



DECKBLATT

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
		N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	X A A X X	A A	N N N N
EU 103	9K			G	RB	0006	00

Titel der Unterlage: Ergebnisse festigkeitsmechanischer Laboruntersuchungen an Gesteinsproben aus dem Schachtwiderlagerbohrungen im Schacht Konrad 1 (Archiv-Nr. 99467/IV)	Seite:
	I.
	Stand:
	02/87

Ersteller: BGR	Textnummer:
-------------------	-------------

Stempelfeld:

PSP-Element TP...9K/21282	zu Plan-Kapitel: 4.2
---------------------------	----------------------

	PL 18.02.87	PL 18.02.87
		Freigabe im Projekt

Diese Unterlage unterliegt samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beförderung und Vernichtung und darf vom Empfänger nur auftragsbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung der PTB.

Revisionsblatt



	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
	N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
EU 103	9K			G	RB	0006	00

Titel der Unterlage:
Ergebnisse festigkeitsmechanischer Laboruntersuchungen
an GEsteinsproben aus den Schachtwiderlagerbohrungen im
Schacht Konrad 1
(Archiv-Nr. 99467/IV)

Seite:
 II.

Stand:
 02/87

Rev.	Revisionsst. Datum	verant. Stelle	Gegenzeichn. Name	rev. Seite	Kat. *)	Erläuterung der Revision


*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur
 Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung
 Kategorie S = substantielle Änderung
 Mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden.

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE

HANNOVER

Ergebnisse festigkeitsmechanischer Laboruntersuchungen
an Gesteinsproben aus den Schachtwiderlagerbohrungen
im Schacht Konrad 1

- Laborbericht: Ref. B 2.14 -

Sachbearbeiter: 
Datum: Februar 1987
Archiv-Nr.: 99 467/IV
Tagebuch-Nr.: 10739/86
TK-25: 3828 Lebenstedt Ost

Inhaltsverzeichnis

Seite

Zusammenfassung

0. Veranlassung	1
1. Herkunft des Probenmaterials	1
2. Probenvorbereitung	2
3. Versuchsprogramm	3
3.1 Maschinen- und technische Versuchsbeschreibung	3
3.2 Versuchstypen	4
3.3 Allgemeine Versuchsauswertung	5
4. Versuchsergebnisse	7
4.1 Wichten	7
4.2 Ultraschallmessungen	7
4.3 Festigkeitsuntersuchungen	8
5. Vergleich der Ergebnisse aus Schacht 1 und Schacht 2	10

Literaturverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Anlagenverzeichnis

(Abbildungen, Tabellen, Anlagen)

Zusammenfassung

Für erste Berechnungen sowie für die Technische Planung der Schachtverschlüsse in den Schächten Konrad 1 und 2 mußten speziell für die Schachtwiderlagerbereiche als höher belastete Zonen Angaben über Festigkeitsparameter des Gesteins gemacht werden. An Bohrkernen aus den vorläufig festgelegten Widerlagerbereichen wurden Laboruntersuchungen durchgeführt. In diesem Bericht werden die Ergebnisse der Proben aus Schacht 1 vorgestellt und mit jenen aus Schacht 2 verglichen.

0. Veranlassung

Im Anschluß an die Betriebsphase des geplanten Endlagers Konrad müssen die Schächte Konrad 1 und 2 entsprechend den Anforderungen im Plan Konrad verschlossen werden. Bestandteil des Schachtverschlußsystems soll ein Widerlagerbauwerk in den Schachtröhren sein, dessen Wirksamkeit und Standfestigkeit im Verbund mit dem Gebirge gewährleistet sein muß. In verschiedenen Aufgaben des Projektstrukturplans Konrad wurden und werden dafür Arbeiten vorgesehen (z. B. 9K/331923, Technische Planung Schachtverschluß). Als eine Grundlage mußten erste relevante Gesteins- und Gebirgsparameter zur Verfügung gestellt werden, um eine technische Planung durchführen zu können.

Nachdem in den Schächten mögliche Widerlagerstandorte festgelegt worden waren, wurden u. a. für festigkeitsmechanische Laboruntersuchungen Bohrungen gestoßen. Die BGR führte zunächst für ihre eigenen Berechnungen ein Laborprogramm an Gesteinskernen durch. Mit Schreiben 1.4/9K/331923/Kö./Kr. vom 07.04.1986 der PTB wurde die BGR gebeten, die vorhandenen Versuchsergebnisse zur Verfügung zu stellen. Die Labordaten der Proben aus dem Schacht Konrad 2 wurden bereits in [1] zusammengestellt und bewertet.

In diesem Bericht sind die Untersuchungsergebnisse der Proben aus Schacht Konrad 1 enthalten und werden mit den Resultaten der Proben aus Schacht 2 verglichen.

1. Herkunft des Probenmaterials

Bei den Gesteinsproben handelt es sich um Bohrkerne aus dem Widerlagerbereich des geplanten Schachtverschlusses, die zur Erkundung im Schacht 1 trocken erbohrt wurden. In der Zeit von Ende Mai bis Mitte Juli 1986 wurden 9 Bohrungen durchgeführt, die in 3 Teufenhorizonten angeordnet waren:

Horizont A: ca. 699 m unter Rasenhängebank,
Horizont B: ca. 719 m unter Rasenhängebank sowie
Horizont C: ca. 739 m unter Rasenhängebank.

Je Horizont verteilten sich die 3 Bohrrichtungen wie folgt:

Richtung 1: nach SE, 35^g fallend,
Richtung 2: nach NW, 35^g steigend sowie
Richtung 3: nach SW, 35^g steigend.

Die teufenmäßigen Ansatzpunkte der Bohrungen im Schacht sind in Abb. 1 dargestellt. Die gewonnene Bohrqualität war aufgrund der primären (geologischen) und sekundären (Bohrtechnik, Transport) Beanspruchung recht unterschiedlich; dennoch konnten alle Bohrungen beprobt werden. In Tab. 1 sind die Kennzeichnungen und Abmessungen der in der Versuchs- und Lagerhalle der BGR ausgesuchten Kerne aufgeführt. Anl. 1 enthält die petrographische Beschreibung und Bruchflächenlage der Einzelprobe. Die Proben bestehen aus Tonstein bis tonigem Mergelstein des Haute-rive. Weitergehende Angaben zu den Bohrungen können [2] entnommen werden.

Die Probenauswahl und Versuchsdurchführung fand in zwei Abschnitten statt. Die Proben mit den Nr. 246 - 274 wurden wenige Tage nach dem Bohren ausgewählt und anschließend im Labor untersucht. Die zweite Hälfte der Proben mit den Nr. 395 - 410 wurde Ende August ausgesucht und im November getestet. Alle präparierten Kerne wurden zur Zwischenlagerung in Plastikfolie eingeschweißt.

2. Probenvorbereitung

Zur festigkeitsmechanischen Laboruntersuchung müssen die Prüfzylinder an den Stirnenden planparallel und die Mantelfläche

glatt gedreht werden. Dies erfolgte auf einer Drehbank in der BGR. Bedingt durch in-situ-Versuche in den Bohrlöchern konnten für die vorhandenen Maschinendruckstücke Proben mit einem Durchmesser von ca. 70 mm erstellt werden. Mit einem Durchmesser- zu Längenverhältnis von mindestens 1 : 2 wurden generell die Abmessungen 70 mm : 150 mm gewählt.

Für die Spaltzugversuche ist nach DIN 1048, Teil 1, vom Dez. 1978 ein Durchmesser- zu Längenverhältnis von 1 : 1 erforderlich. Für diese Versuche wurden zur besseren Krafteinleitung auf gegenüberliegenden Mantelflächen hölzerne Lastverteilungstreifen von 7 mm Breite und ca. 1 mm Dicke aufgeklebt. Die genauen Maße aller Gesteinszylinder sind der Tab. 1 zu entnehmen.

3. Versuchsprogramm

Wie in der Veranlassung bereits erwähnt, wurden zunächst Laborversuche notwendig, um Parameter für die in der BGR durchgeführten gebirgsmechanischen Berechnungen bereitzustellen. Es mußten deshalb solche Versuche gefahren werden, die die Eingangsparameter für das zur Anwendung kommende mechanische Stoffgesetz auch ermitteln konnten. Neben dem Bruchverhalten interessierte vor allem die Nachbruchphase der Laborversuche. Die durch diese Anforderungen notwendigen Versuchstypen waren auf den in der BGR vorhandenen Maschinen durchführbar. Außerdem wurden noch standardmäßig Ultraschallmessungen sowie die Bestimmung der Wichten durch Abmessen und Wiegen der Prüfzylinder vorgenommen.

3.1 Maschinen- und technische Versuchsbeschreibung

Die Ultraschallmessungen wurden mit der Geräteeinheit USIP12/DTM12 der Fa. KRAUTKRAMER-BRANSON und den Prüfköpfen B1Y sowie B1S - N der Fa. KRAUTKRAMER durchgeführt.

Die Durchschallung sollte i. d. R. in Probenlängsachse erfolgen. Aufgrund der Probenbeschaffenheit war häufig kein Signaldurchgang erhältlich, so daß quer zur Längsachse gemessen wurde; diese Ergebnisse sind mit einem q gekennzeichnet. Wie Vergleichsmessungen gezeigt haben, sind bei gutem Signaleinsatz nur geringe Qualitätsverluste aufgrund der schlechteren Ankopplungsmöglichkeit der Sender- und Empfängerköpfe auf der gekrümmten Mantelfläche zu erwarten.

Alle Druck- und Spaltzugversuche wurden auf einer 2 000 kN-Triaxial-Prüfmaschine (Klasse 1 nach DIN 51223) der Fa. SCHENCK-TREBEL GmbH (Ratingen) durchgeführt, die nach dem Kármánprinzip aufgebaut ist. Einzelheiten des Maschinenaufbaus, der Steuerungsmöglichkeiten und der Genauigkeiten können [3] entnommen werden.

Bei Triaxialversuchen wurden den Gesteinskernen zum Schutz gegen eindringendes Druckmedium eng anliegende Gummischläuche übergezogen. I. d. R. war es außerdem notwendig, einen weiteren Schutz gegen eine Verletzung des Außenschlauches einzuführen, die wegen der z. T. schärferen Bruchkanten bei den Nachbruchversuchen hervorgerufen wurden.

3.2 Versuchstyp

Aufbauend auf den Erfahrungen an den Proben am Schacht Konrad 2 kam ein einziger Versuchstyp zur Anwendung.

Ein vollständiger Druckversuchablauf an einer Probe setzte sich aus folgenden Abschnitten zusammen (Abb. 2):

- a) Schaffung eines hydrostatischen Ausgangsspannungsniveaus.
- b) Deviatorische Laststeigerung bis zum Bruch bei konstantem Seitendruck und konstanter Stauchungsgeschwindigkeit. Im

oberen Bereich des linearen Erstbelastungsastes wurde ein Ent- und Wiederbelastungszyklus eingeschaltet, der bis auf das hydrostatische Niveau hinabreichte.

- c) Die Nachbruchfestigkeit ist neben der Ausbildung der Bruchfläche i. w. vom Spannungszustand abhängig. Mit der kontinuierlichen Abminderung des Seitendrucks σ_3 werden alle Stadien der Restfestigkeiten durchlaufen. Zur Ermittlung des Restverformungsmoduls aus einem Ent- und Wiederbelastungszyklus im Nachbruchbereich wurde der Seitendruck konstant gehalten.

Generell wurden die Versuche verzerrungsgeregelt mit einer Stauchungsrate von $1 \times 10^{-5} \text{ [s}^{-1}\text{]}$ durchgeführt. Vorversuche zeigten, daß unterschiedliche Verformungsgeschwindigkeiten keinen signifikanten Einfluß auf die Festigkeitsergebnisse hatten, die petrographische Ausbildung dagegen sich deutlich auswirkte. Zur Bestimmung der Mohrschen Bruchhüllgeraden wurden die Seitendrücke zwischen 0 und 20 MPa variiert. Bei einigen Versuchen wurde der Seitendruck im Nachbruchbereich erhöht, um zusätzliche Restfestigkeitsergebnisse zu erhalten.

3.3 Allgemeine_Versuchsauswertung

Die allgemeine Versuchsauswertung an einer Einzelprobe umfaßte folgende Punkte:

- Berechnung der Wichte γ aus dem Gewicht der Probe und seinem Volumen.
- Bestimmung der dynamischen Moduli aus den Ultraschallgeschwindigkeiten über die Beziehungen

$$E_{\text{dyn}} = \frac{v_s^2 \cdot \zeta \cdot (3v_p^2 - 4v_s^2)}{v_p^2 - v_s^2}$$

und

$$\nu_{\text{dyn}} = \frac{v_p^2 - 2v_s^2}{2 \cdot (v_p^2 - v_s^2)}$$

mit E_{dyn}	= dynamischer Elastizitätsmodul	[MPa]
ν_{dyn}	= dynamische Poissonzahl	[-]
v_p	= Primär- oder Longitudinalwelle	[m/s]
v_s	= Sekundär- oder Transversalwelle	[m/s]
ζ	= Gesteinsdichte	[t/m ³]

- Abgreifen der Bruchfestigkeit als maximal erreichter Spannungswert im Pre-failure-Bereich (s. Abb. 2, Pkt. d) sowie Angabe der dazugehörigen Stauchung.
- Abgreifen der Nachbruchfestigkeiten im Post-failure-Bereich. Der Verlauf der Nachbruchfestigkeiten wird i. w. durch die Ausbildung der Scherfläche bestimmt. Wie in Abb. 2 schematisch dargestellt, wird nach dem Bruch in den Versuchen häufig ein Minimum durchlaufen (Abb. 2, Pkt. e), dem ein mehr oder weniger flaches Maximum folgt, bis sich ein horizontaler Verlauf einstellt, dessen Wert dem Minimum i. d. R. entspricht. Das flache Maximum stellt sich vermutlich aufgrund der zunächst noch rauhen Bruchfläche ein, die im Laufe des Aneinandergleitens der beiden Bruchufer mehr und mehr geglättet wird. Als Nachbruchfestigkeit wurde bei deutlich horizontalem Verlauf die zugehörige Spannung (Abb. 2, Pkt e'), ansonsten aber der Minimalwert benutzt. Bei kontinuierlicher Erniedrigung des Seitendrucks konnte ebenfalls stetig die Nachbruchfestigkeit angegeben werden (Abb. 2, Pkt. e'). Wie Versuche gezeigt haben, stellte sich die entsprechende Spannung bei dem untersuchten Gestein spontan ein.

