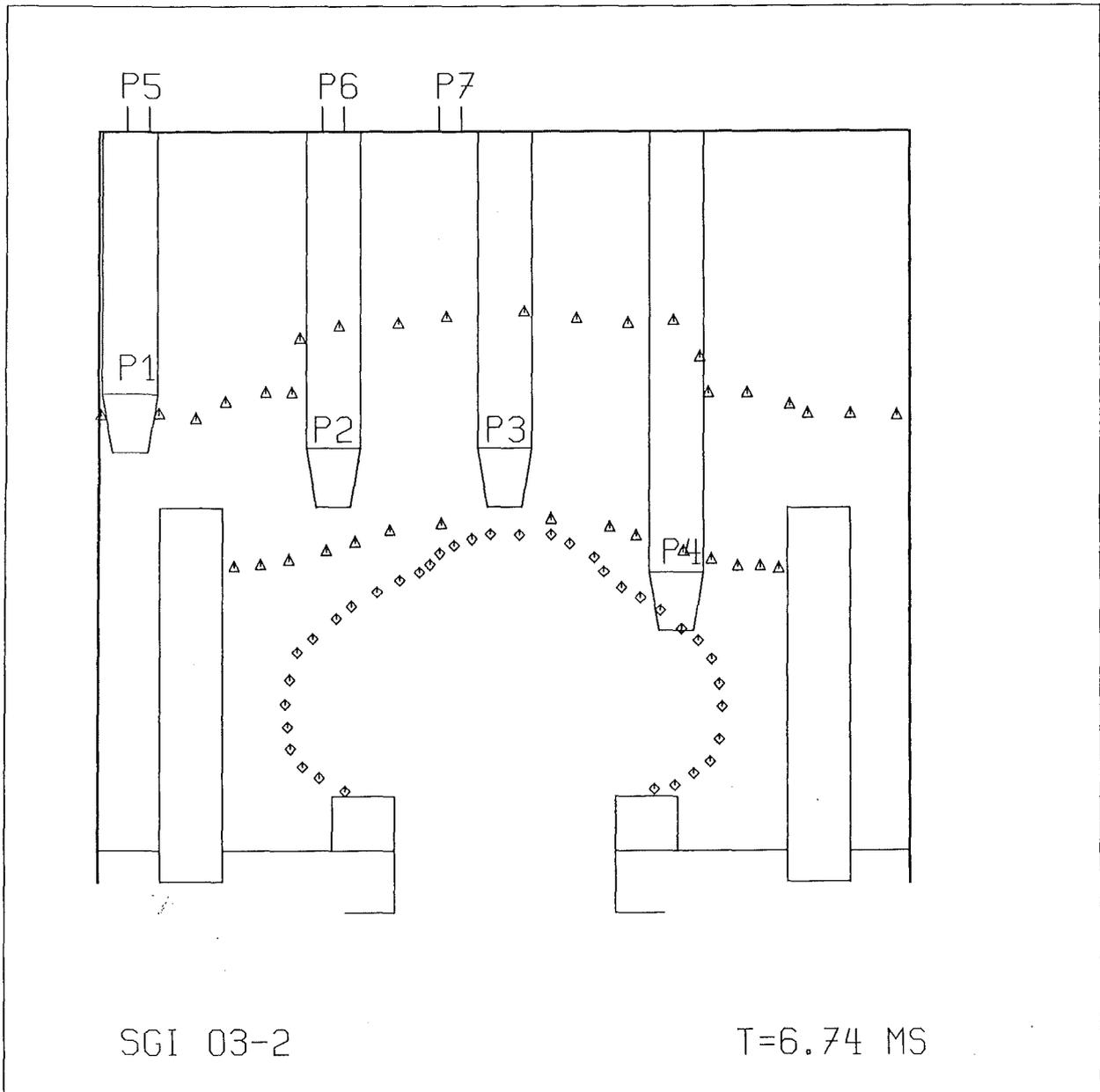


Abb.84d SGI 03-2, Kontur der Blase und Positionen der Kugeln

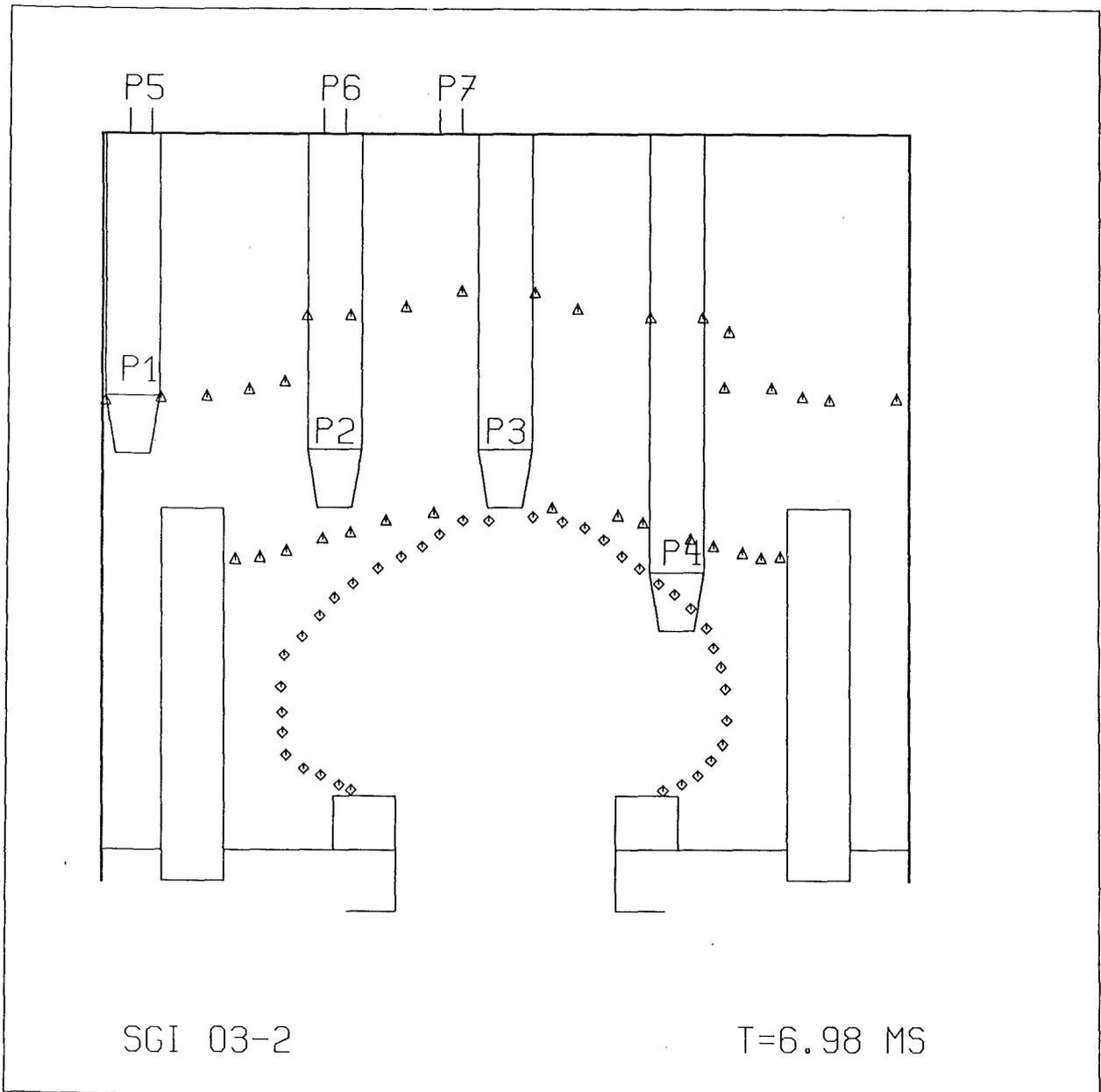
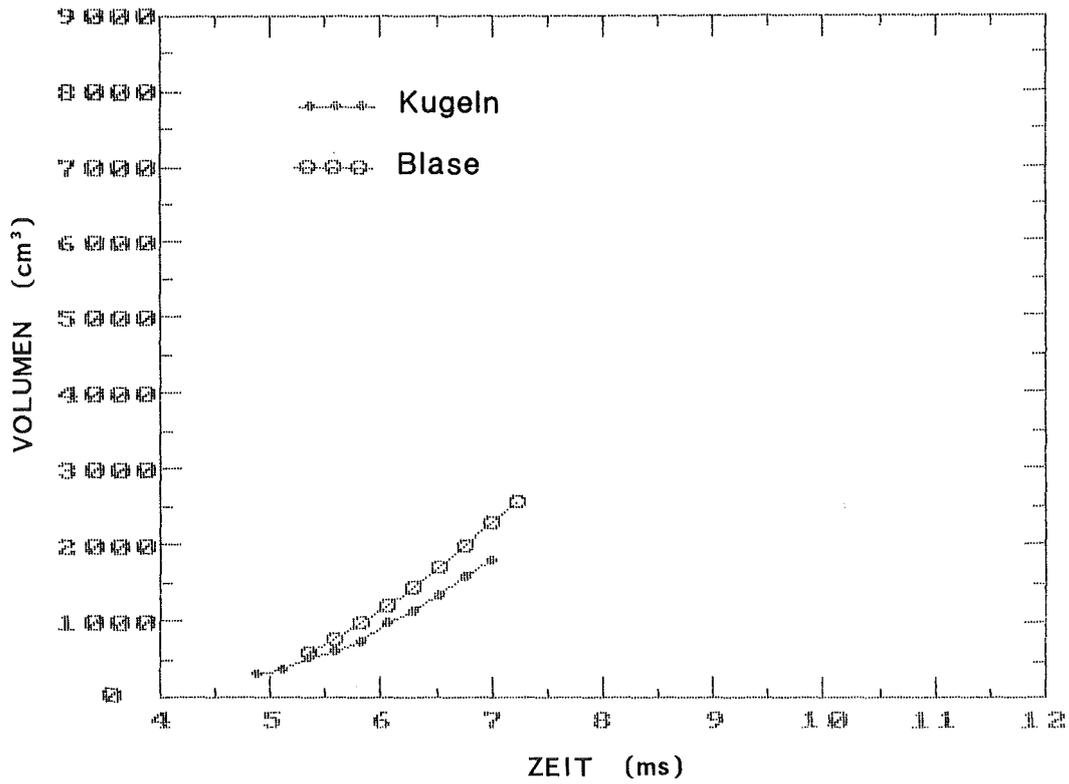


Abb.84e SGI 03-2, Kontur der Blase und Positionen der Kugeln



SGI 03-2 BLASENVOLUMEN

ZEIT (MS)	VOLUMEN (CM**3)	ABWEICHUNG (%)
5.33	564.	9.1
5.56	757.	-2.8
5.80	969.	1.3
6.04	1197.	-0.3
6.27	1434.	1.9
6.51	1712.	0.8
6.75	1982.	1.1
6.98	2274.	-0.1
7.22	2544.	-6.2

SGI 03-2 VERDRAENGUNGSVOLUMEN, KUGELN

ZEIT (MS)	VOLUMEN (CM**3)	ABWEICHUNG (%)
4.85	299.	0.3
5.09	368.	1.8
5.33	504.	-2.5
5.56	604.	-4.3
5.80	727.	-4.4
6.04	962.	-4.4
6.27	1136.	-1.7
6.51	1339.	-3.2
6.75	1590.	-0.7
6.98	1805.	-5.4

Abb.85 Verdrängungsvolumen SGI 03-2

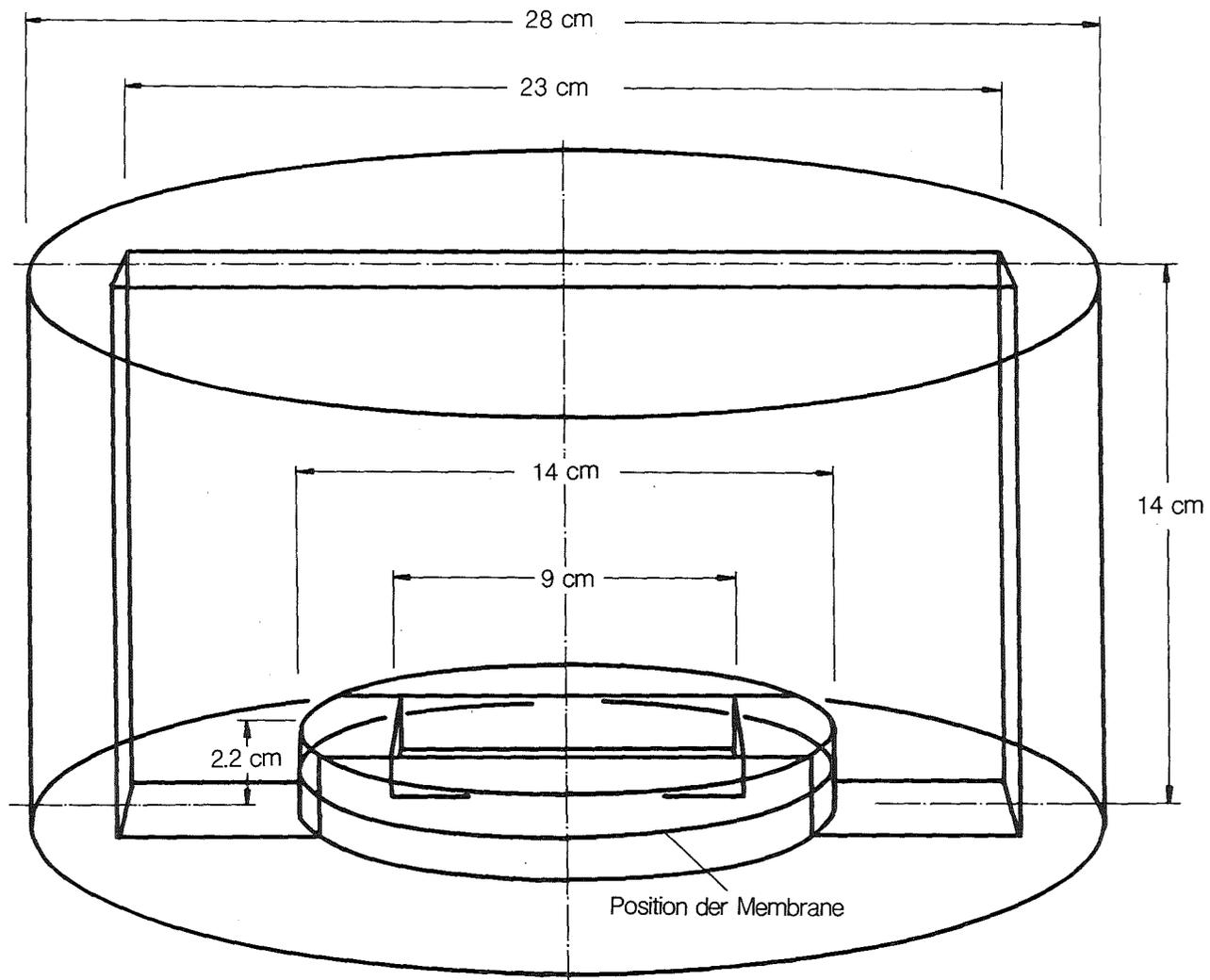
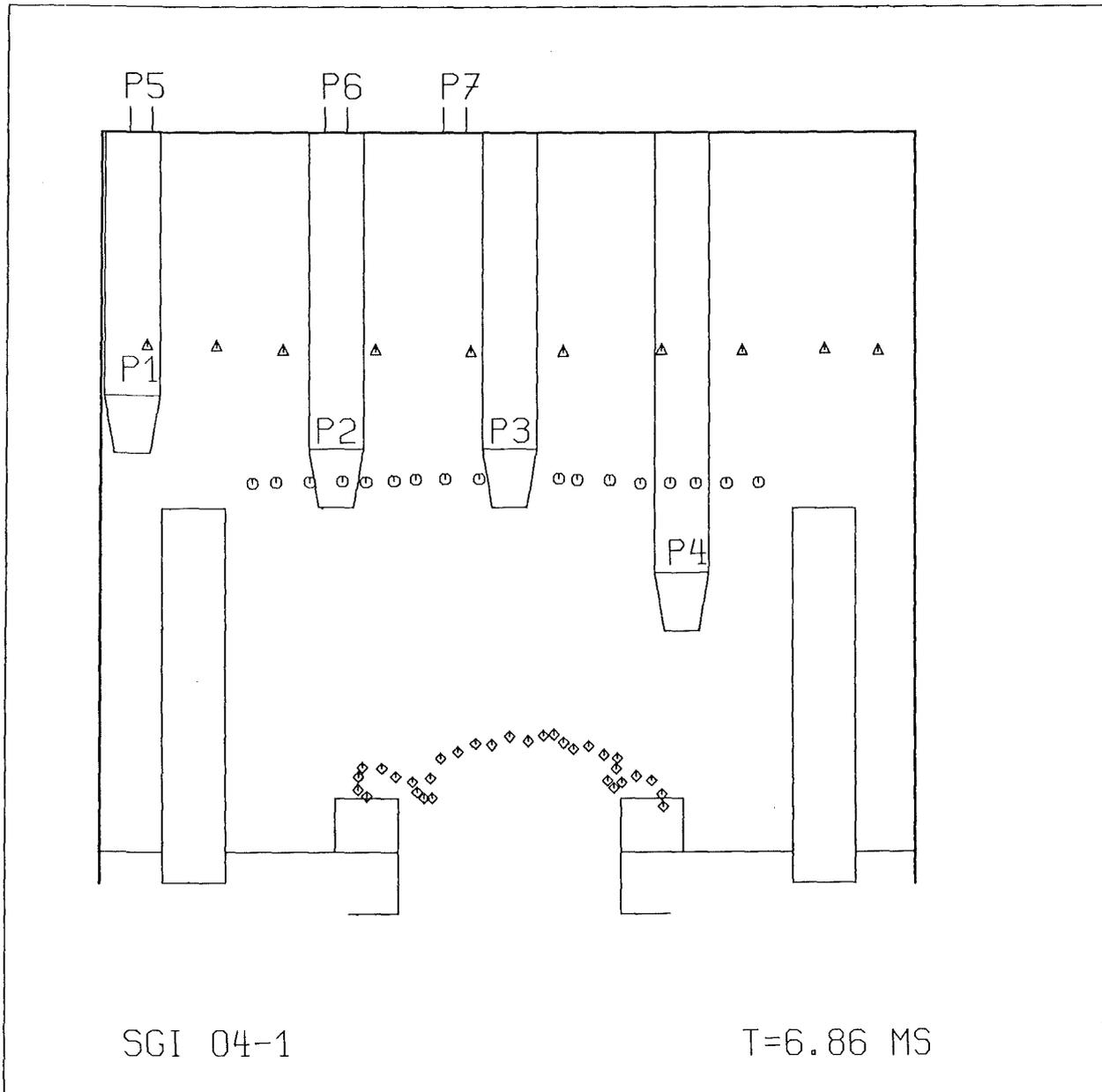