Zur Beschreibung des Verformungs- und Elastizitätsverhaltens wurden 3 Moduli bestimmt (Abb. 2):

1. Der Anfangsverformungsmodul E_V ; er wurde i. d. R. bei 50 % der Bruchfestigkeit am Erstbelastungsast als Steigung der Versuchskurve ermittelt; besaß der Prüfkern einen ausgeprägten Bereich zwischen Fließ- und Bruchgrenze, so wurde der lineare Teil der Erstbelastung herangezogen (Abb. 2, Pkt. a/a').
2. Der Elastizitätsmodul E ergab sich aus der Steigung der Geraden durch die Drittelpunkte (Abb. 2, Pkt. c) des Entlastungsastes der vor dem Bruch gefahrenen Ent- und Wiederbelastungsschleife vor dem Bruch.
3. Der sogenannte Restverformungsmodul RVM zur Beschreibung des Verformungsverhaltens im Nachbruchbereich wurde durch die Steigung der Geraden durch den unteren Wendepunkt (Abb. 2, Pkt. f') und den oberen Schnittpunkt (Abb. 2, Pkt. f) des Ent- und Wiederbelastungszyklusses bestimmt, wobei der Seitendruck konstant gehalten wurde.

4. Versuchsergebnisse

4.1 Wichten

Die durch Wiegen und Abmessen der Proben bestimmten Wichten liegen zwischen 23,87 und 25,53 kN/m³ bei einem Mittelwert von 24,76 ($\pm 0,345$) kN/m³. Geringe Gewichtsverluste durch Entspannungsvorgänge und einsetzende Austrocknung sind gegenüber dem natürlichen Zustand zu vermuten. In Tab. 2 sind die Einzelwerte aufgeführt.

4.2 Ultraschallmessungen

Ebenfalls in Tab. 2 befinden sich die Ergebnisse der Ultraschallgeschwindigkeiten sowie deren Auswertung bezüglich der dynamischen Parameter E_{dyn} und ν_{dyn} . Aufgrund der stärkeren

Energieabsorption konnte bei einer Reihe von Proben nur quer zur Probenlängsachse durchschallt werden. Dies bot aber die Möglichkeit, parallel zur Schichtung und senkrecht zur Schichtungsrichtung zu messen und damit Anisotropien festzustellen.

Die Laufzeitgeschwindigkeiten betragen für die Longitudinalwelle 2 750 bis 3 900 m/s und für die Transversalwelle 1 550 bis 2 100 m/s. In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse der dynamischen Parameter zusammengestellt, aus denen sich die Anisotropie aufgrund der Schichtung ablesen läßt.

	Min.	Max.	Mw ± S	N
E _{dyn} [MPa]	14 200	27 000	21 504 ± 3 037	75
	14 200 ¹	23 300 ¹	19 678 ± 2 206 ¹	27
	19 200 ²	27 000 ²	24 173 ± 2 132 ²	26
ν _{dyn} [-]	0,15	0,36	0,284 ± 0,043	75
	0,20 ¹	0,36 ¹	0,294 ± 0,042 ¹	27
	0,15 ²	0,32 ²	0,260 ± 0,036 ²	26
E _{dyn} = dynamischer Elastizitätsmodul ν _{dyn} = dynamische Poissonzahl Mw = Mittelwert, S = Standardabweichung N = Anzahl der Werte 1 = senkrecht zur Schichtungsrichtung 2 = parallel zur Schichtung				

4.3 Festigkeitsuntersuchungen

Die Darstellung der Einzelergebnisse bzw. deren Streubreiten erfolgte in Abb. 3; die Einzelwerte sowie die zugehörigen Versuchsbedingungen wurden in Tab. 3 festgehalten. Anl. 2 enthält die $\sigma_1 - \sigma_3/\epsilon$ - bzw. F/S-Diagramme der Versuche.

Die Spaltzugfestigkeiten liegen zwischen 1,78 und 2,22 MPa. Eine Abhängigkeit der Festigkeit von der Lasteintragsrichtung zur Schichtung zeigen die Versuche nicht. Der Mittelwert liegt bei $1,99 \pm 0,17$ MPa.

Die Bruchfestigkeiten streuen für die Anzahl der Versuche in einem üblichen Bereich. Eine systematische deutliche Abweichung der Ergebnisse einer einzelnen Bohrung ist nicht erkennbar; dagegen lieferten die Proben aus den Bohrungen KI A2 und KI A3 häufiger die höchsten und die KI C3 die niedrigsten Werte. Die geringeren Bruchfestigkeiten der Proben mit den Kern-Nr. 266 und 267 werden durch die Existenz von präexistenten Harnischflächen verursacht, auf denen sich der Bruch vollzog. Die Scherparameter, ermittelt durch eine lineare Regression (s. Abb. 3), betragen für den inneren Reibungswinkel $30,4^\circ$ und für die Kohäsion $4,14$ MPa.

Die Nachbruchfestigkeiten besitzen mit zunehmendem Seitendruck ein größeres Streuspektrum. Eine systematische Abweichung einzelner Bohrungen von den übrigen Ergebnissen ist nicht festzustellen. Die lineare Regression ergibt einen inneren Reibungswinkel von $27,4^\circ$ und eine rechnerische Kohäsion von $1,36$ MPa (Abb. 3). Wie in [4] ausführlicher erläutert, ist diese Kohäsion fiktiv und darf nur in begründeten Fällen angewandt werden.

An elastizitäts- und verformungsbeschreibenden Moduli wurden der Anfangsverformungsmodul E_v , der statische Elastizitätsmodul E und der Restverformungsmodul RVM bestimmt. Sie sind in Tab. 3 aufgeführt. Der Anfangsverformungsmodul schwankt zwischen $3\ 100$ und $10\ 400$ MPa mit einem Mittelwert von $6\ 890$ ($\pm 1\ 892$) MPa. Eine Spannungsabhängigkeit ist nicht ersichtlich (Tab. 4). Ebenso ist der Elastizitätsmodul spannungsunabhängig mit einem Streubereich von $8\ 200$ bis $14\ 150$ MPa und einem Mittelwert von $10\ 750 \pm 1\ 383$ MPa. Der Restverformungsmodul wird vom herrschenden Spannungszustand beeinflusst, wobei mit zunehmendem Seitendruck die Moduli i. d. R. steigen. Dies ist bei den Einzelversuchen deutlicher erkennbar als bei Mittelwerten der einzelnen Spannungsstufen (Tab. 4), da durch die Gesamtschwankungsbreite der Trend verschleiert wird. Der über die Seitendrücke gewichtete Mittelwert beträgt $5\ 520 \pm 340$ MPa.

5. Vergleich der Ergebnisse aus Schacht 1 und Schacht 2

In Tab. 5 sind die wichtigsten Untersuchungsergebnisse der Proben aus den Schächten Konrad 1 denen des Schachtes Konrad 2 gegenübergestellt. Die Proben aus Schacht 1 haben über einen geologisch längeren Zeitraum eine um ca. 100 m höhere Gesteins-säule als Auflast ertragen als in Schacht 2. Daraus kann neben anderen Faktoren die etwas höhere mittlere Wichte der Schacht 1-Proben abgeleitet werden, möglicherweise auch die etwas höheren Werte der dynamischen Laboruntersuchungen.

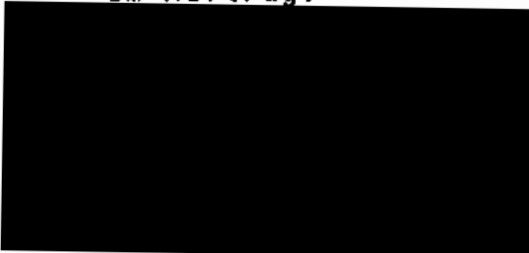
Auffallend gute Übereinstimmungen zeigen die Scherparameter sowohl im Bruch- als auch im Nachbruchverhalten.

Die beschreibenden Parameter des elastischen Verhaltens (E) und des Verformungsverhaltens (E_v , RVM) sind bei Schacht 1 wiederum geringfügig höher als bei Schacht 2.

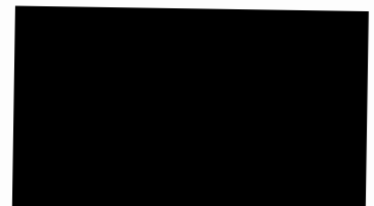
Insgesamt betrachtet liegen die Laborergebnisse der Proben aus Schacht 1 tendenziell etwas höher. Als signifikant ist dieser Unterschied aber nicht zu betrachten, so daß für beide geplanten Schachtwiderlagerbereiche von einem gleichen mechanischen Gesteinsverhalten auszugehen ist.

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE

Im Auftrag:



Sachbearbeiter:



Literaturverzeichnis

- [1] BGR-Bericht (SCHNIER, H., 1986): Ergebnisse der festigkeitsmechanischen Laboruntersuchungen an Proben aus den Schachtwiderlagerbohrungen im Schacht Konrad 2. Laborbericht Ref. B 2.14.- BGR, Archiv-Nr. 99 467/II; Hannover.

- [2] BGR-Bericht (Bräuer, V. & LIEDTKE, L., in Vorber.): Durchströmungsversuche auf der Schachtanlage Konrad im Schacht 1 und Ort 300. Versuchsbericht Ref. B 2.11.- BGR, Archiv-Nr. 100 295; Hannover.

- [3] MEISTER, D., HEIDRICH, D. & RIEGER, H. (1984): Triaxialprüfanlage für Festigkeits- und Verformungsuntersuchungen an Gesteinsprüfkörpern.- Fortschr.-Ber. VDI-Z., Reihe 5, Nr. 79, 50 S., 21 Abb., 4 Tab.; Düsseldorf.

- [4] BGR-Bericht (SCHNIER, H., 1986): Ergebnisse von festigkeitsmechanischen Laboruntersuchungen an Gesteinsproben aus dem Oxford und Kimmeridge des Nahbereichs der Grube Konrad. Laborbericht B 2.14.- BGR, Archiv-Nr. 99 467/III; Hannover.

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: Stratigraphisch/petrographische Übersicht des Schachtes Konrad 1
- Abb. 2: Schematische Gesamtversuchskurve
- Abb. 3: Festigkeitsergebnisse der Proben aus den Schachtwiderlagerbohrungen, Schacht Konrad 1

Tabellenverzeichnis

- Tab. 1: Kernbezeichnungen, Entnahmetiefe und Abmessungen der Proben aus den Widerlagerbohrungen, Schacht Konrad 1
- Tab. 2: Wichten und Ergebnisse der Ultraschallmessungen der Proben aus den Widerlagerbohrungen, Schacht Konrad 1
- Tab. 3: Versuchsbedingungen und Ergebnisse der Festigkeitsuntersuchungen an Proben der Widerlagerbohrungen, Schacht Konrad 1
- Tab. 4: Steife- und Verformungsmoduli in Abhängigkeit vom Spannungszustand
- Tab. 5: Ergebnisgegenüberstellung von Laboruntersuchungen an Proben aus den Schachtwiderlagerbohrungen der Schächte Konrad 1 und Konrad 2

Anlagenverzeichnis

- Anl. 1: Gesteins- und Bruchbeschreibung der Proben aus den Widerlagerbohrungen, Schacht Konrad 1
- Anl. 2: Spannungs-Dehnungs-Diagramm der Proben aus den Widerlagerbohrungen, Schacht Konrad 1