Abb.86 Zweidimensionales Schildtankmodell



- ◇ Blase
- Kugeln
- Δ Wasseroberfläche

Abb.87a SGI 04-1, Kontur der Blase und Positionen der Kugeln

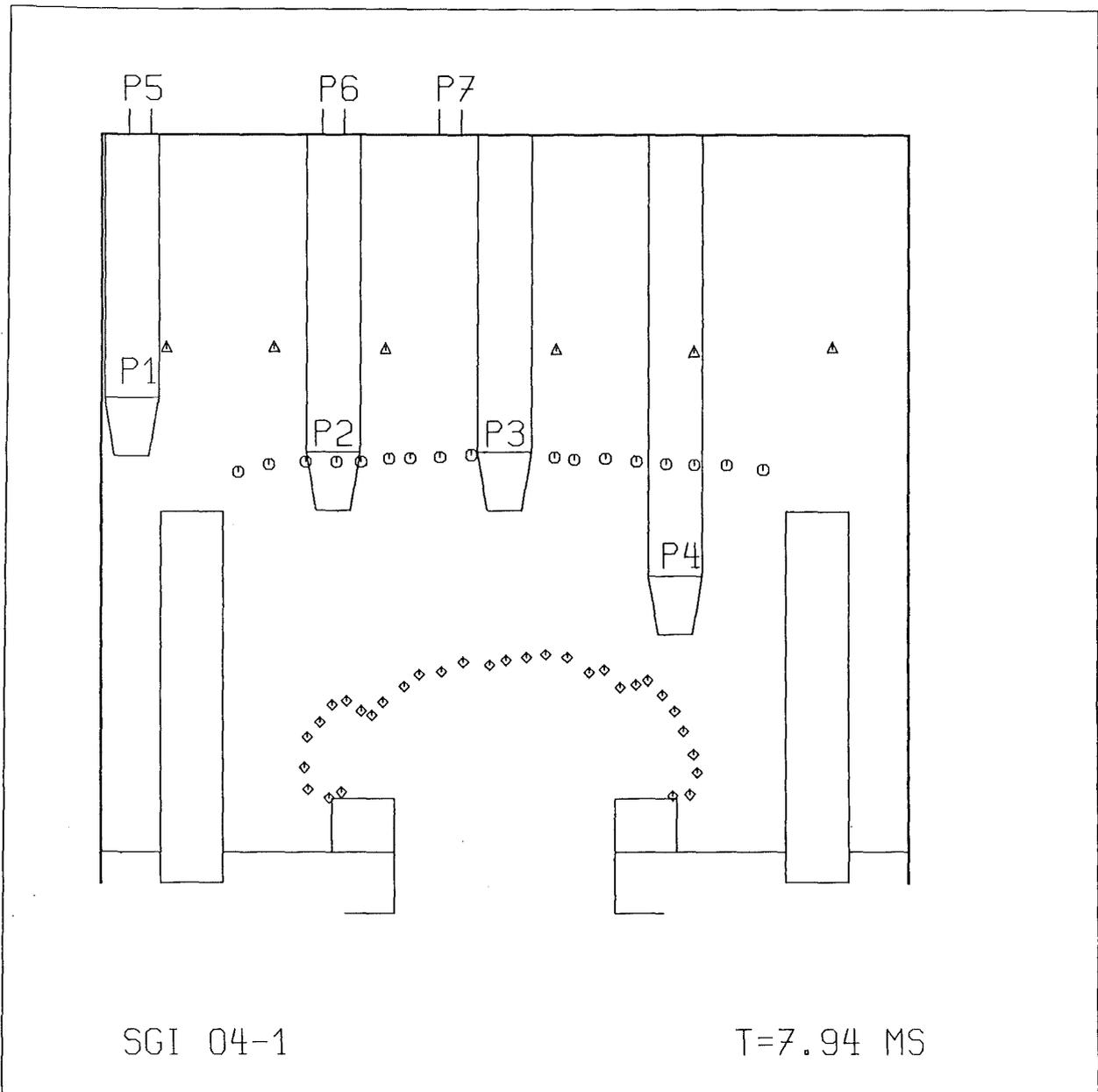


Abb.87c SGI 04-1, Kontur der Blase und Positionen der Kugeln

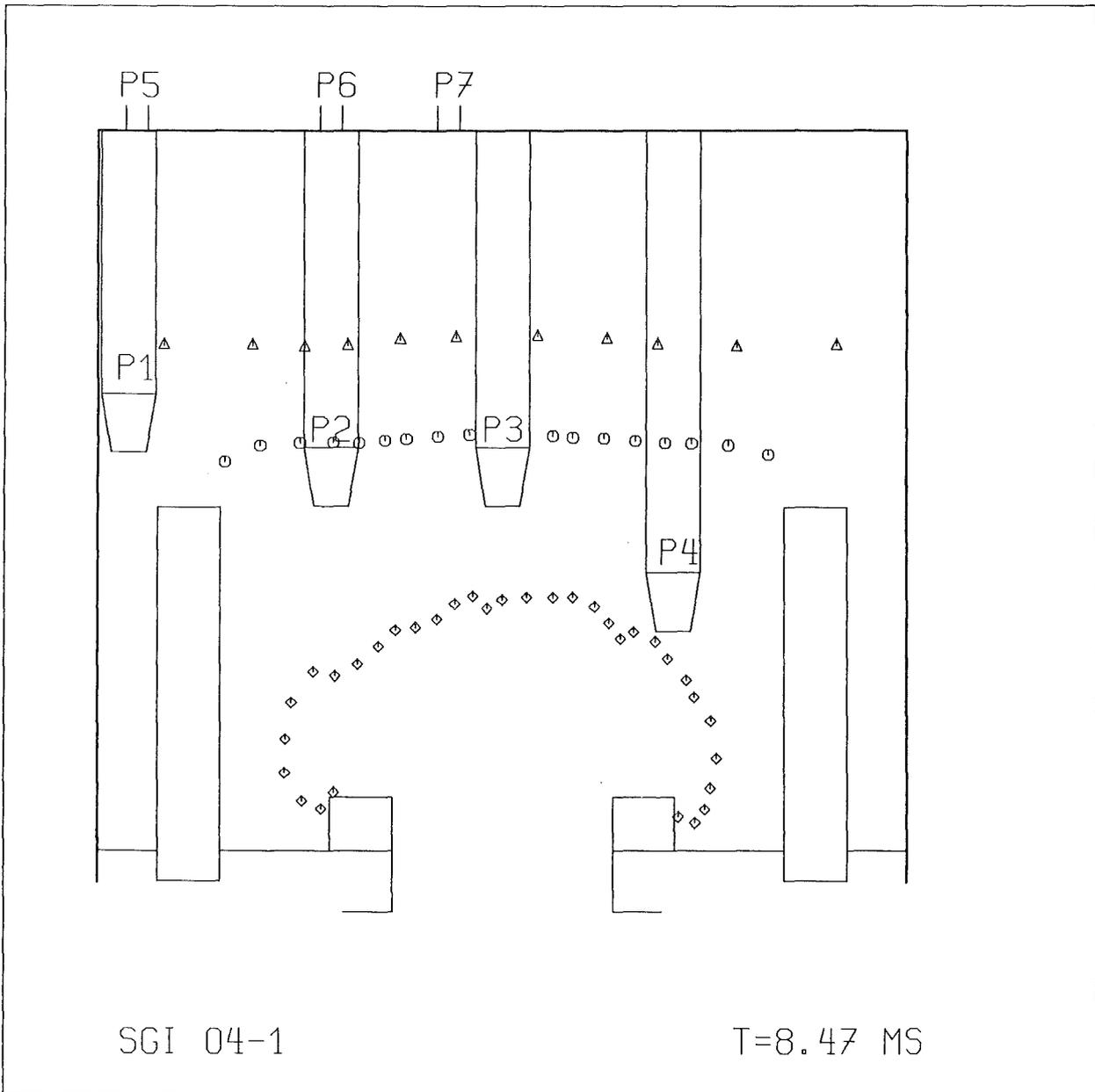


Abb.87d SGI 04-1, Kontur der Blase und Positionen der Kugeln

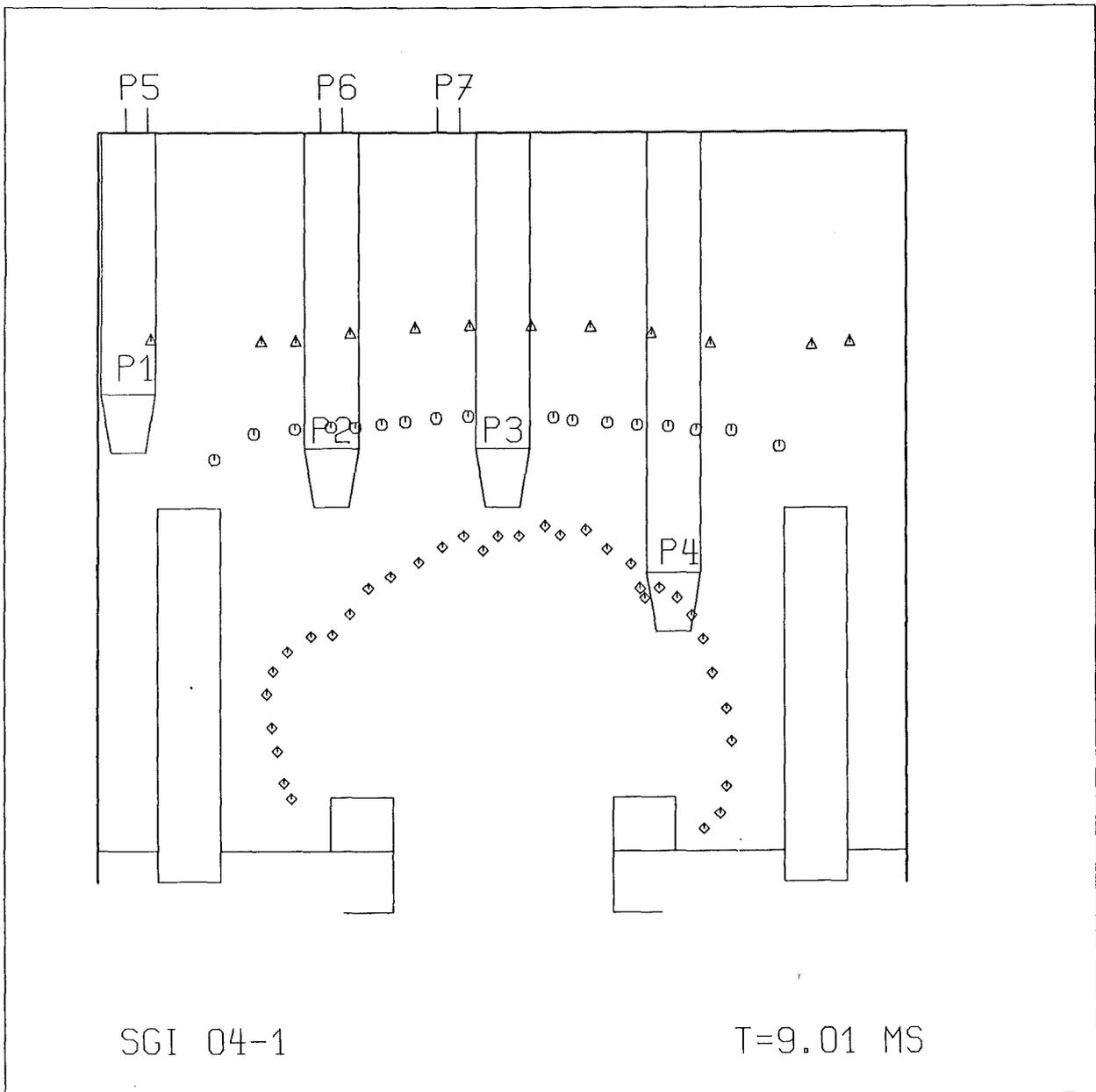


Abb.87e SGI 04-1, Kontur der Blase, und Positionen der Kugeln