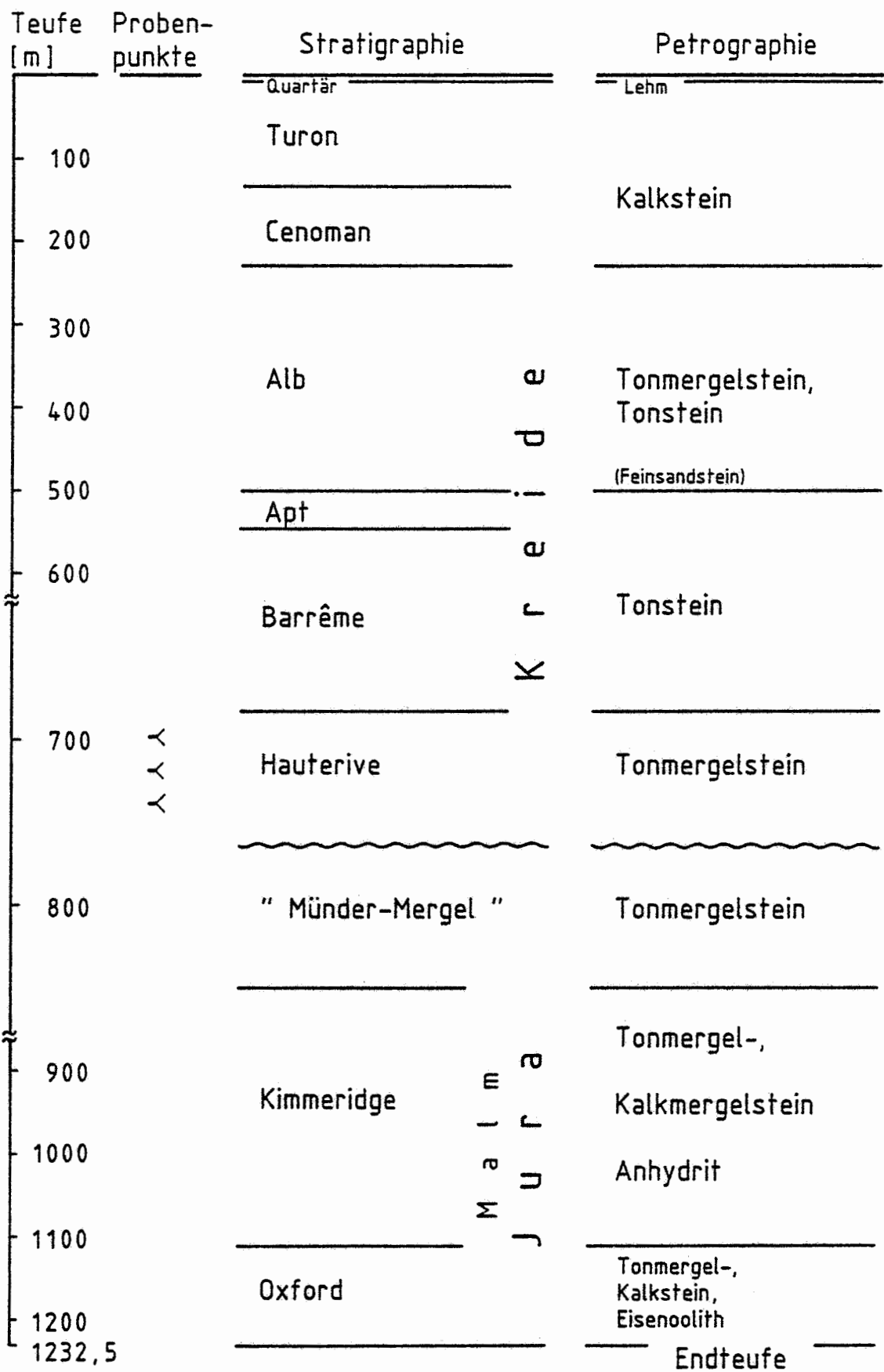


Abb. 1: Stratigraphisch/petrographische Übersicht des Schachtes Konrad 1 (nach Aktenunterlagen, Stand 6.86)

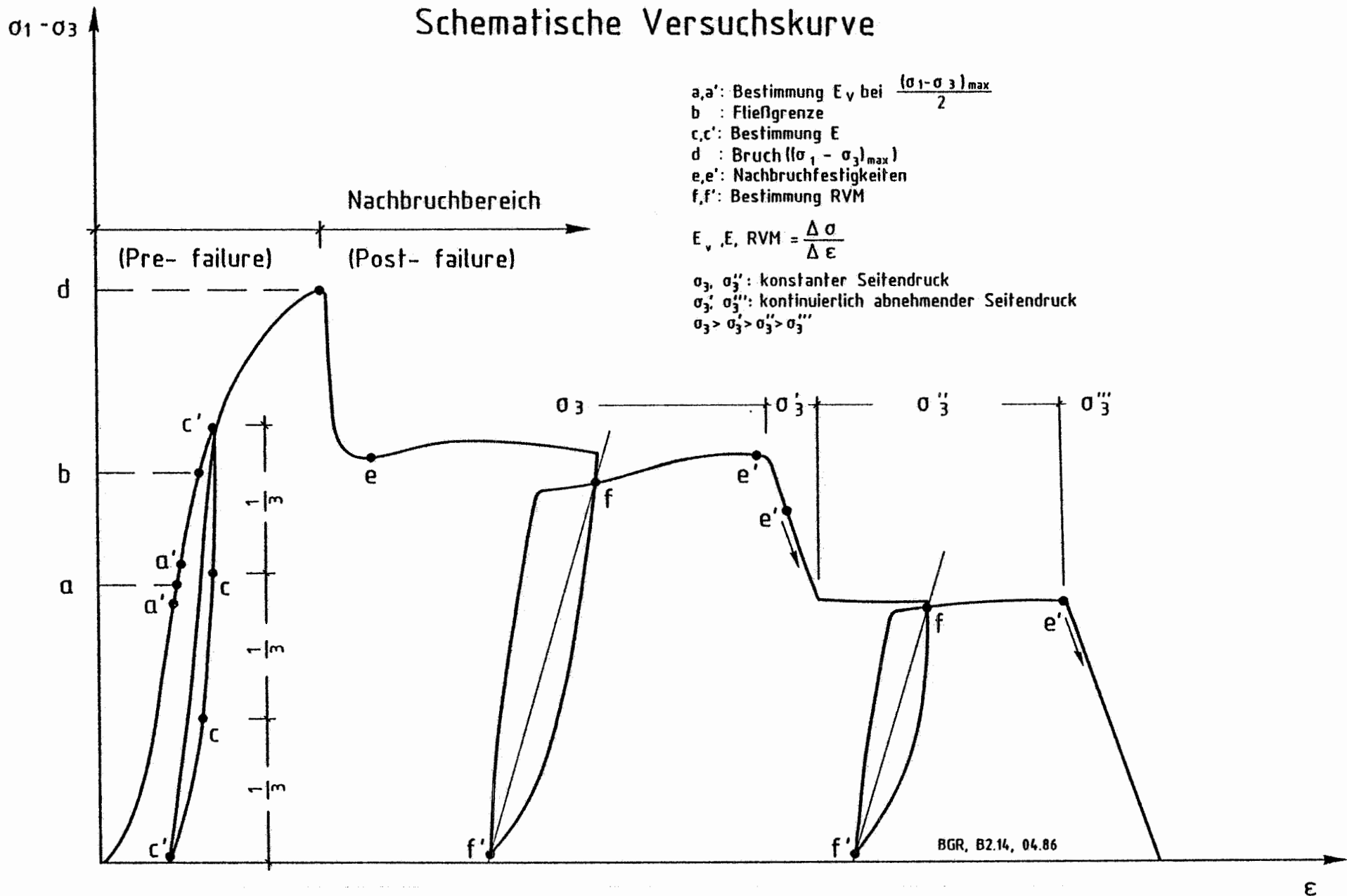


Abb. 2: Schematische Gesamtversuchskurve

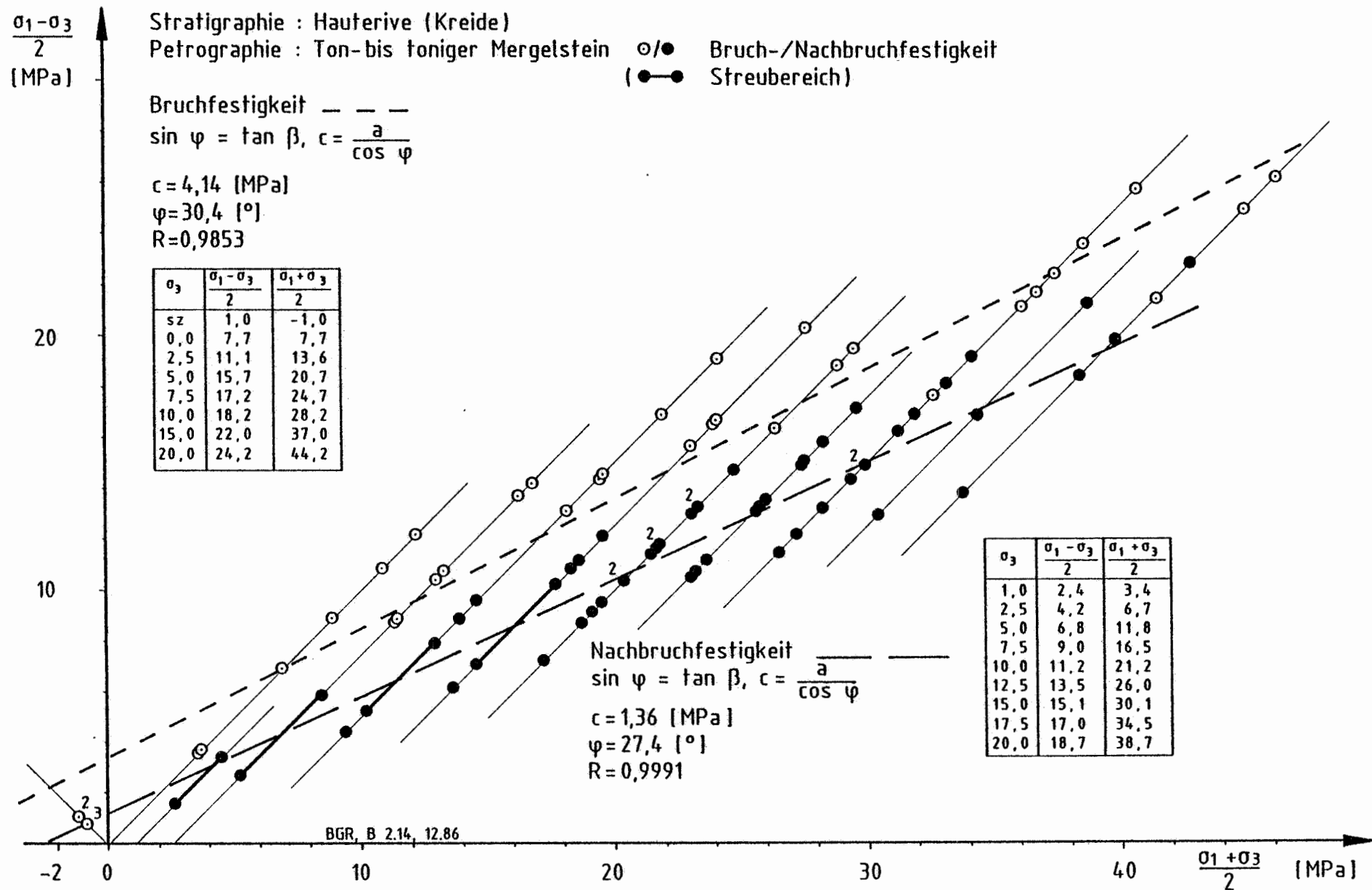


Abb. 3: Festigkeitsergebnisse der Proben aus den Schachtwiderlagerbohrungen, Schacht Konrad 1

Tab. 1: Kernbezeichnungen, Entnahmetiefe und Abmessungen der Proben aus den Widerlagerbohrungen, Schacht Konrad 1

Kernbezeichnung	Labor-Nr.	Kern-Nr.	Teufe (m)	Abmessungen		Bemerkungen
				l ₀ [mm]	d ₀ [mm]	
KI A1	86013	246	10,00 - 10,07	70,0	70,0	
" "	"	247	10,08 - 10,23	150,0	70,0	
" "	"	248	10,50 - 10,65	150,0	70,1	
" "	"	249	10,66 - 10,81	150,0	70,1	
" "	"	250	10,82 - 10,97	150,0	70,2	
" "	"	251	12,31 - 12,46	150,0	70,2	
KI B1	"	252	4,43 - 4,58	150,0	70,2	
" "	"	253	4,59 - 4,74	150,0	70,2	
" "	"	254	7,62 - 7,77	150,0	70,2	
" "	"	255	7,97 - 8,03	70,0	70,2	
" "	"	256	10,15 - 10,30	150,0	70,2	
" "	"	257	10,31 - 10,46	150,0	70,2	
KI C1	"	258	4,05 - 4,12	70,0	70,0	
" "	"	259	10,85 - 10,92	70,0	70,0	
" "	"	260	12,55 - 12,70	150,0	70,0	
" "	"	261	14,77 - 14,92	150,0	70,0	
" "	"	262	14,93 - 15,08	150,0	70,0	
KI A2	86017	395	8,85 - 8,92	69,5	70,2	
" "	"	396	8,93 - 9,08	150,0	70,0	
" "	"	397	9,09 - 9,24	150,0	70,0	
" "	"	398	9,25 - 9,40	150,2	70,0	
KI B2	86013	269	3,30 - 3,45	150,0	70,0	
" "	"	270	3,46 - 3,61	150,0	70,0	
" "	"	271	3,63 - 3,70	70,0	70,0	
" "	"	272	7,89 - 8,04	150,0	70,0	
" "	"	273	8,05 - 8,20	150,0	70,0	
" "	"	274	8,21 - 8,36	150,0	70,0	
KI C2	"	263	2,16 - 2,31	150,0	70,0	Kantenausbruch
" "	"	264	2,32 - 2,47	150,0	70,0	
" "	"	265	2,48 - 2,55	70,0	70,0	
" "	"	266	12,12 - 12,27	150,0	70,0	kleine Kantenausbrüche
" "	"	267	12,35 - 12,50	150,0	70,0	
" "	"	268	12,51 - 12,66	150,0	70,0	

Tab. 1: Fortsetzung

Kern- bezeichnung	Labor- Nr.	Kern- Nr.	Teufe (m)	Abmessungen		Bemerkungen
				l ₀ [mm]	d ₀ [mm]	
KI A3	86017	399	6,91 - 6,98	70,0	70,1	
" "	"	400	7,07 - 7,22	150,0	70,2	
" "	"	401	7,23 - 7,38	150,0	70,0	
" "	"	402	7,39 - 7,44	150,0	70,0	
KI B3	"	403	8,86 - 9,01	150,0	70,1	Kantenaus- brüche
" "	"	404	9,15 - 9,22	70,1	70,1	
" "	"	405	9,23 - 9,38	150,1	70,1	
" "	"	406	9,39 - 9,54	150,0	70,2	
KI C3	"	407	6,62 - 6,77	150,1	70,2	
" "	"	408	6,84 - 6,99	150,0	70,2	
" "	"	409	7,00 - 7,15	150,2	70,3	
" "	"	410	9,23 - 9,30	70,1	70,1	

Tab. 2: Wichten und Ergebnisse der Ultraschallmessungen der Proben aus den Widerlagerbohrungen, Schacht Konrad 1

Kern-Nr.	γ_d [kN/m ³]	Ultraschallmessung		E_{dyn} [MPa]	ν_{dyn} [$\%$]	Bemerkungen
		P-Welle [m/s]	S-Welle [m/s]			
246	24,89	3 450	1 850 q	22 200	0,30	
247	25,53	3 600	1 900 q	23 900	0,31	
248	24,79	3 400	1 800 q	21 400	0,29	
249	24,92	3 450	1 650 q	18 800	0,34	
250	24,85	3 450	1 950 q	24 000	0,26	
251	25,14	3 500	1 750 q	20 000	0,34	
252	24,43	3 200	1 800 q	20 200	0,27	
253	24,73	3 250	1 550 q	16 000	0,35	
254	24,82	3 500	1 750 q	20 100	0,34	
255	24,66	3 450	1 650 q	18 200	0,35	
256	24,99	3 650	1 850 q	23 000	0,32	
257	24,88	3 600	2 050 q	26 100	0,26	
258	24,84	3 350	1 650	18 100	0,34	
259	24,80	3 350	1 800	20 500	0,30	
260	25,16	3 250	1 700	19 400	0,31	
261	24,70	3 250	1 950 q	22 900	0,22	
262	24,69	3 150	1 650	17 600	0,31	
395	24,55	3 350	1 950	23 100	0,24	
		3 150 q	1 850 q	20 400	0,24	I
		3 500 q	2 050 q	25 400	0,24	II
396	24,91	3 250 q	1 800 q	21 400	0,27	I
		3 600 q	2 000 q	26 000	0,27	II
397	25,36	3 400 q	1 900 q	23 200	0,28	I
		3 550 q	2 000 q	26 300	0,27	II
398	25,26	3 600 q	1 900 q	23 300	0,32	I
		3 400 q	2 000 q	24 500	0,24	II
269	24,59	3 400	1 600 q	17 100	0,36	
270	24,62	3 250 q	1 650 q	17 500	0,33	I
		3 250 q	1 750 q	19 200	0,30	II
271	24,70	3 250 q	1 700 q	18 300	0,32	I
		3 350 q	1 900 q	22 100	0,27	II
272	25,14	3 400	1 750 q	20 500	0,32	I
			2 000 q	25 000	0,24	II
273	25,48	3 650	1 800 q	22 000	0,34	I
			2 000 q	26 600	0,28	II
274	25,21	3 450	1 700 q	19 800	0,33	I
263	24,81	3 600	1 800 q	21 100	0,34	I
			2 000 q	25 500	0,28	II
264	25,03	3 500 q	1 800 q	21 000	0,33	I
		3 900 q	2 000 q	26 300	0,32	II

Tab. 2: Fortsetzung

Kern-Nr.	γ_d [kN/m ³]	Ultraschallmessung		E _{dyn} [MPa]	ν_{dyn} [$\%$]	Bemerkungen
		P-Welle [m/s]	S-Welle [m/s]			
265	24,69	3 450 q	1 800 q	20 700	0,32	⊥
		3 800 q	2 000 q	26 000	0,31	
266	24,65	3 300	1 600 q	17 400	0,34	⊥
			1 900 q	22 200	0,26	
267	24,68	3 500	1 650 q	18 100	0,36	⊥
			1 850 q	22 100	0,30	
268	24,65	3 400	1 600 q	17 500	0,36	⊥
			1 900 q	22 600	0,28	
399	24,33	3 250	1 900	22 200	0,23	
		3 250 q	1 800 q	20 500	0,28	⊥
		3 500 q	2 100 q	25 800	0,23	
400	24,35	2 900 q	1 800 q	19 000	0,20	⊥
		3 500 q	2 000 q	24 700	0,25	
401	24,65	3 350 q	1 900 q	22 300	0,27	⊥
		3 450 q	1 950 q	24 300	0,26	
402	24,59	3 300 q	1 800 q	21 200	0,28	⊥
		3 450 q	2 000 q	24 700	0,25	
403	24,29	2 900 q	1 750 q	17 900	0,23	⊥
		3 300 q	2 050 q	24 100	0,19	
404	24,55	3 300	1 850	21 200	0,27	
		3 100 q	1 800 q	19 900	0,25	⊥
		3 500 q	2 050 q	25 800	0,24	
405	24,86	3 200 q	1 850 q	21 600	0,24	⊥
		3 600 q	2 100 q	27 000	0,24	
406	24,70	3 150 q	1 800 q	20 300	0,25	⊥
		3 200 q	2 050 q	24 300	0,15	
407	24,37	3 150 q	1 750 q	19 000	0,28	⊥
		3 550 q	2 000 q	24 700	0,27	
408	24,26	3 050 q	1 650 q	17 100	0,29	⊥
		3 350 q	1 950 q	22 800	0,26	
409	24,04	3 000 q	1 600 q	16 100	0,30	⊥
		3 250 q	1 750 q	19 400	0,29	
410	23,87	3 000	1 650	17 000	0,28	
		2 750 q	1 550 q	14 200	0,28	⊥
		3 300 q	1 850 q	21 100	0,26	

Legende: q = Durchschallung quer zur Probenlängsachse; ⊥ = Durchschallung senkrecht zur Schichtungsrichtung
 || = Durchschallung parallel zur Schichtung

Tab. 3: Versuchsbedingungen und Ergebnisse der Festigkeitsuntersuchungen an Proben der Widerlagerbohrungen, Schacht Konrad 1

Kern-Nr.	$\dot{\epsilon}$ [s ⁻¹]	σ_3 [MPa]	$\sigma_1 - \sigma_3$ _{Bruch} [MPa]	ϵ _{Bruch}	$\sigma_1 - \sigma_3$ _{Rest} [MPa]	E_V (AVM) [MPa]	E [MPa]	RVM [MPa]	Bemerkungen
246	$\dot{\epsilon} = 0,042$ [mm/min]	-	$\sigma_{SZ} = 1,91$	-	-	-	-	-	Belastung parallel zur Schichtung
247	1×10^{-5}	0	13,8	0,005	-	3 110	9 210	-	
248	"	2,5 1,0	17,7 -	0,004 -	8,6 4,8	6 010 -	9 120 -	8 390 -	
249	"	5,0 2,5 1,0	26,2 - -	0,007 - -	12,6 7,4 4,2	5 920 - -	8 310 - -	5 710 7 210 -	
251	"	15,0 12,5 10,0 7,5 5,0 2,5 1,0	44,8 - - - - - -	0,011 - - - - - -	26,4 22,1 19,0 14,3 11,4 6,3 3,7	6 450 - - - - - -	10 920 - - - - - -	6 080 - - 6 890 - 6 120 -	
252	"	0	7,4	0,002	-	3 550	-	-	
253	"	2,5 1,0	20,9 -	0,004 -	8,7 5,2	7 330 -	10 590 -	5 300 -	
254	"	10,0 7,5 5,0 2,5 1,0	37,6 - - - -	0,010 - - - -	20,8 18,0 12,3 8,0 4,4	6 980 - - - -	10 560 - - - -	5 070 - 3 480 - -	
255	$\dot{\epsilon} = 0,042$ [mm/min]	-	$\sigma_{SZ} = 1,78$	-	-	-	-	-	Belastung senkrecht zur Schichtung

Tab. 3: Fortsetzung 1

Kern-Nr.	$\dot{\epsilon}$ [s ⁻¹]	σ_3 [MPa]	$\sigma_1 - \sigma_3$ Bruch [MPa]	ϵ_{Bruch}	$\sigma_1 - \sigma_3$ Rest [MPa]	E_V (AVM) [MPa]	E [MPa]	RVM [MPa]	Bemerkungen
256	1 x 10 ⁻⁵	15,0	47,11	0,012	32,3	6 800	11 100	5 150	
		12,5	-	-	29,8	-	-	-	
		10,0	-	-	25,9	-	-	-	
		7,5	-	-	19,0	-	-	4 850	
		5,0	-	-	15,3	-	-	-	
		2,5	-	-	10,0	-	-	-	
		1,0	-	-	5,6	-	-	-	
257	"	20,0	52,4	0,016	39,5	6 340	12 050	5 460	
		15,0	-	-	33,7	-	-	-	
		12,5	-	-	30,0	-	-	4 390	
		10,0	-	-	23,5	-	-	-	
		7,5	-	-	20,3	-	-	-	
		5,0	-	-	15,8	-	-	-	
		2,5	-	-	10,0	-	-	-	
1,0	-	-	5,3	-	-	-			
258	$\dot{s} = 0,042$ [mm/min]	-	$\sigma_{\text{SZ}} = 1,79$	-	-	-	-	-	Belastung parallel zur Schichtung
259	$\dot{s} = 0,042$ [mm/min]	-	$\sigma_{\text{SZ}} = 1,79$	-	-	-	-	-	Belastung senkrecht zur Schichtung
260	1 x 10 ⁻⁵	2,5	28,5	0,004	11,3	8 070	12 860	5 760	
		1,0	-	-	6,3	-	-	-	
261	"	5,0	29,0	0,005	13,5	7 170	9 770	5 030	
		2,5	-	-	8,8	-	-	-	
		1,0	-	-	4,9	-	-	-	

Tab. 3: Fortsetzung 2

Kern-Nr.	$\dot{\epsilon}$ [s ⁻¹]	σ_3 [MPa]	$\sigma_1 - \sigma_3$ _{Bruch} [MPa]	ϵ _{Bruch}	$\sigma_1 - \sigma_3$ _{Rest} [MPa]	E_V (AVM) [MPa]	E [MPa]	RVM [MPa]	Bemerkungen
262	1 x 10 ⁻⁵	15,0	43,3	0,013	28,8	5 230	9 700	-	
		12,5	-	-	26,2	-	-	-	
		10,0	-	-	22,8	-	-	-	
		7,5	-	-	17,8	-	-	3 250	
		5,0	-	-	14,0	-	-	-	
		2,5	-	-	7,9	-	-	3 370	
		1,0	-	-	4,5	-	-	-	
395	$\dot{s} = 0,042$ [mm/min]	-	$\sigma_{SZ} = 2,14$	-	-	-	-	-	Belastung parallel zur Schichtung
396	1 x 10 ⁻⁵	0	24,3	0,003	-	9 500	12 300	-	
397	"	20,0	-	-	45,5	-	-	7 400	
		17,5	-	-	42,4	-	-	-	
		15,0	-	-	38,1	-	-	-	
		12,5	-	-	34,1	-	-	-	
		10,0	-	-	29,3	-	-	-	
		7,5	-	-	24,1	-	-	-	
		5,0*	38,2	0,006	17,7	9 000	12 000	6 800	
2,5	-	-	10,7	-	-	-			
1,0	-	-	5,4	-	-	-			
398	"	15,0	51,3	0,014	36,2	7 000	12 000	5 100	
		12,5	-	-	31,6	-	-	-	
		10,0	-	-	26,6	-	-	-	
		7,5	-	-	21,5	-	-	4 800	
		5,0	-	-	15,0	-	-	-	
		2,5	-	-	9,0	-	-	-	
		1,0	-	-	4,9	-	-	-	

* Erläuterung im Text

Tab. 3: Fortsetzung 3

Kern-Nr.	$\dot{\epsilon}$ [s ⁻¹]	σ_3 [MPa]	$\sigma_1 - \sigma_3$ Bruch [MPa]	ϵ_{Bruch}	$\sigma_1 - \sigma_3$ Rest [MPa]	E_V (AVM) [MPa]	E [MPa]	RVM [MPa]	Bemerkungen
269	1×10^{-5}	0	17,7	0,002	-	10 000	-	-	
270	"	2,5	21,3	0,005	8,5	8 450	10 725	5 010	
		1,0	-	-	-	-	-	-	
272	"	5,0	29,1	0,005	13,3	8 130	10 950	6 620	
		2,5	-	-	8,2	-	-	-	
		1,0	-	-	4,5	-	-	-	
273	"	15,0	42,2	0,010	29,7	7 800	11 850	5 610	
		12,5	-	-	27,0	-	-	-	
		10,0	-	-	23,3	-	-	-	
		7,5	-	-	17,5	-	-	3 970	
		5,0	-	-	13,7	-	-	-	
		2,5	-	-	8,4	-	-	-	
274	"	1,0	-	-	4,1	-	-	-	
		7,5	33,1	0,005	16,7	8 970	11 520	7 180	
		5,0	-	-	12,8	-	-	-	
		2,5	-	-	7,4	-	-	6 840	
263	"	1,0	-	-	4,4	-	-	-	
		0	21,7	0,003	-	9 970	12 200	-	
264	"	2,5	27,4	0,003	9,9	10 380	14 160	6 680	
		1,0	-	-	5,6	-	-	-	
265	$\dot{s} = 0,042$ [mm/min]	-	$\sigma_{\text{SZ}} = 2,05$	-	-	-	-	-	Belastung parallel zur Schichtung
266	1×10^{-5}	10,0	32,6	0,007	14,4	6 600	8 790	5 560	
		7,5	-	-	12,1	-	-	-	
		5,0	-	-	8,9	-	-	4 535	
		2,5	-	-	5,4	-	-	4 560	
		1,0	-	-	3,1	-	-	-	