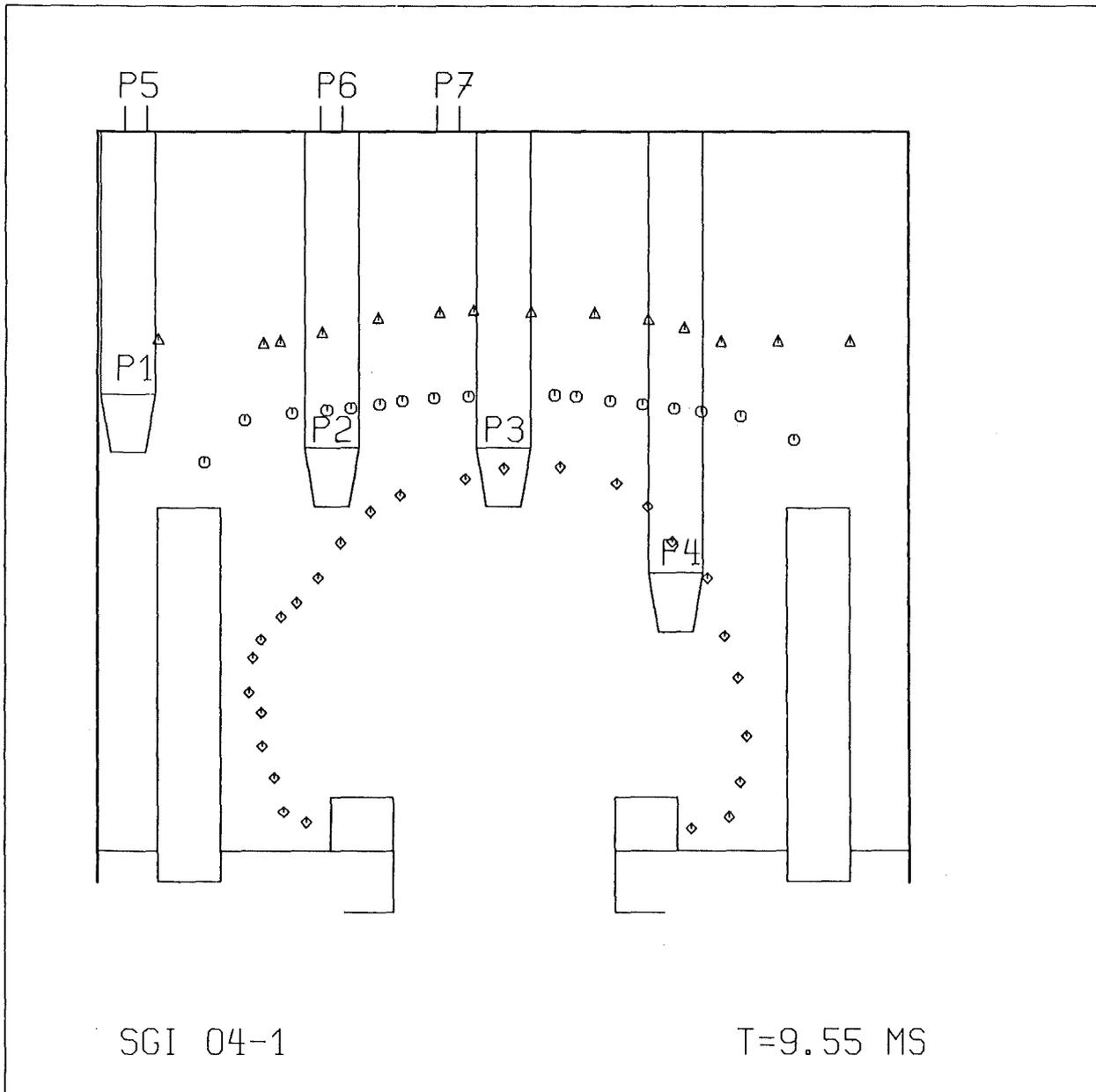


Abb.87f SGI 04-1, Kontur der Blase und Positionen der Kugeln

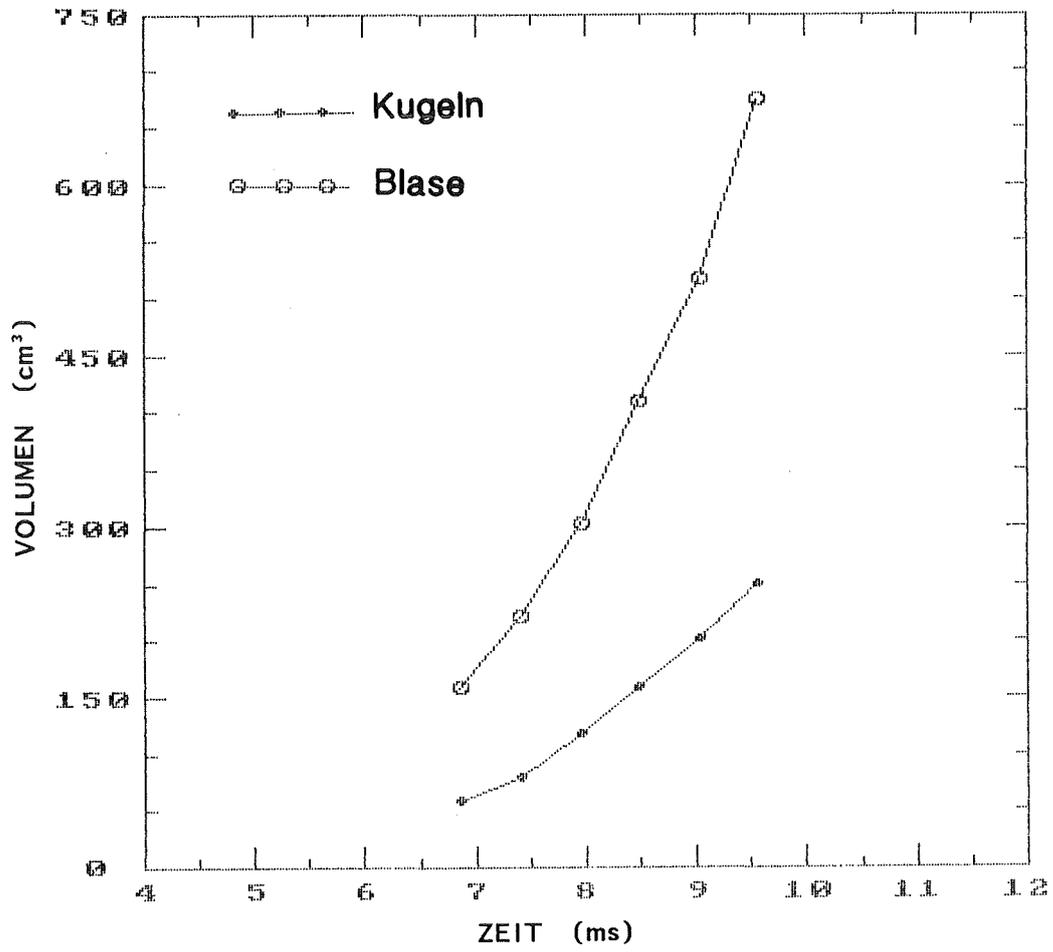


Abb.88 Verdrängungsvolumen SGI 04-1

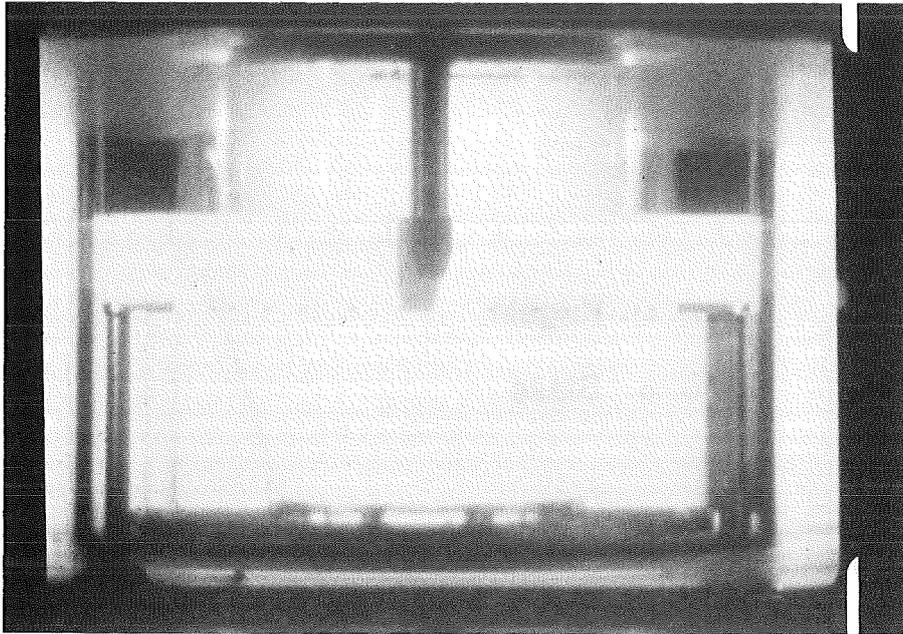


Abb.89a SGI 04-2 5.4 ms

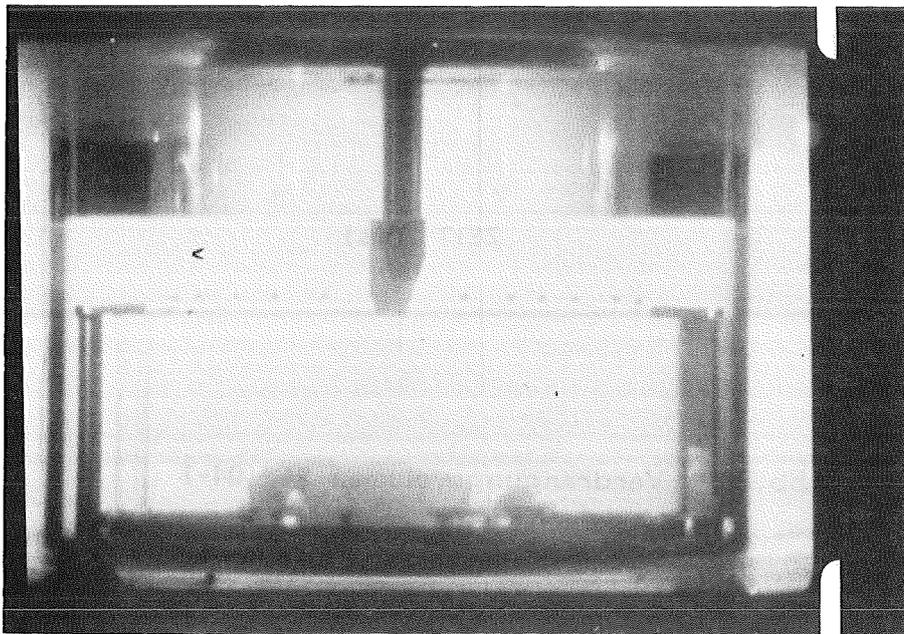


Abb.89b SGI 04-2 7.7 ms

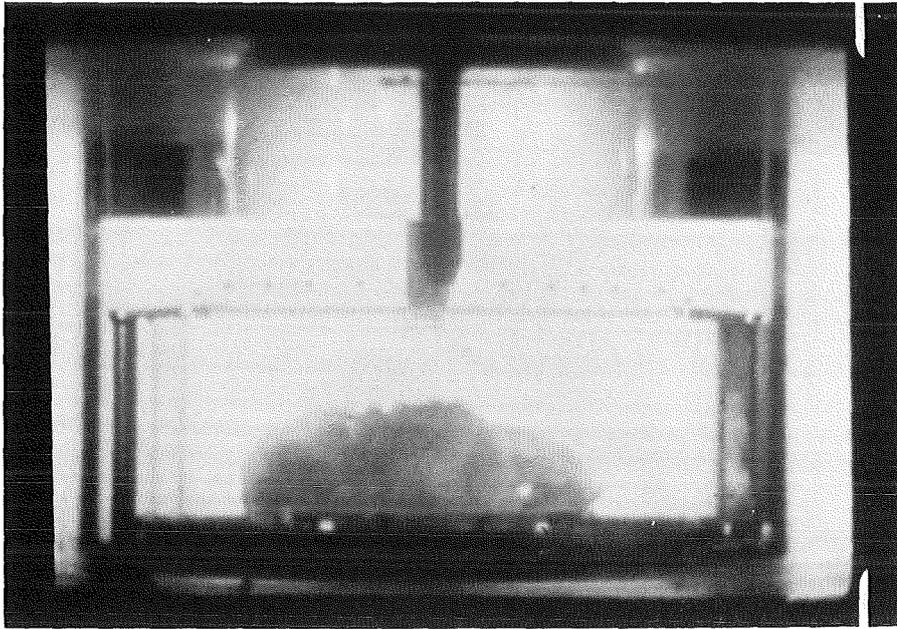


Abb.89c SGI 04-2 8.7 ms

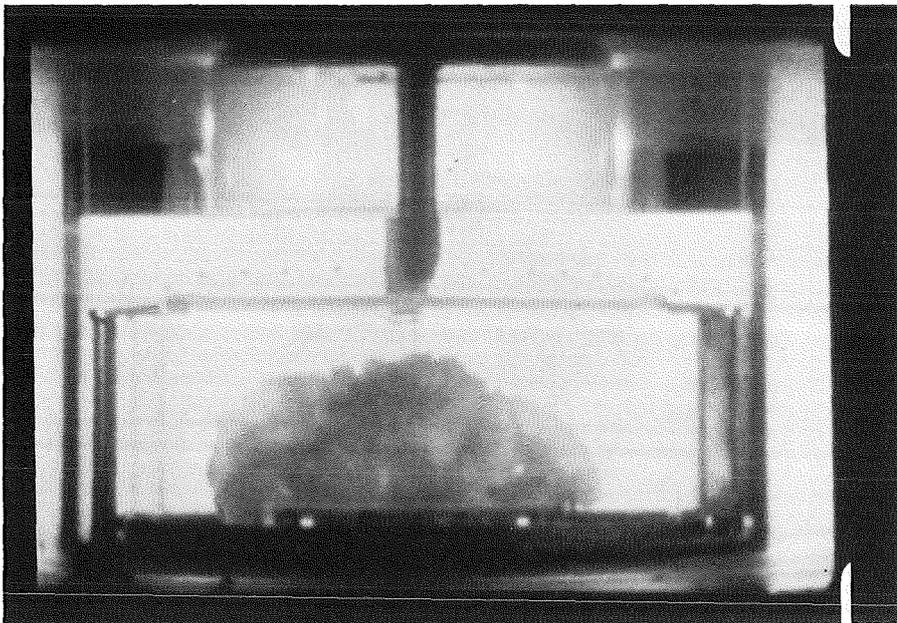


Abb.89d SGI 04-2 9.3 ms

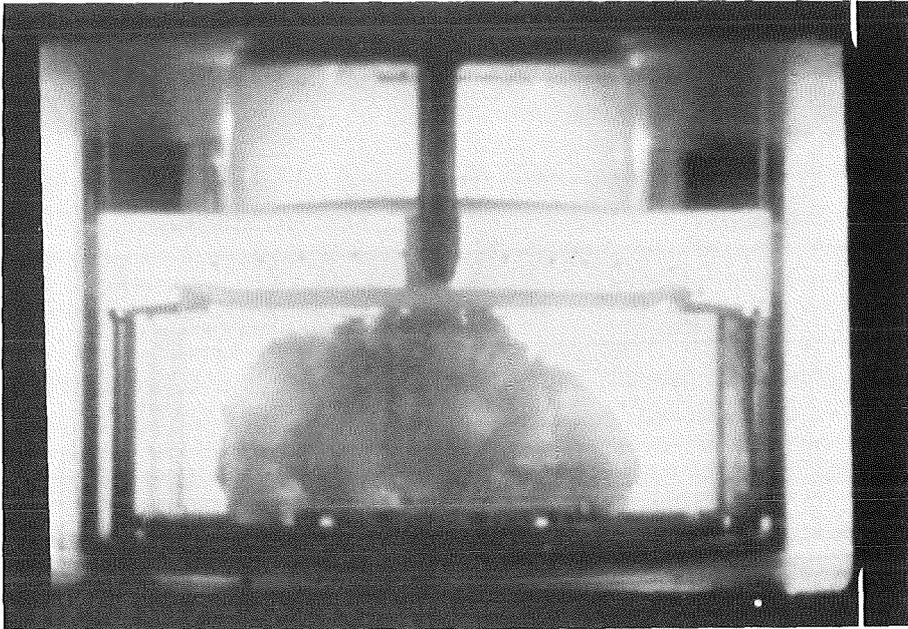