Tab. 3: Fortsetzung 4

Kern-Nr.	$\dot{\epsilon}$ [s ⁻¹]	σ_3 [MPa]	$\sigma_1 - \sigma_3$ Bruch [MPa]	ϵ_{Bruch}	$\sigma_1 - \sigma_3$ Rest [MPa]	E_V (AVM) [MPa]	E [MPa]	RVM [MPa]	Bemerkungen
267	1 x 10 ⁻⁵	20,0	42,8	0,011	27,6	6 280	10 150	5 770	
		17,5	-	-	25,8	-	-	-	
		15,0	-	-	22,9	-	-	5 600	
		12,5	-	-	20,9	-	-	-	
		10,0	-	-	18,1	-	-	-	
		7,5	-	-	14,1	-	-	4 620	
		5,0	-	-	10,9	-	-	-	
		2,5	-	-	7,2	-	-	-	
1,0	-	-	4,0	-	-	-	-		
268	"	7,5	32,9	0,007	14,8	7 110	10 970	6 490	
		5,0	-	-	11,2	-	-	-	
		2,5	-	-	6,8	-	-	3 700	
		1,0	-	-	4,9	-	-	-	
399	$\dot{\epsilon} = 0,042$ [mm/min]	-	$\sigma_{\text{SZ}} = 2,22$	-	-	-	-	-	Belastung senkrecht zur Schichtungsrichtung
400	1 x 10 ⁻⁵	2,5	17,6	0,003	11,7	7 500	-	6 000	
		1,0	-	-	6,9	-	-	-	
401	"	7,5	40,1	0,009	22,1	4 400	9 900	6 000	
		5,0	-	-	15,1	-	-	-	
		2,5	-	-	8,1	-	-	5 000	
		1,0	-	-	4,4	-	-	-	
402	"	10,0	39,0	0,010	26,6	6 000	10 300	4 700	
		7,5	-	-	21,0	-	-	-	
		5,0	-	-	14,3	-	-	2 700	
		2,5	-	-	8,8	-	-	-	
		1,0	-	-	4,3	-	-	-	

Tab. 3: Fortsetzung 5

Kern-Nr.	$\dot{\epsilon}$ [s ⁻¹]	σ_3 [MPa]	$\sigma_1 - \sigma_3$ _{Bruch} [MPa]	ϵ _{Bruch}	$\sigma_1 - \sigma_3$ _{Rest} [MPa]	E_V (AVM) [MPa]	E [MPa]	RVM [MPa]	Bemerkungen
403	1×10^{-5}	0	(6,4 - 7,3)	(0,002 -0,003)	-	3 400	-	-	Mehrfachbruch
404	$\dot{s} = 0,042$ [mm/min]	-	$\sigma_{SZ} = 2,09$	-	-	-	-	-	Belastung senkrecht zur Schichtungsrichtung
405	1×10^{-5}	10,0	-	-	23,3	-	-	7 400	
		7,5	-	-	19,3	-	-	-	
		5,0*	33,8	0,006	14,3	7 700	11 500	6 600	
		2,5	-	-	8,4	-	-	-	
		1,0	-	-	4,3	-	-	-	
406	"	20,0	49,7	0,014	36,8	5 700	11 200	6 400	
		17,5	-	-	33,5	-	-	-	
		15,0	-	-	29,8	-	-	-	
		12,5	-	-	26,3	-	-	-	
		10,0	-	-	20,7	-	-	5 100	
		7,5	-	-	17,4	-	-	-	
		5,0	-	-	12,7	-	-	-	
		2,5	-	-	7,4	-	-	-	
1,0	-	-	4,3	-	-	-			
407	"	2,5	-	-	-	7 700	10 300	-	Öl im Schlauch
408	"	7,5	31,1	0,007	18,7	6 200	9 200	4 500	
		5,0	-	-	12,8	-	-	-	
		2,5	-	-	7,2	-	-	4 200	
		1,0	-	-	4,0	-	-	-	

* Erläuterung im Text

Tab. 3: Fortsetzung 6

Kern-Nr.	$\dot{\epsilon}$ [s ⁻¹]	σ_3 [MPa]	$\sigma_1 - \sigma_3$ _{Bruch} [MPa]	ϵ _{Bruch}	$\sigma_1 - \sigma_3$ _{Rest} [MPa]	E_V (AVM) [MPa]	E [MPa]	RVM [MPa]	Bemerkungen
409	1×10^{-5}	15,0	35,1	0,011	24,4	3 600	8 200	5 700	
		12,5	-	-	21,3	-	-	-	
		10,0	-	-	17,3	-	-	5 200	
		7,5	-	-	14,5	-	-	-	
		5,0	-	-	10,4	-	-	4 700	
		2,5	-	-	6,5	-	-	-	
		1,0	-	-	3,6	-	-	-	
410	$\dot{s} = 0,042$ [mm/min]	-	$\sigma_{SZ} = 2,14$	-	-	-	-	-	Belastung parallel zur Schichtungsrichtung

σ_3 [MPa]	Anfangsverformungsmodul E_V [MPa]				stat. Elastizitätsmodul E [MPa]				Restverformungsmodul RVM [MPa]			
	Min	Max	Mw \pm S	N	Min	Max	Mw \pm S	N	Min	Max	Mw \pm S	N
0	3 110	10 000	6 580 \pm 3 558	6	9 210	12 300	11 240 \pm 1 756	3	-	-	-	-
2,5	6 010	10 380	7 910 \pm 1 329	7	9 120	14 150	11 290 \pm 1 852	6	3 370	8 390	5 580 \pm 1 413	14
5,0	5 920	9 000	7 580 \pm 1 146	5	8 310	12 000	10 510 \pm 1 482	5	2 700	6 800	5 130 \pm 1 444	9
7,5	4 400	8 970	6 670 \pm 1 902	4	9 200	11 520	10 400 \pm 1 044	4	3 250	7 180	5 260 \pm 1 311	10
10,0	6 000	6 980	6 530 \pm 494	3	8 790	10 560	9 880 \pm 956	3	4 390	7 400	5 380 \pm 911	8
15,0	3 600	7 800	6 150 \pm 1 504	6	8 200	12 000	10 630 \pm 1 445	6	5 100	6 080	5 530 \pm 408	5
20,0	5 700	6 340	6 110 \pm 353	3	10 150	12 050	11 130 \pm 952	3	5.460	7 400	6 260 \pm 856	4
Alle	3 110	10 380	6 890 \pm 1 892	34	8 200	14 150	10 750 \pm 1 383	30	2 700	8 390	5 520 \pm 340*	6*

Legende: σ_3 = Seitendruck S = Standardabweichung * = über σ_3 gewichtet
 M_w = Mittelwert N = Anzahl der Werte

Tab. 4: Steife- und Verformungsmoduli in Abhängigkeit vom Spannungszustand

Parameter	Schacht Konrad 1			Schacht Konrad 2		
	Min	Max	Mw ± S	Min	Max	Mw ± S
Teufe [m]	699	739	-	585	610	-
γ [kN/m ³]	23,87	25,53	24,76 ± 0,35	24,03	24,78	24,31 ± 0,20
E _{dyn} [MPa]	14 200	27 000	21 500 ± 3 037	13 100	24 900	17 900 ± 2 440
ν _{dyn} [-]	0,15	0,36	0,28 ± 0,043	0,10	0,35	0,21 ± 0,054
φ _{Bruch} [°]	-	-	30,4	-	-	30,6
c _{Bruch} [MPa]	-	-	4,1	-	-	3,7
φ _{Rest} [°]	-	-	27,4	-	-	25,8
c _{Rest} [MPa]	-	-	1,4	-	-	1,4
E _y [MPa]	3 100	10 400	6 890 ± 1 892	2 900	8 050	5 760 ± 1 370
E [MPa]	8 200	14 150	10 750 ± 1 383	5 200	13 100	9 950 ± 1 630
RVM [MPa]	2 700	7 400	5 350*	3 010	6 800	4 800*

* Mittelwert der gemittelten RVM's mit $\sigma_3 = 5 / 10 / 15$ MPa

Legende: γ = Wichte
E_{dyn} = dynamischer Elastizitätsmodul
 ν _{dyn} = dynamische Poissonzahl
 φ _{Bruch} = innerer Reibungswinkel der Maximalfestigkeiten
c_{Bruch} = Kohäsion der Maximalfestigkeiten
 φ _{Rest} = innerer Reibungswinkel der Restscherfestigkeiten
c_{Rest} = Kohäsion der Restscherfestigkeiten
E_y = Anfangsverformungsmodul
E = statischer Elastizitätsmodul
RVM = Restverformungsmodul
Mw = Mittelwert
S = Standardabweichung

Tab. 5: Ergebnisgegenüberstellung von Laboruntersuchungen an Proben aus den Schachtwiderlagerbohrungen der Schächte Konrad 1 und 2

- Anlage 1 -

Gesteins- und Bruchbeschreibung der Proben
aus den Schachtwiderlagerbohrungen, Schacht Konrad 1

- 246

Tonmergelstein, grau, undeutliche feine bis feinflaserige Schichtung unter 50°, wenig Bioklasten, z. T. pyritisiert, m. F. r.*.

- 247

Mergelstein, grau, tonig, feine bis flaserige Schichtung unter 60°, wenige, z. T. größere Muschelschalen, m. F. r., Vielkörperbruch.

- 248

Tonmergelstein, dunkelgrau, feine bis flaserige Schichtung unter 60°, wenige, z. T. größere Muschelschalen, m. F. r., Bruch 65°.

- 249

Tonstein, dunkelgrau, schwach kalkig, schluffig, undeutliche Feinschichtung unter 65°, wenige, z. T. größere Muschelschalen, etwas Pyrit, m. F. schwach r., Hauptbruch 70°, beginnende schichtparallele Nebenbrüche.

- 250

Wie 247, Vielkörperbruch.

- 251

Wie 247, Bruch 60°.

- 252

Wie 249, Schichtung unter 60°, unregelmäßiger Bruch 70°.

- 253

Wie 249, Schichtung unter 60°, Bruch 65°.

- 254

Wie 246, feine Flaserschichtung unter 60°, Bruch 60°.

*m. F. r. = mit Fingernagel ritzbar

- 255

Tonstein, dunkelgrau, kalkig, Feinschichtung unter 55° , wenig Feinschill, m. F. r.

- 256

Wie 248, Schichtung unter 60° , ein Hauptbruch 60° und mehrere schichtparallele beginnende Brüche.

- 257

Wie 249, etwas Pyrit, ein Hauptbruch 55° und mehrere beginnende schichtparallele Brüche.

- 258

Wie 255, feine Flaserschichtung unter 60° .

- 259

Wie 258, Schichtung unter 60° .

- 260

Tonmergelstein, dunkelgrau bis grau, feine Flaserschichtung unter 60° , wenig Feinschill, m. F. schwach r., unregelmäßiger Bruch ca. 65° .

- 261

Wie 260, wenige, z. T. größere Muschelschalen, Schichtung unter 65° , Bruch 60° .

- 262

Tonstein, dunkelgrün, kalkig, Feinschichtung, z. T. schlierig, unter 60° , m. F. r., wenige, z. T. größere Muschelschalen, zwei Parallelbrüche 60° .

- 395

Wie 258, Schichtung unter 55° , m. F. schwach r., wenige größere Muschelschalen.

- 396

Wie 260, Muschelschalen, Schichtung 55° , ein unregelmäßiger Hauptbruch 70° .

- 397

Wie 246, Schichtung unter 55° , ein Bruch 65° .

- 398

Wie 260, Schichtung unter 50° , ein Hauptbruch 55° , mehrere beginnende schichtparallele Nebenbrüche.

- 269

Wie 255, etwas Pyrit, Schichtung unter 65° , ein Bruch 70° .

- 270

Wie 262, ein Bruch 65° .

- 271

Wie 262.

- 272

Tonmergelstein, grau bis dunkelgrau, undeutliche Feinschichtung unter 60° , größere Muschelschalen und Muschelschill, z. T. in Lagen angereichert, m. F. schwach r., ein Bruch 60° .

- 273

Wie 272, Schichtung 55° , ein Bruch 60° .

- 274

Wie 272, Schichtung unter ca. 50° , Bruch 55° .

- 263

Tonmergelstein, grau- bis dunkelgrau, Flaserschichtung unter ca. 60° aus deutlich begrenzten Ton- und Mergelflasern, m. F. kaum r., steiler Bruchbeginn mit Radialrissen.

- 264

Tonmergelstein, dunkelgrau, Feinschichtung unter 55°, m. F. schwach r., unregelmäßiger Bruch ca. 65°.

- 265

Wie 264, mit Flaserschichtung unter 60°.

- 266

Wie 264, lagenweise mit Muschelschill angereichert, Bruch auf Harnisch 55°.

- 267

Wie 266, Schichtung unter 55°, Bruch auf Harnisch 65°.

- 268

Wie 266, tonig, Schichtung unter 60°, Bruch 60°.

- 399

Wie 263, etwas Muschelschill.

- 400

Wie 249, Schichtung unter 55°, ein Bruch 60°.

- 401

Tonmergelstein, grau- bis dunkelgrau, Feinschichtung unter 50°, wenig Muschelschill, etwas Pyrit, m. F. schwach r., ein Bruch 70°.

- 402

Wie 262, Schichtung unter 45°, ein Hauptbruch 55° und beginnende schichtparallele Nebenbrüche.

- 403

Wie 249, Vielkörperbruch.

- 404

Wie 255, mit Muschelschill und z. T. größeren Muschelschalen, Schichtung unter 50°.

- 405

Wie 266, undeutliche Schichtung unter 55°, ein Bruch 65°.

- 406

Wie 266, Schichtung unter 50°, z. T. größere Muschelschalen, ein Bruch 55°.

- 407

Wie 247, m. F. kaum r., Vielkörperbruch.

- 408

Wie 248, m. F. schwach r., Schichtung unter 60°, ein Bruch 60°.

- 409

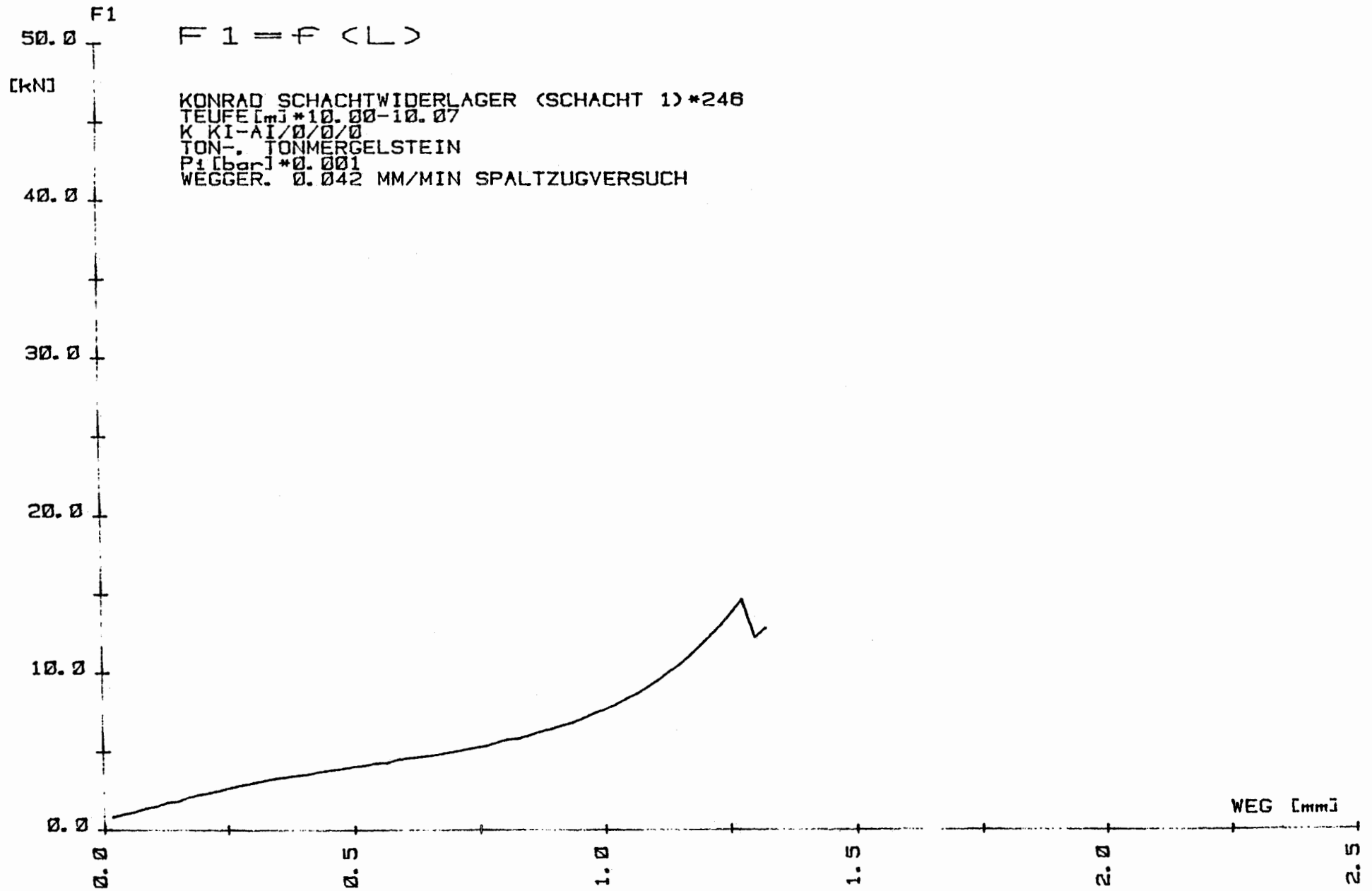
Wie 408, ein Bruch 65°.

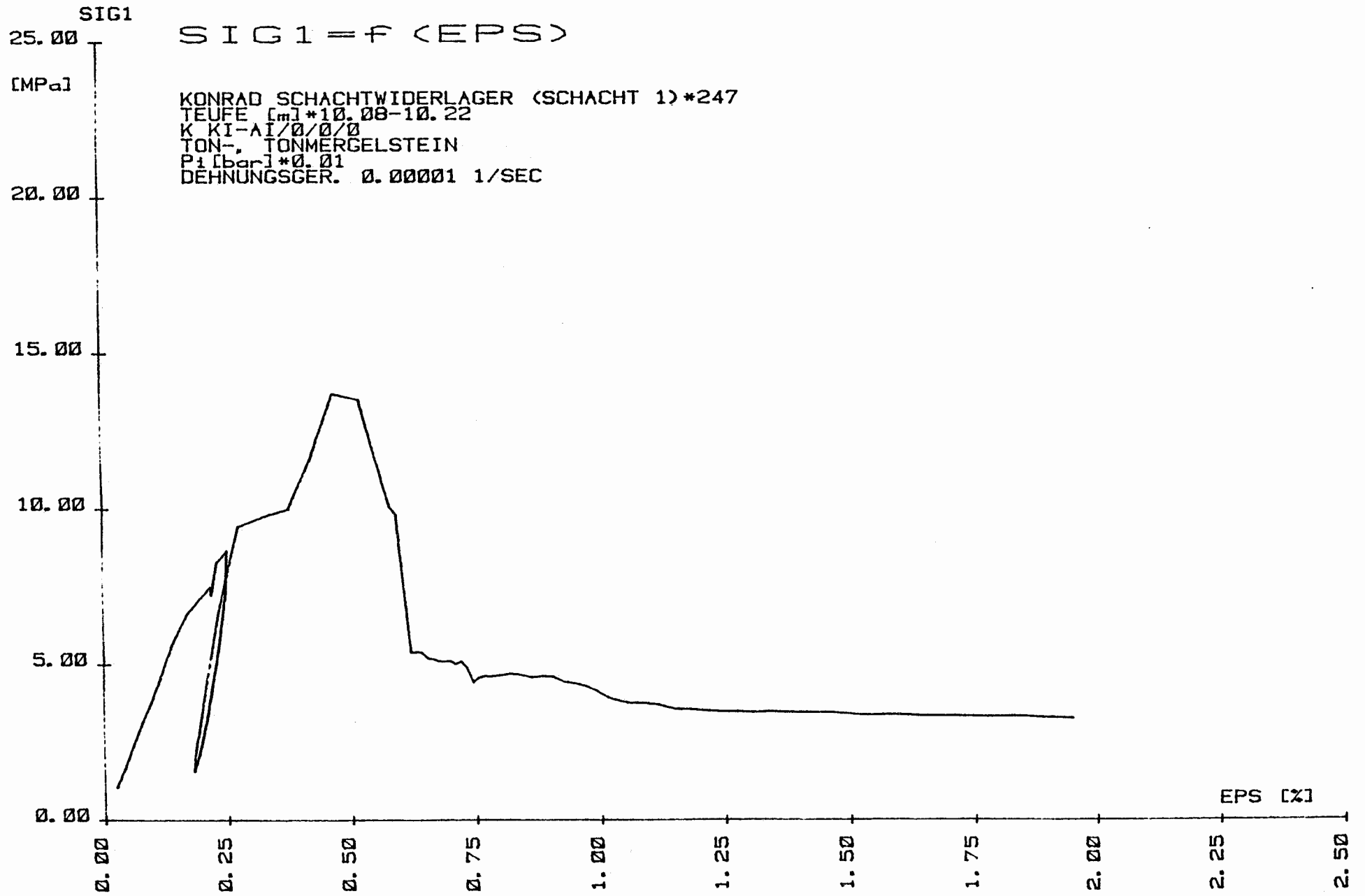
- 410

Wie 255, schwarz- bis dunkelgrau, Schichtung unter 55°.

- Anlage 2 -

Spannungs-Dehnungs-Diagramme der Proben
aus den Widerlagerbohrungen, Schacht Konrad 1





SIG1-SIG3

$$\langle \text{SIG1} - \text{SIG3} \rangle = f(\text{EPS})$$

[MPa]

KONRAD SCHACHTWIDERLAGER (SCHACHT 1)*248
TEUFE [m]*10.50-10.65
K KI-AI/0/0/0
TON- TONMERGELSTEIN
P1 [bar]*25
DEHNUNGSGER. 0.00001 1/SEC

40

30

20

10

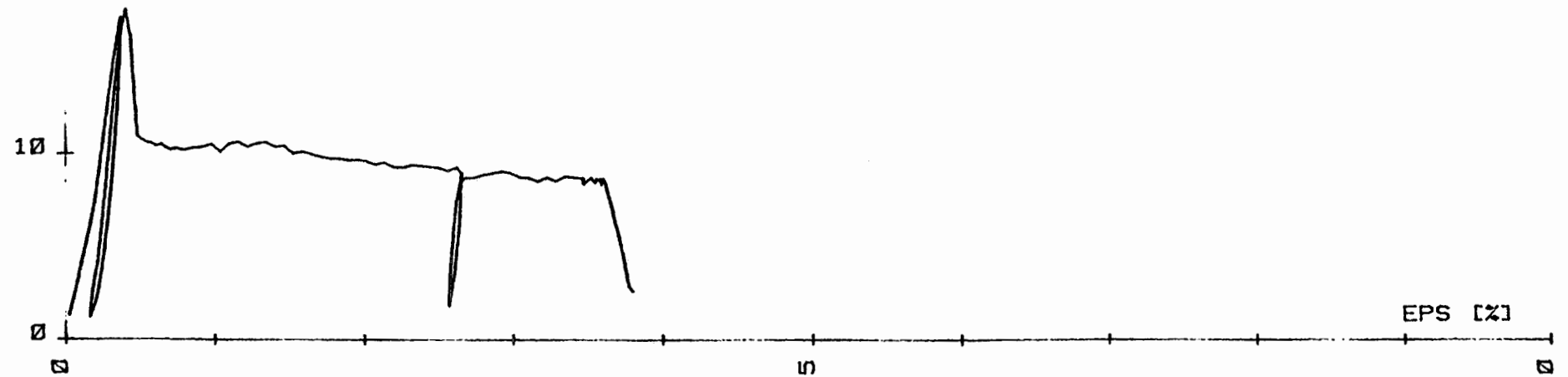
0

EPS [%]

0

5

10



SIG1-SIG3

$$\langle \text{SIG1} - \text{SIG3} \rangle = f \langle \text{EPS} \rangle$$

[MPa]

KONRAD SCHACHTWIDERLAGER (SCHACHT 1)*249
TEUFE [m]*10.66-10.81
K KI-AI/0/0/0
TON- TONMERGELSTEIN
P1 [bar]*50
DEHNUNGSGER. 0.00001 1/SEC