Abb.89e SGI 04-2 9.9 ms

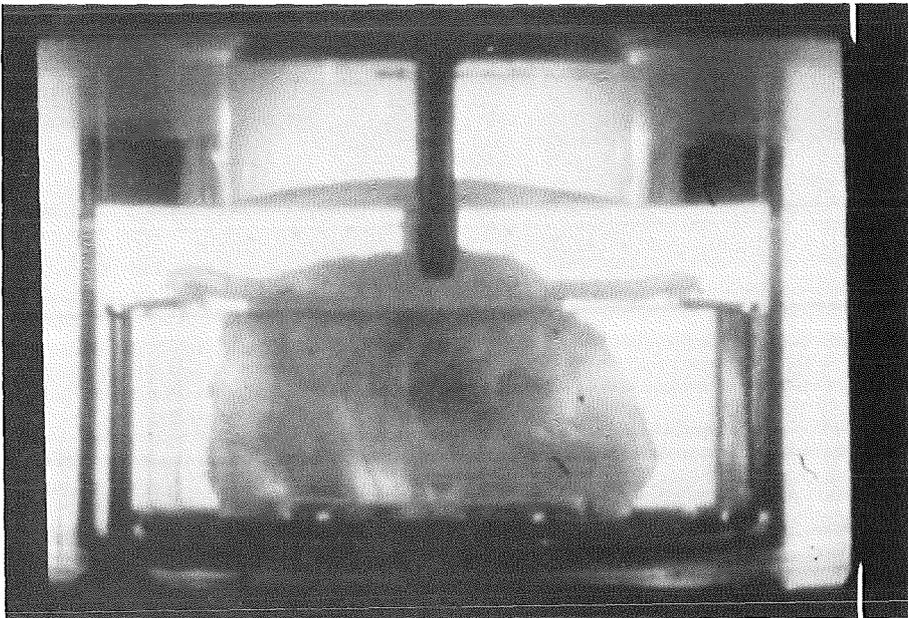


Abb.89f SGI 04-2 10.6 ms

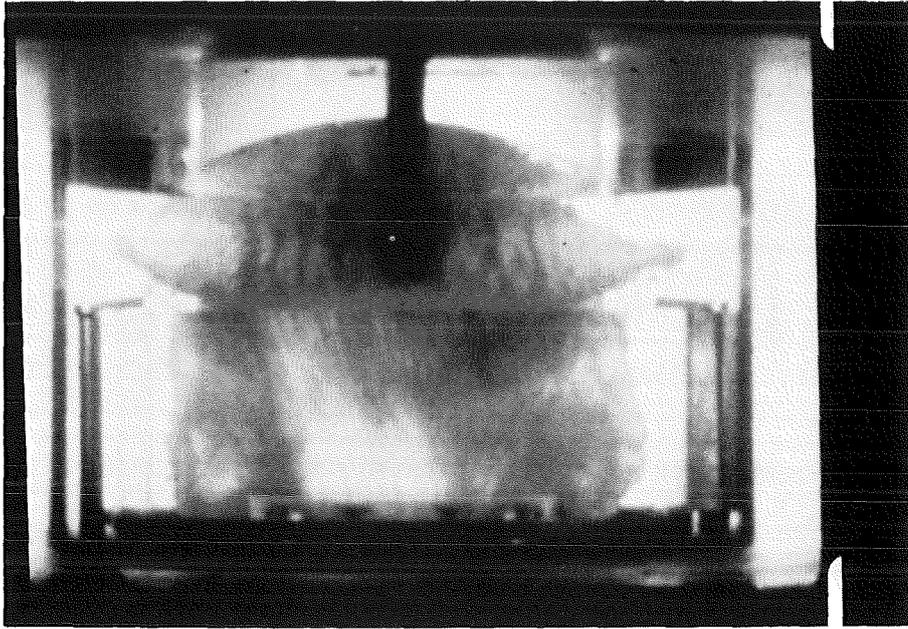


Abb.89g SGI 04-2 11.9 ms

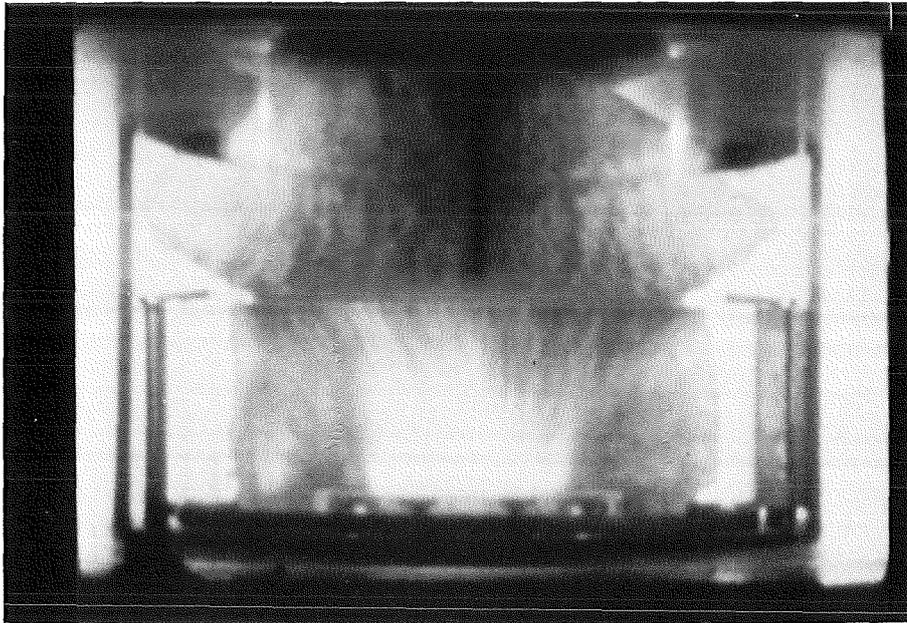


Abb.89h SGI 04-2 12.9 ms

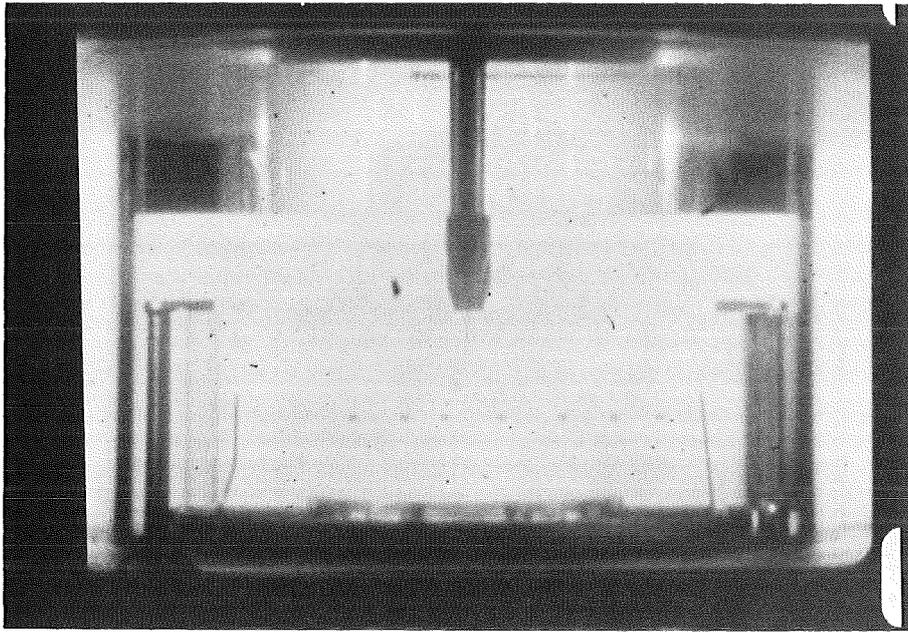


Abb.90a SGI 05-1 4.5 ms

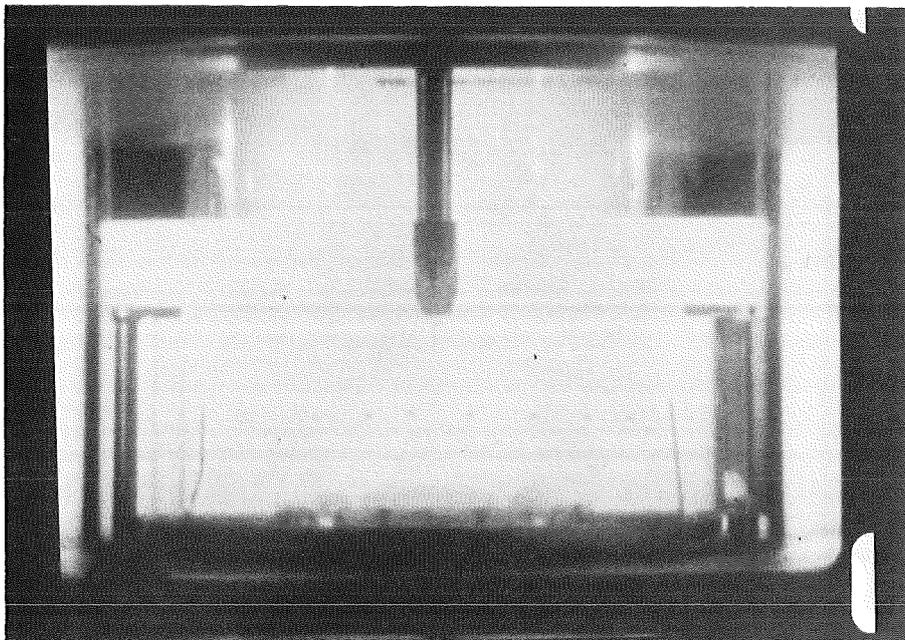


Abb.90b SGI 05-1 5.4 ms

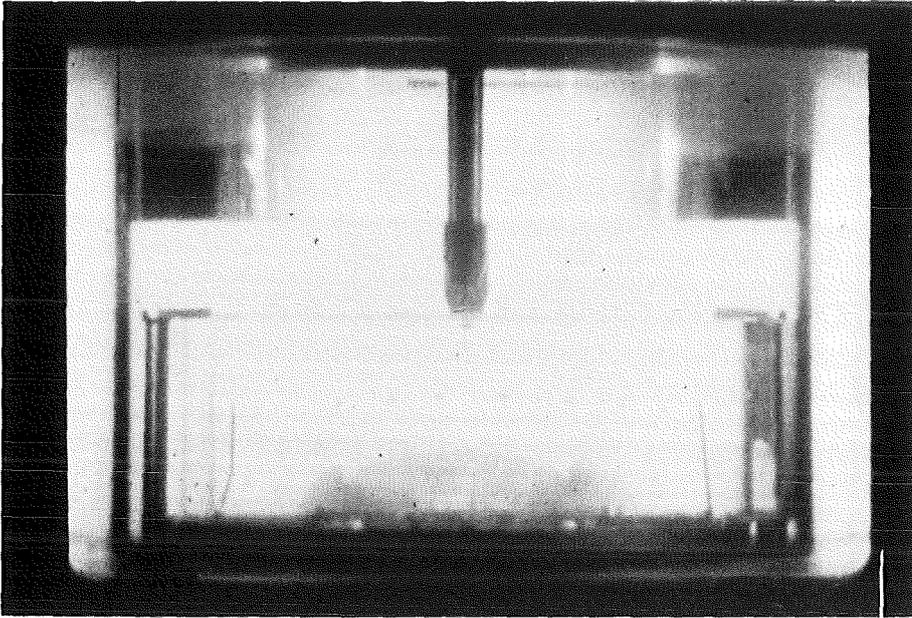


Abb. 90c SGI 05-1 6.4 ms

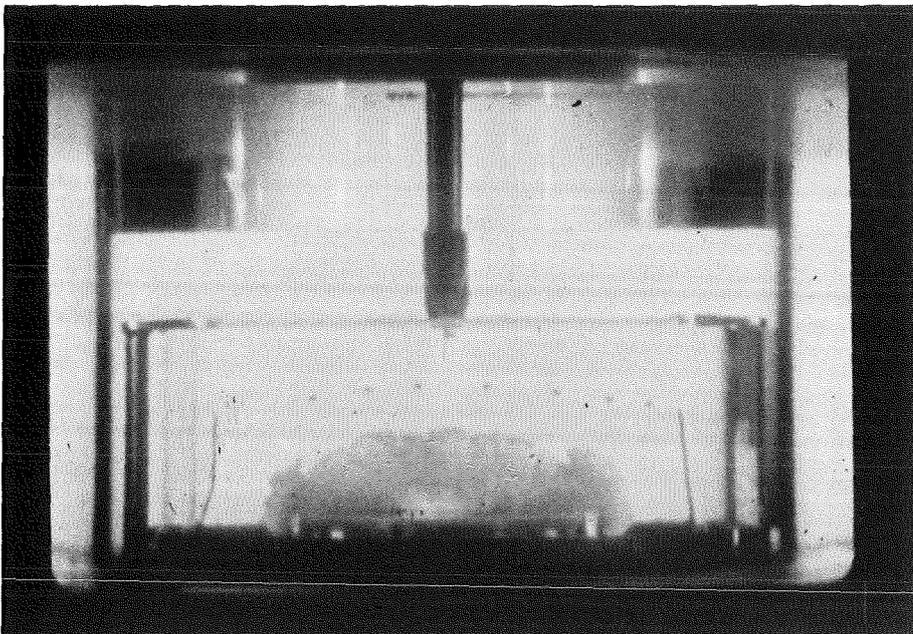