40

30

20

10

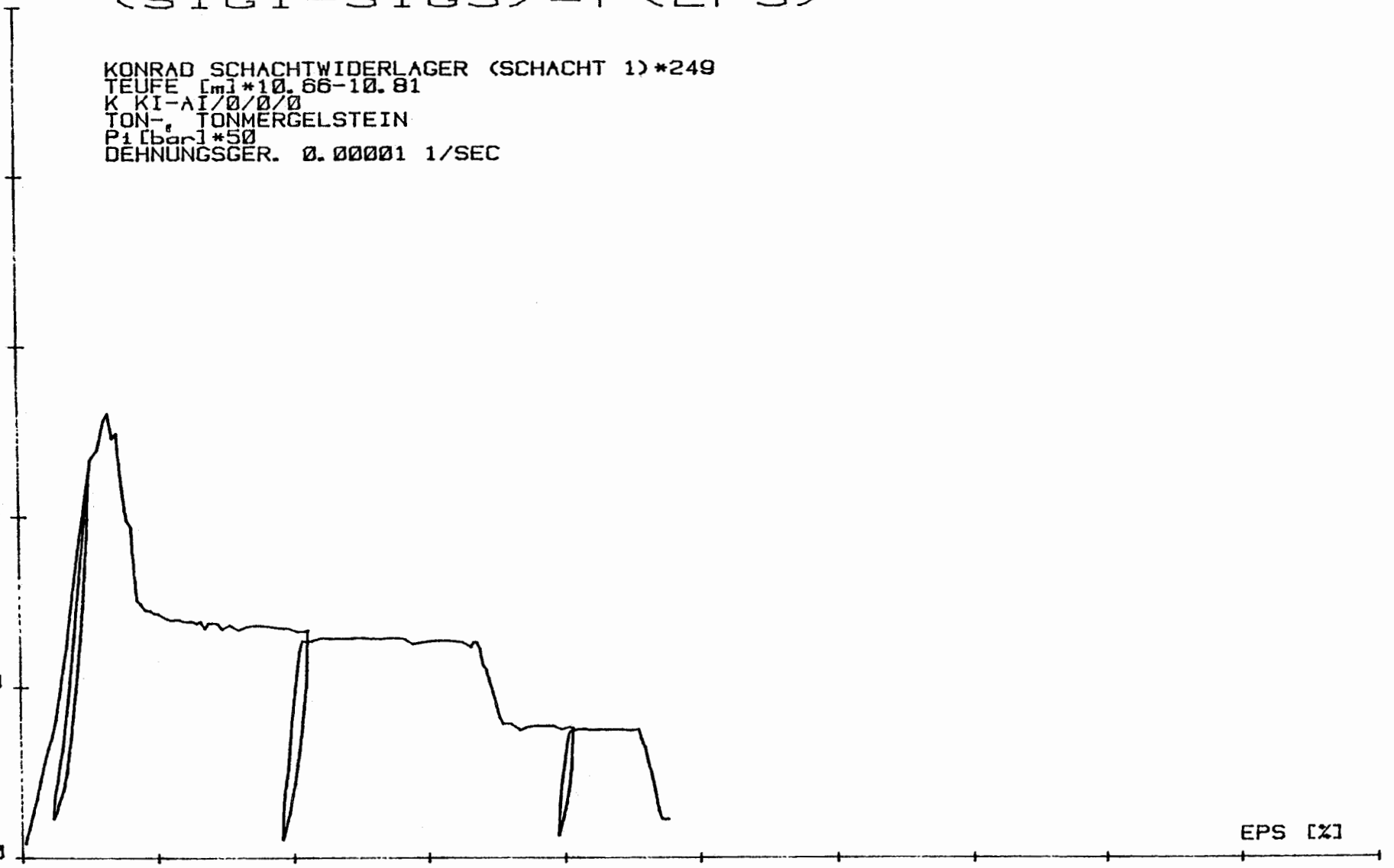
0

0

5

EPS [%]

10



SIG1-SIG3

$$\langle \text{SIG1} - \text{SIG3} \rangle = f \langle \text{EPS} \rangle$$

[MPa]

KONRAD SCHACHTWIDERLAGER (SCHACHT 1)*251
TEUFE [m]*12.31-12.46
K KI-AI/0/0/0
TON-, TONMERGELSTEIN
P1 [bar]*150
DEHNUNGSGER. 0.00001 1/SEC

80

70

60

50

40

30

20

10

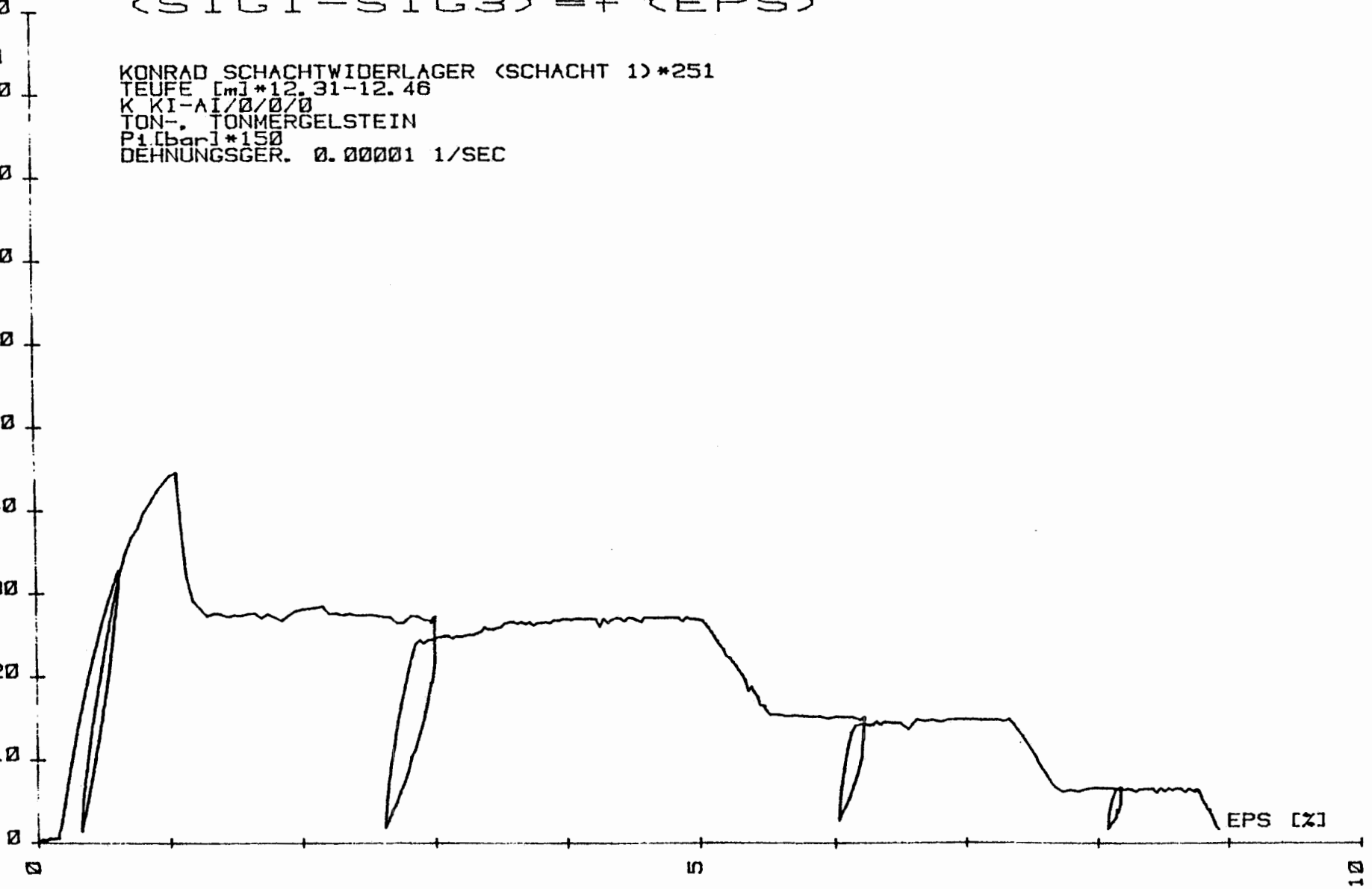
0

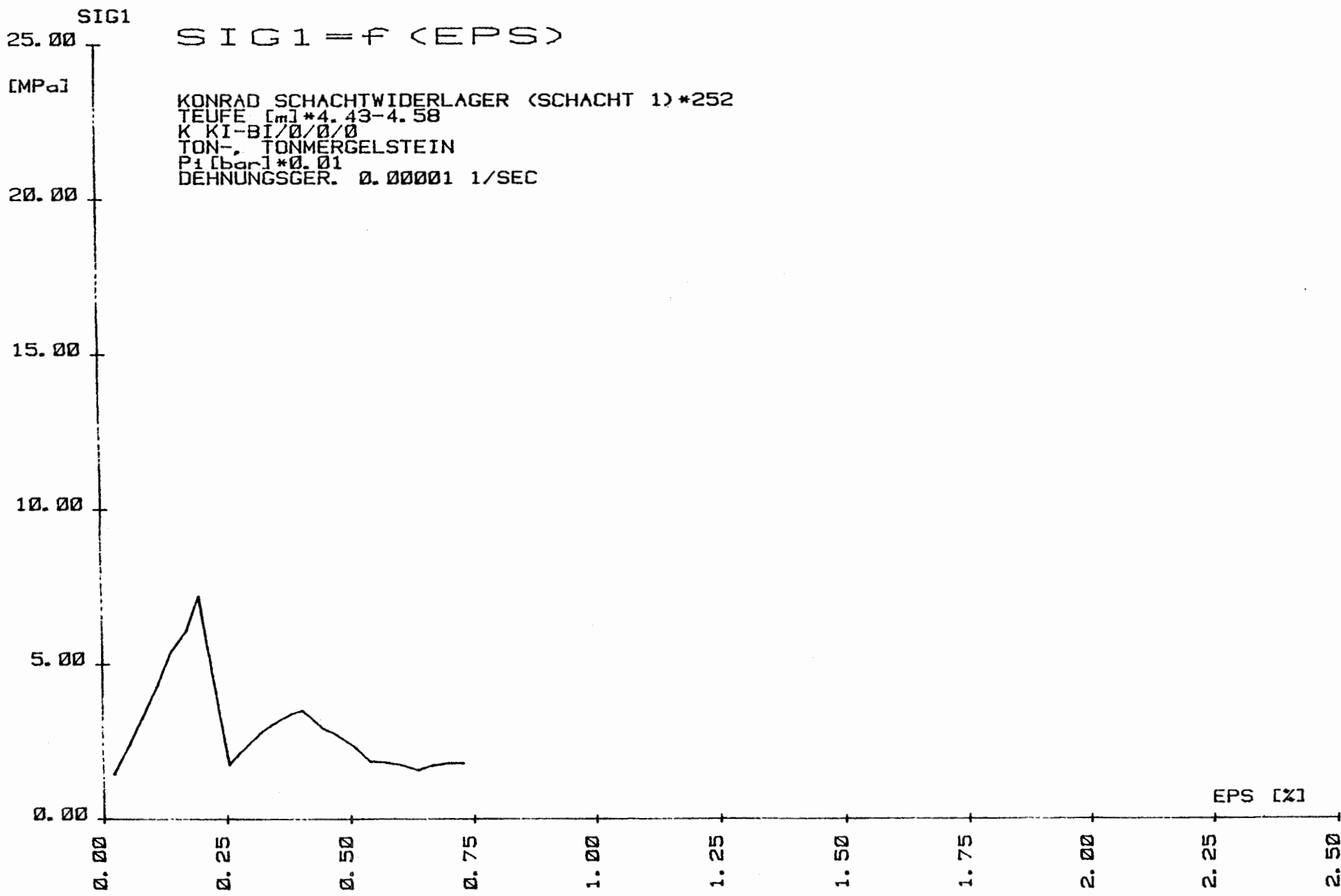
0

5

10

EPS [%]





SIG1-SIG3

$$\langle \text{SIG1} - \text{SIG3} \rangle = f \langle \text{EPS} \rangle$$

[MPa]

KONRAD SCHACHTWIDERLAGER (SCHACHT 1)*253
TEUFE [m]*4.59-4.74
K KI-BI/0/0/0
TON-, TONMERGELSTEIN
P1 [bar]*25
DEHNUNGSGER. 0.00001 1/SEC

40

30

20

10

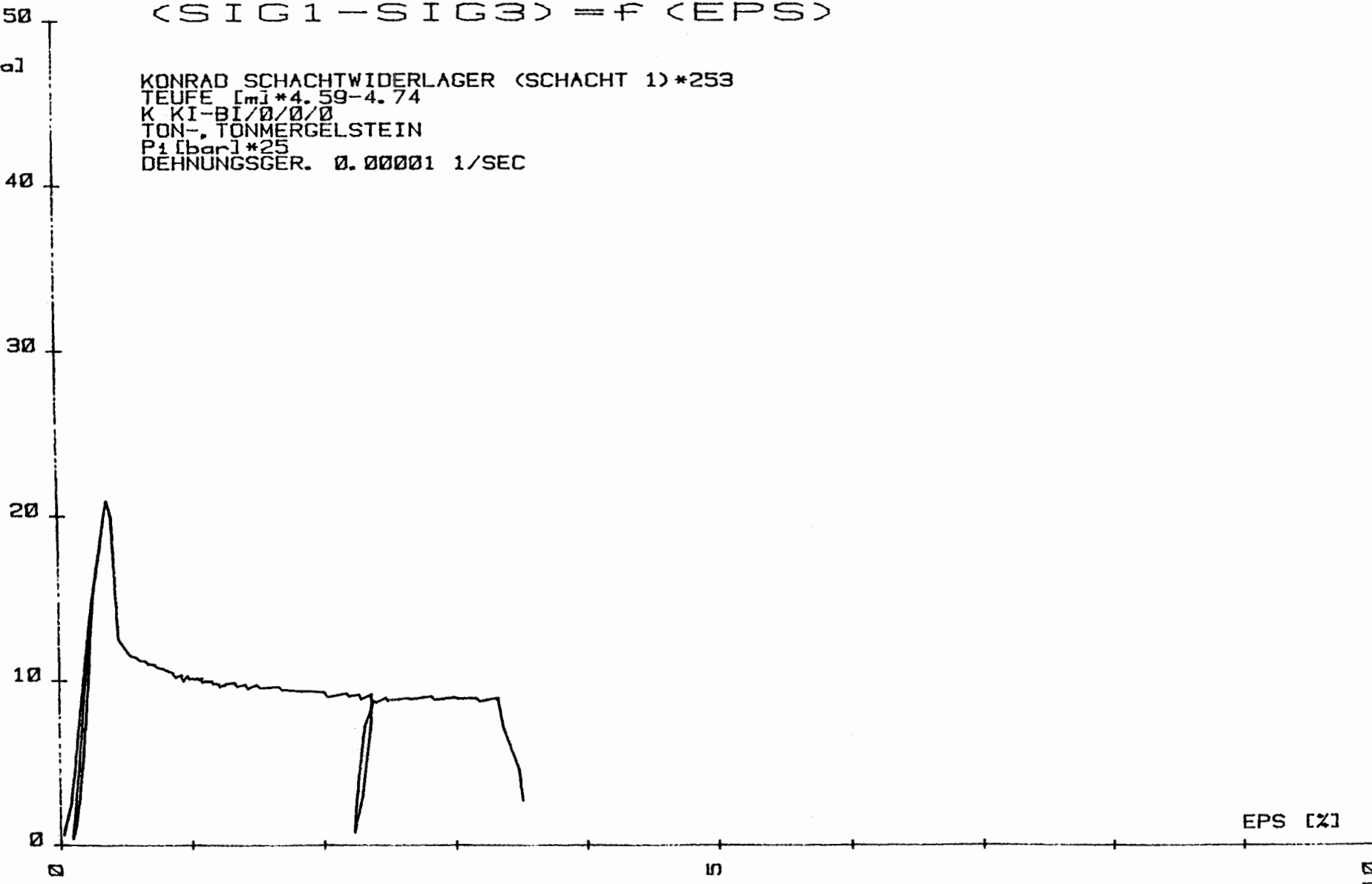
0

0

5

EPS [%]