Abb. 90d SGI 05-1 6.8 ms

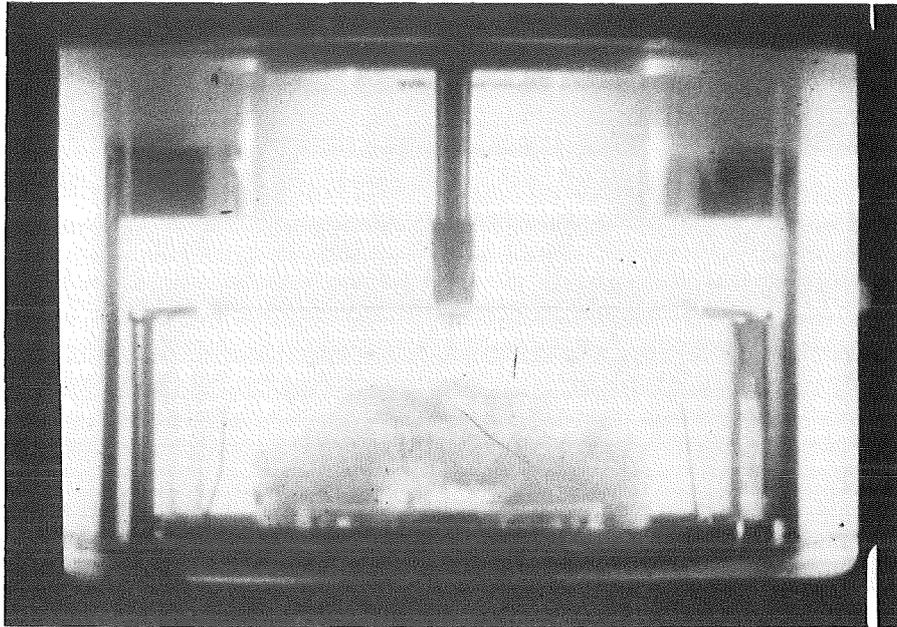


Abb. 90e SGI 05-1 7.5 ms

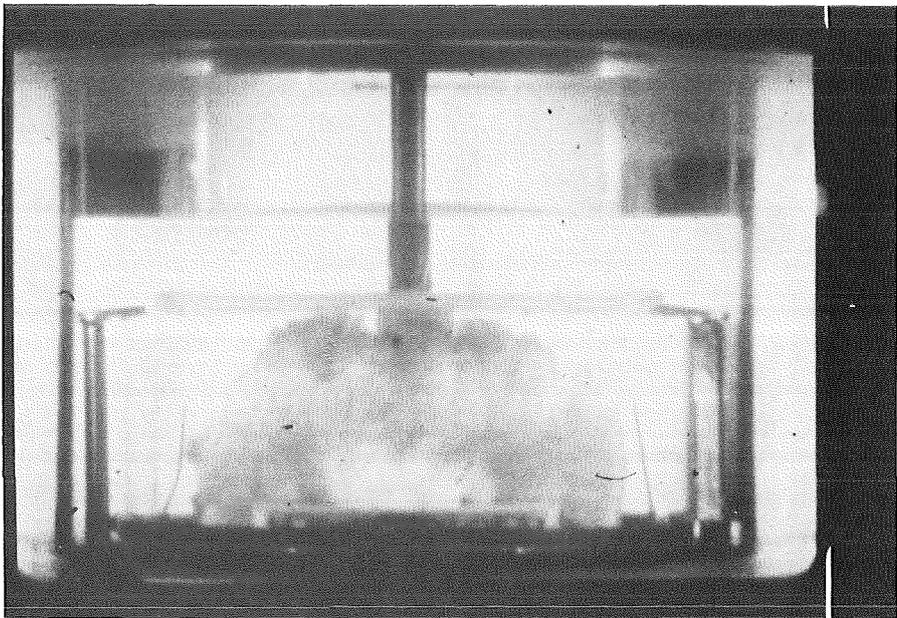


Abb. 90f SGI 05-1 8.4 ms

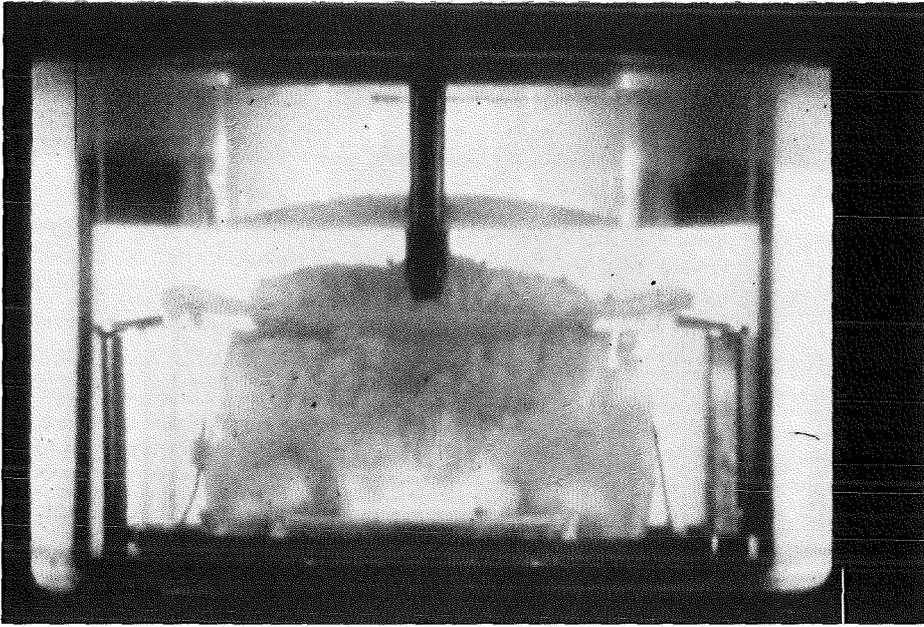


Abb.90g SGI 05-1 9.0 ms

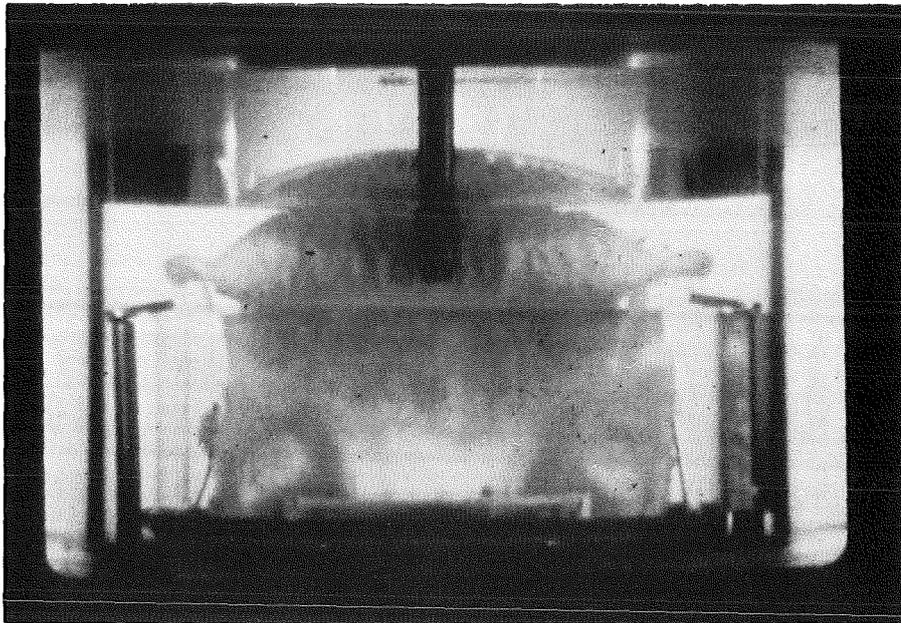


Abb.90h SGI 05-1 9.8 ms

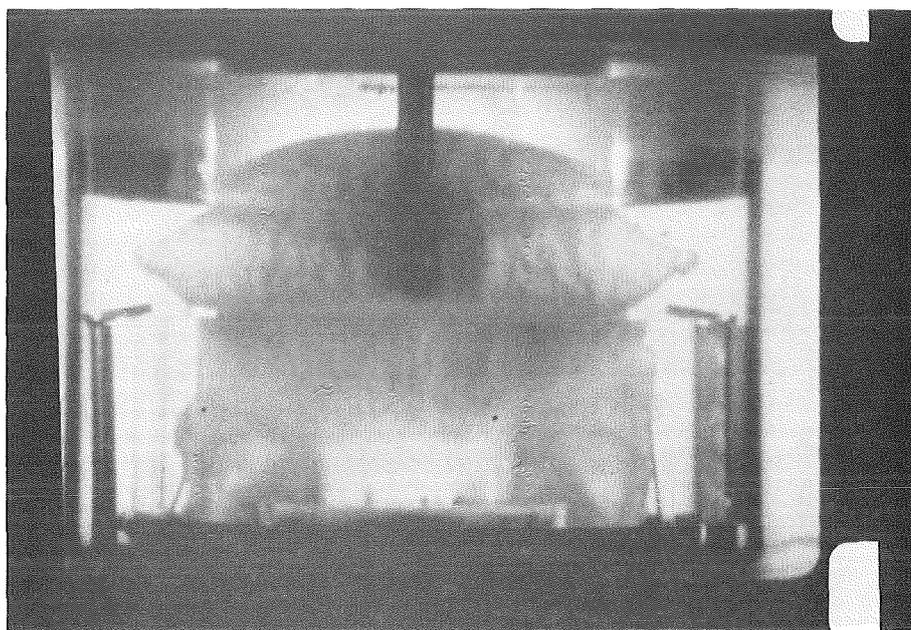


Abb.90i SGI 05-1 10.3 ms

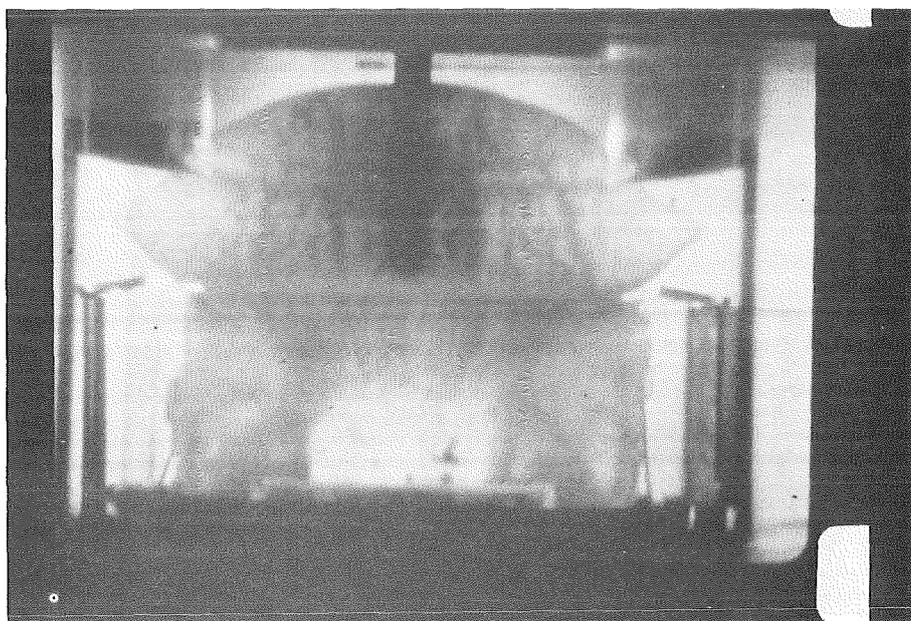
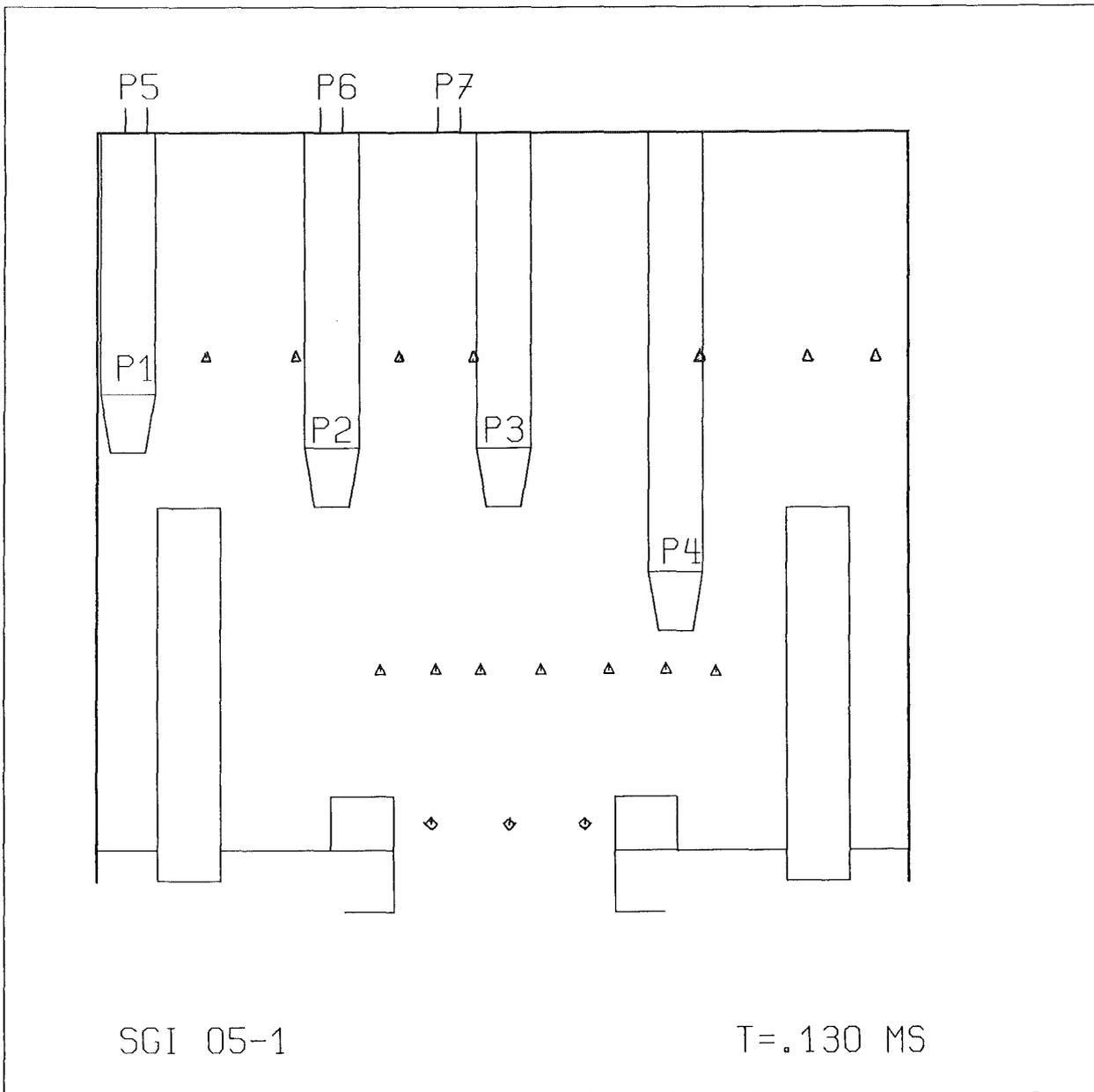


Abb.90k SGI 05-1 10.7 ms



- ◇ Blase
- △ (unten) Kugeln
- △ (oben) Wasseroberfläche

Abb.91a SGI 05-1, Kontur der Blase und Positionen der Kugeln

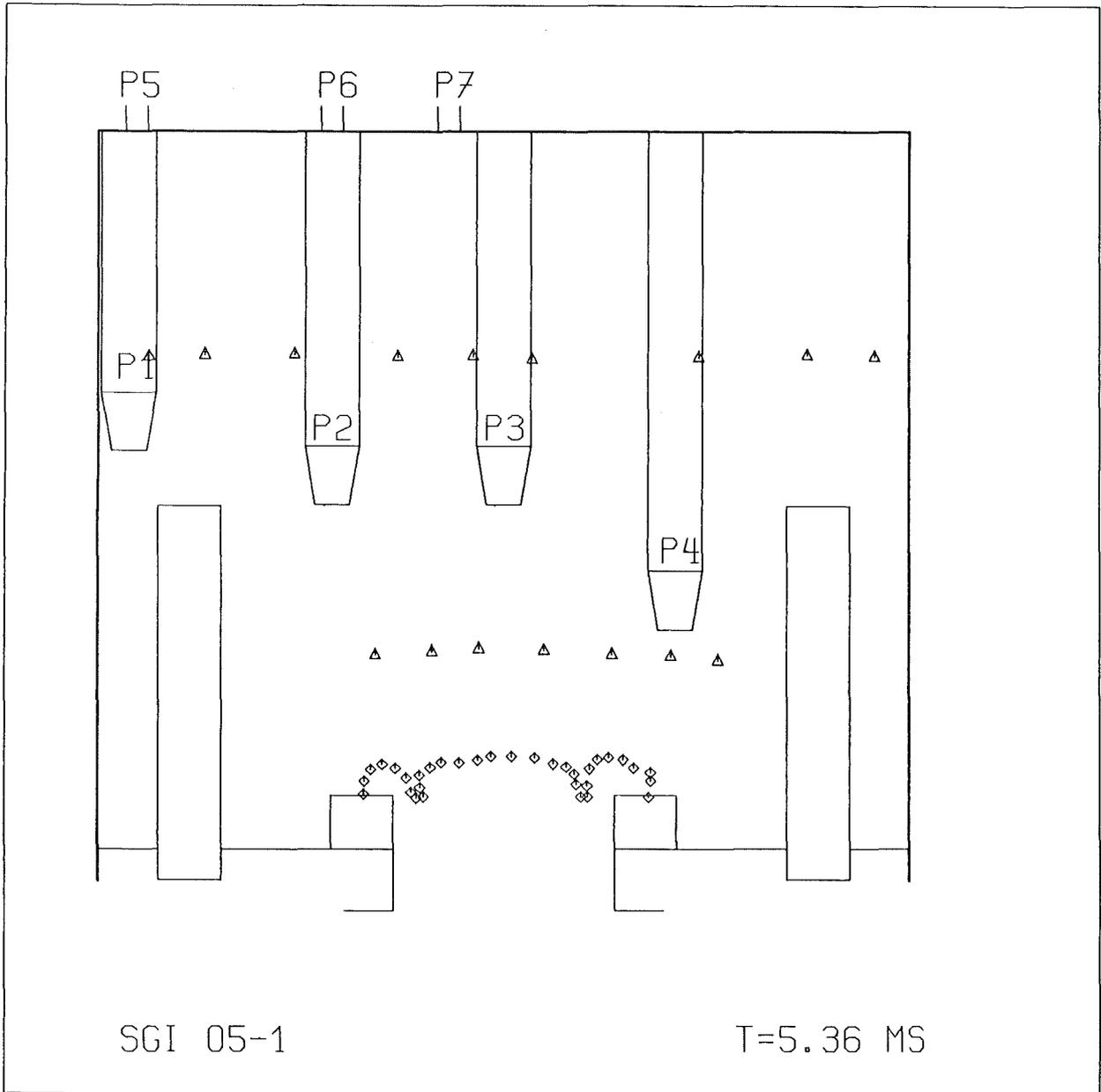


Abb.91b SGI 05-1, Kontur der Blase und Positionen der Kugeln

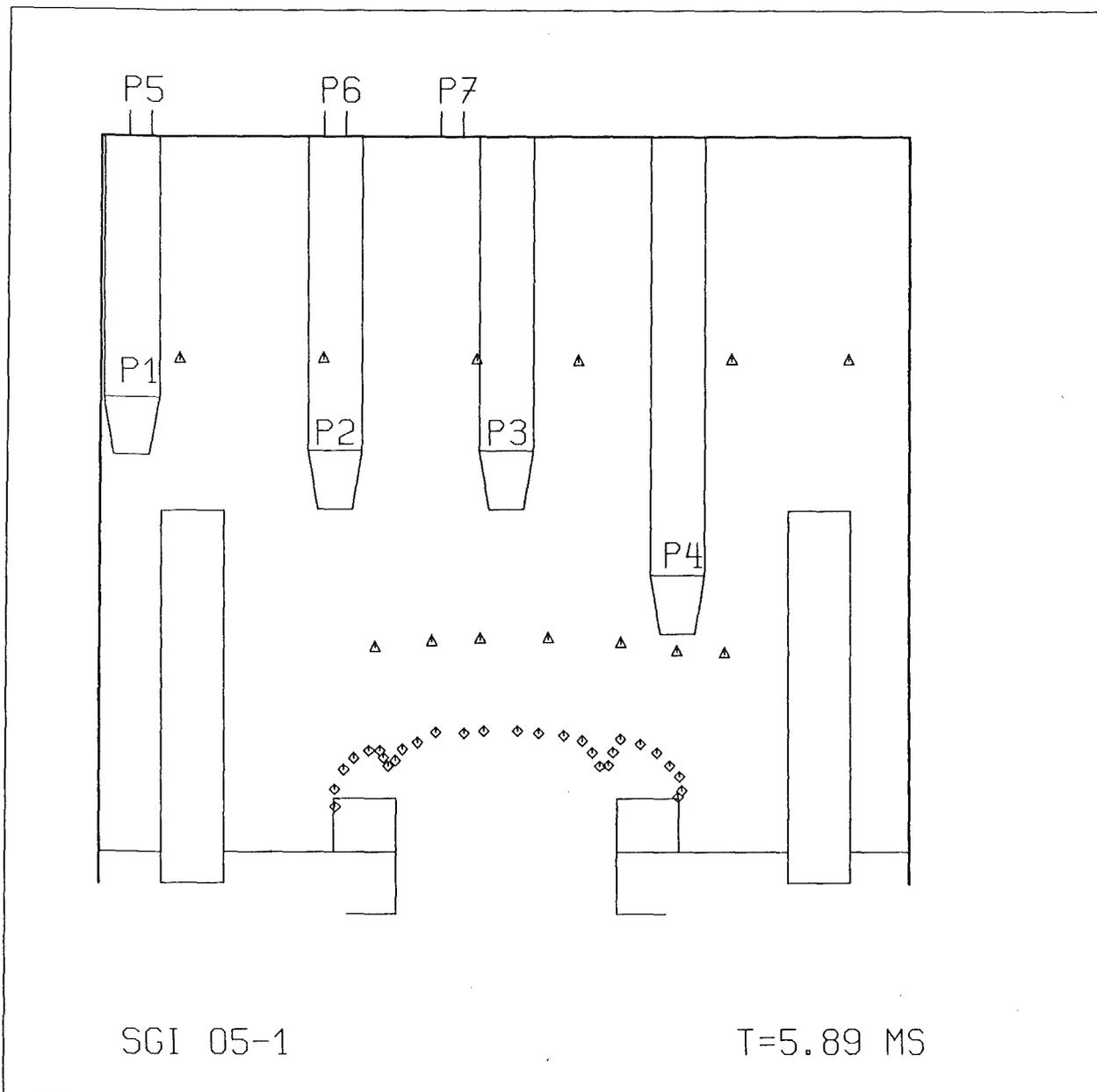


Abb.91c SGI 05-1, Kontur der Blase und Positionen der Kugeln

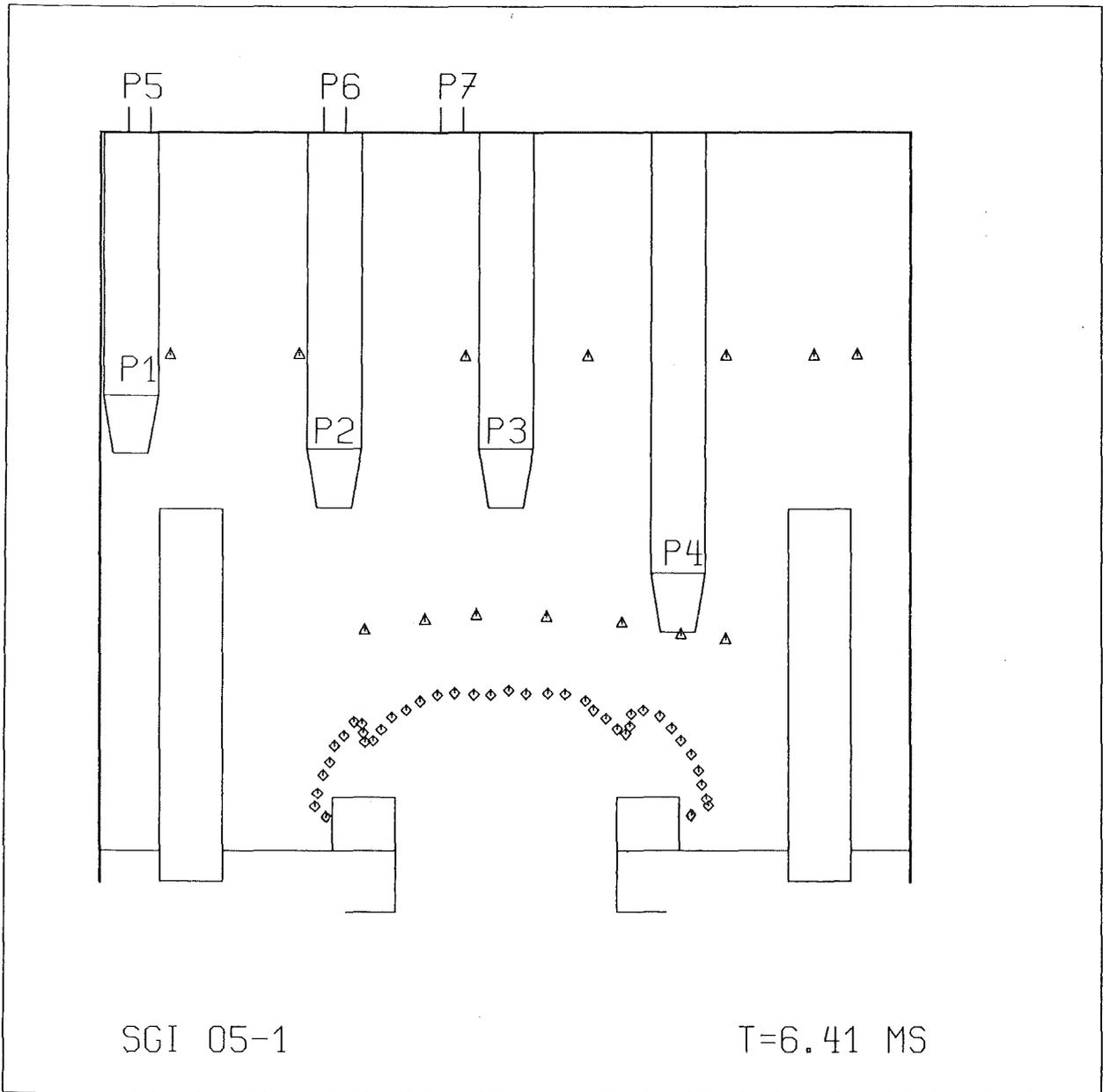


Abb.91d SGI 05-1, Kontur der Blase und Positionen der Kugeln

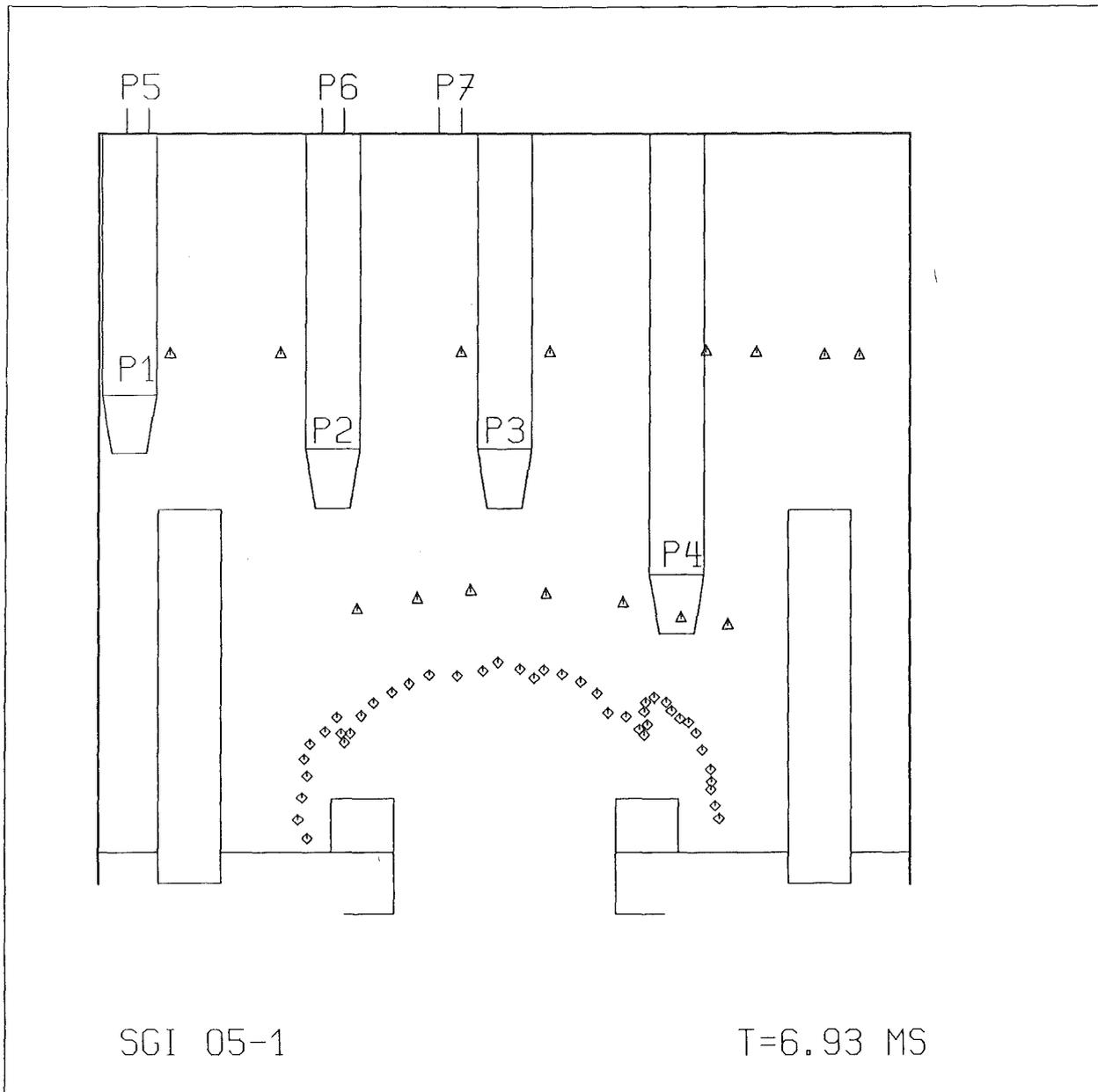


Abb.91e SGI 05-1, Kontur der Blase und Positionen der Kugeln

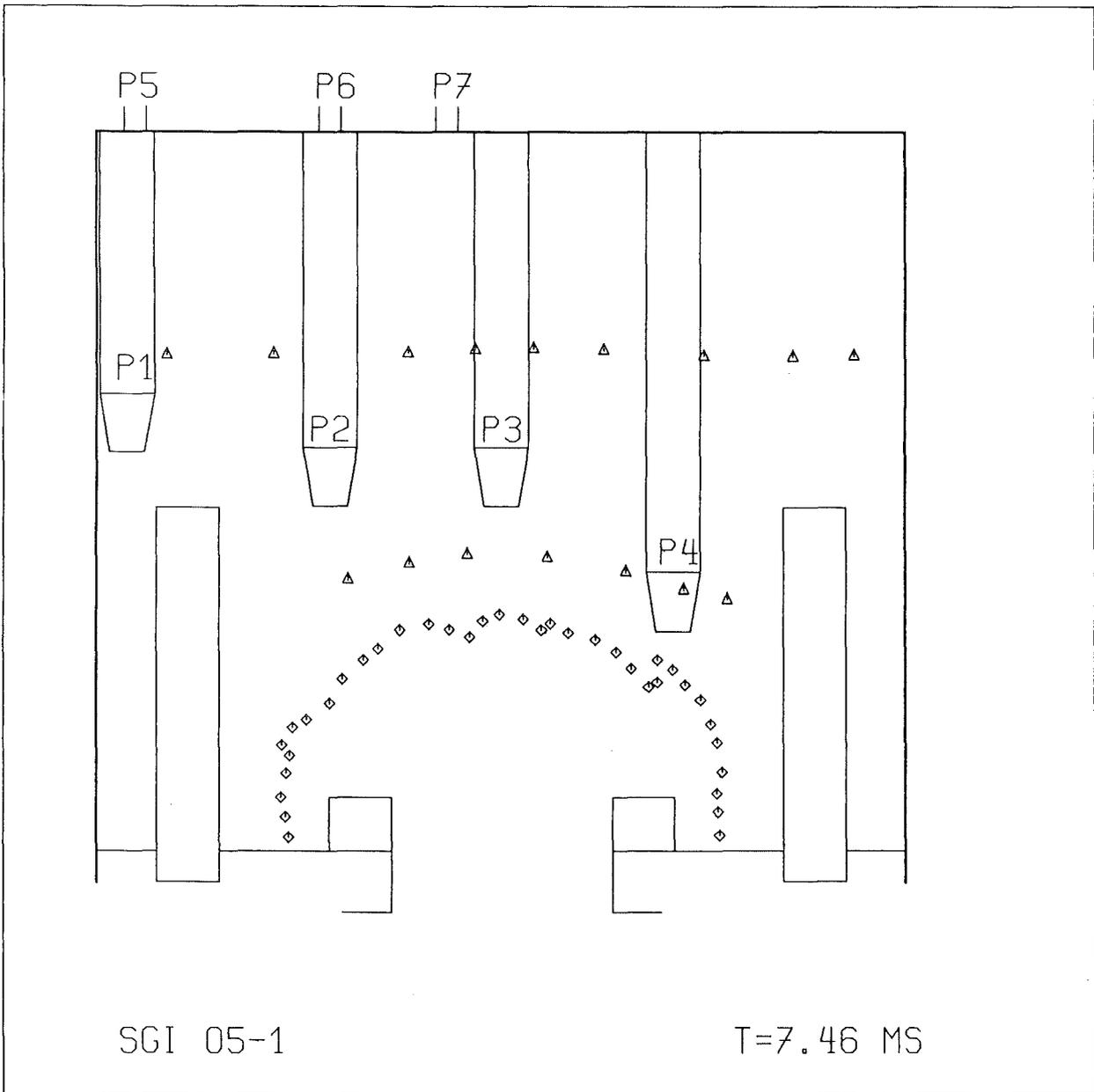


Abb.91f SGI 05-1, Kontur der Blase und Positionen der Kugeln

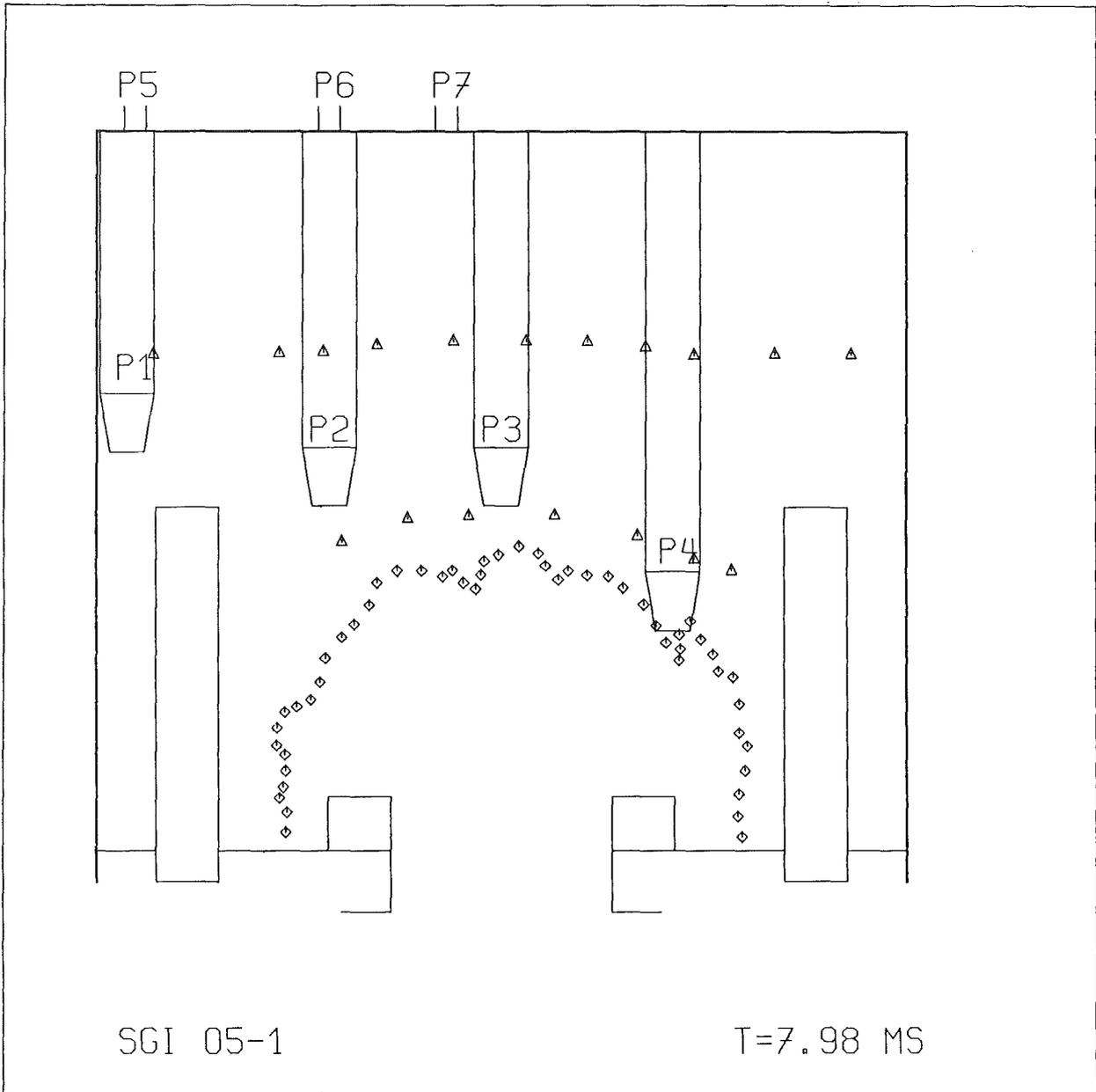


Abb.91g SGI 05-1, Kontur der Blase und Positionen der Kugeln

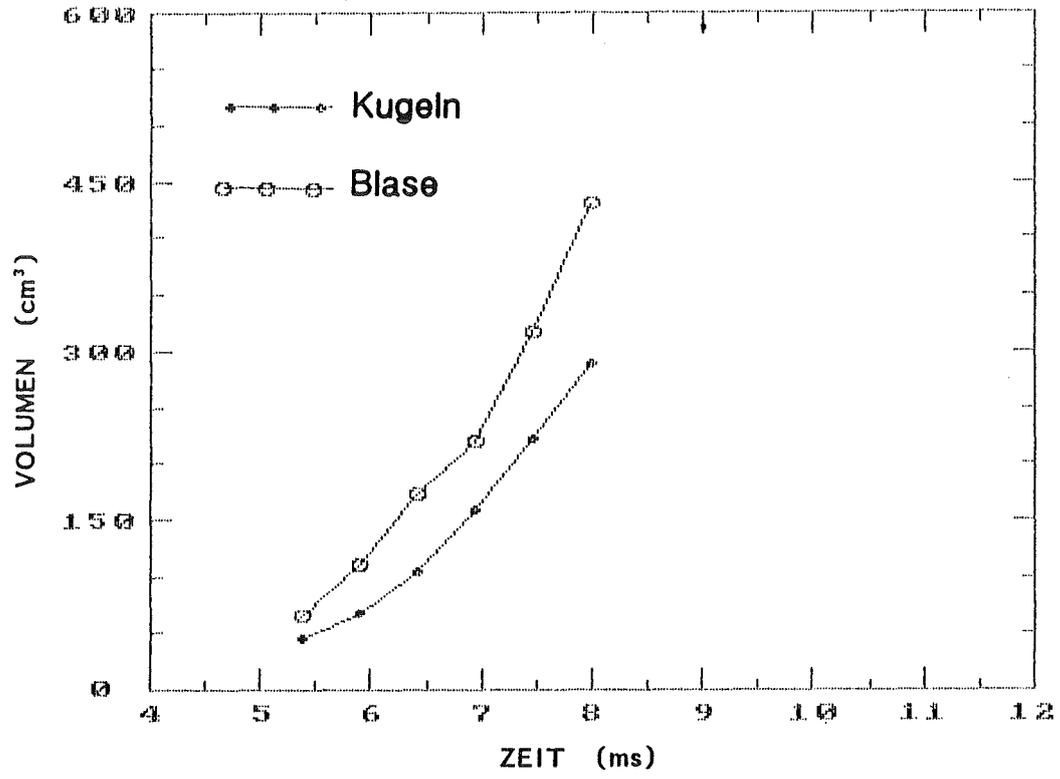


Abb.92 Verdrängungsvolumen SGI 05-1