10



SIG1-SIG3

$$\langle \text{SIG1} - \text{SIG3} \rangle = f(\text{EPS})$$

[MPa]

KONRAD SCHACHTWIDERLAGER (SCHACHT 1)*254
TEUFE [m]*7.62-7.77
K KI-BI/Ø/Ø/Ø
TON-, TONMERGELSTEIN
Pi [bar]*100
DEHNUNGSGER. 0.00001 1/SEC

40

30

20

10

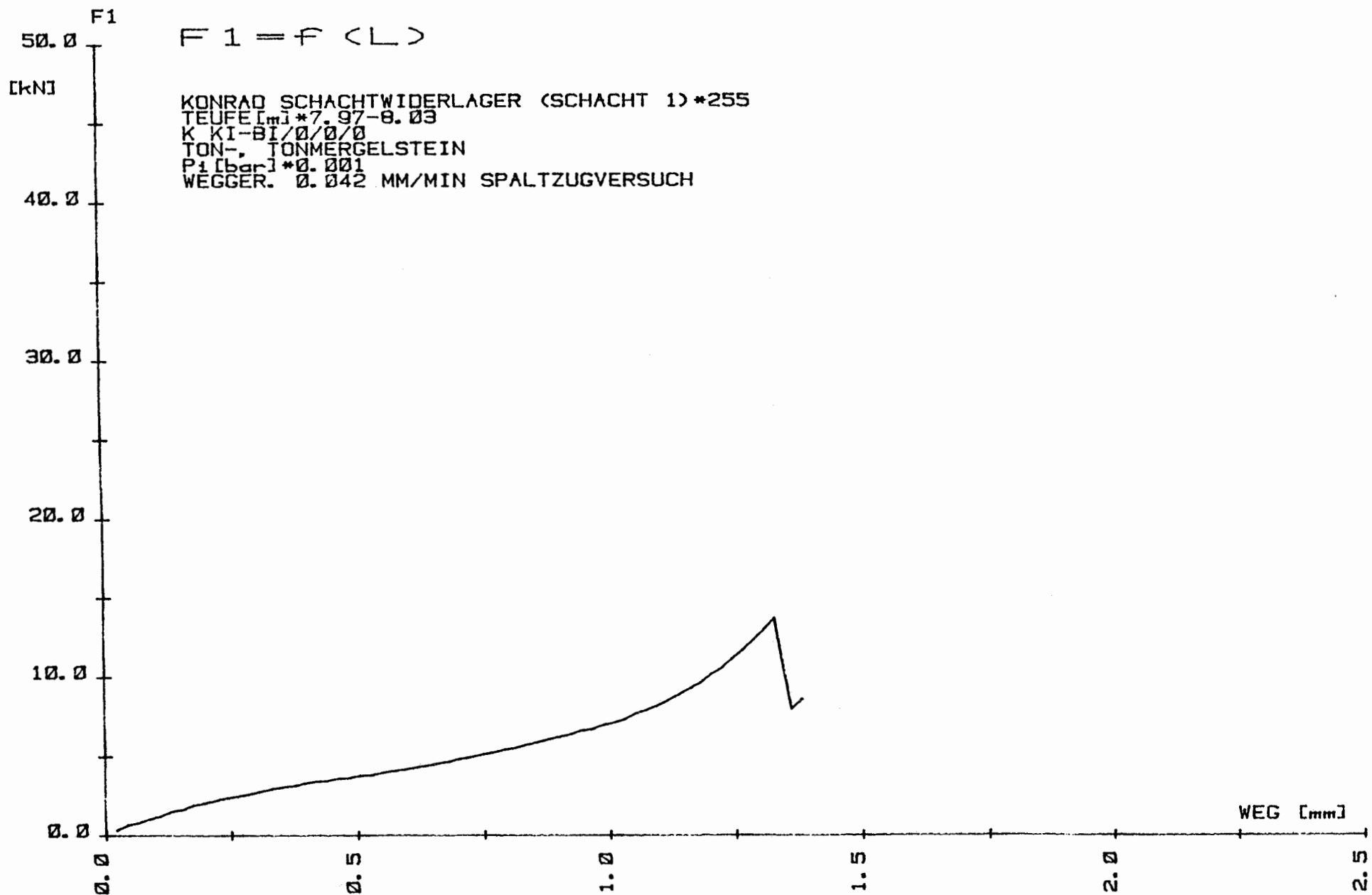
0

EPS [%]

10

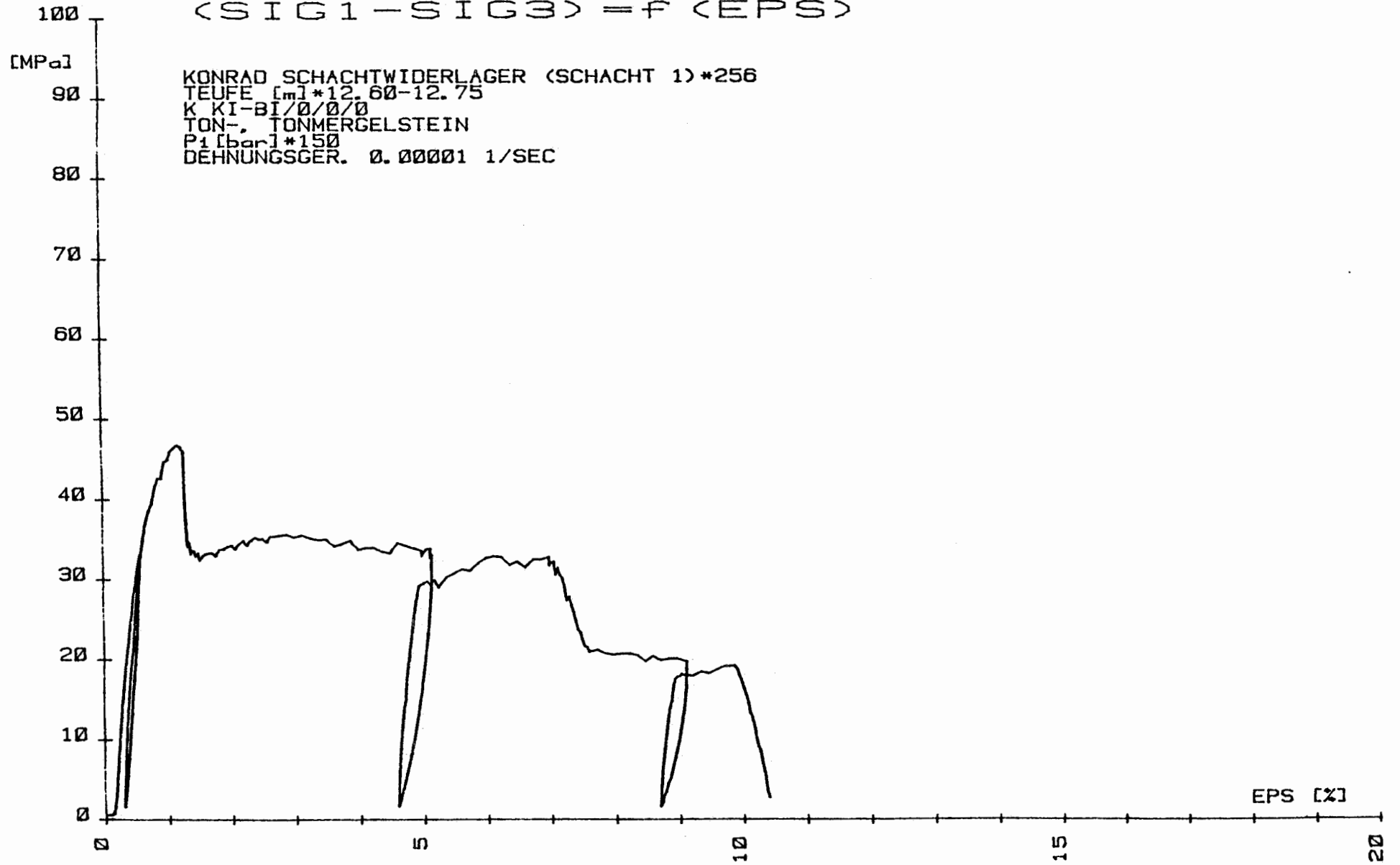
10

0



SIG1-SIG3

$$\langle \text{SIG1} - \text{SIG3} \rangle = f \langle \text{EPS} \rangle$$

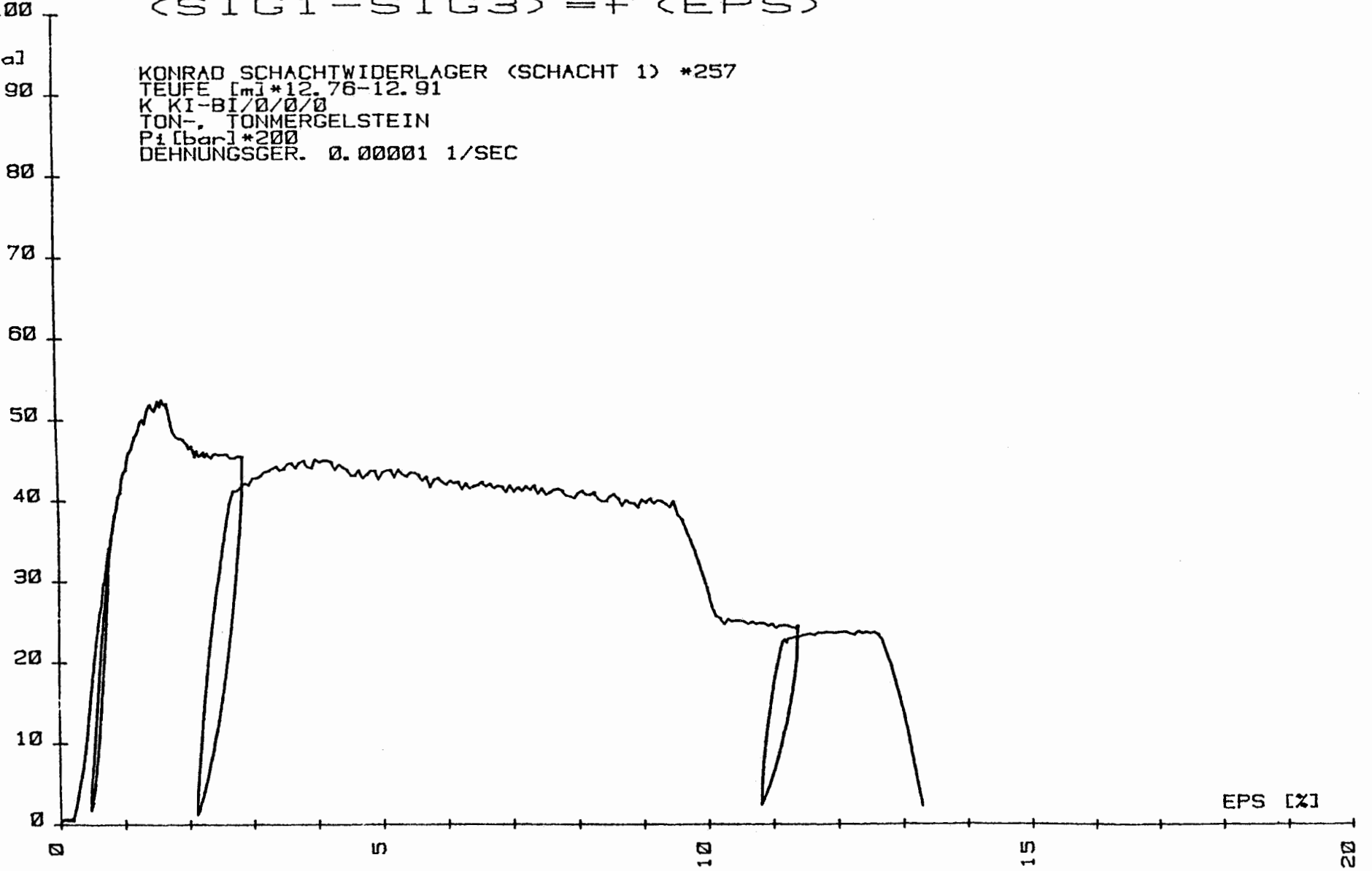


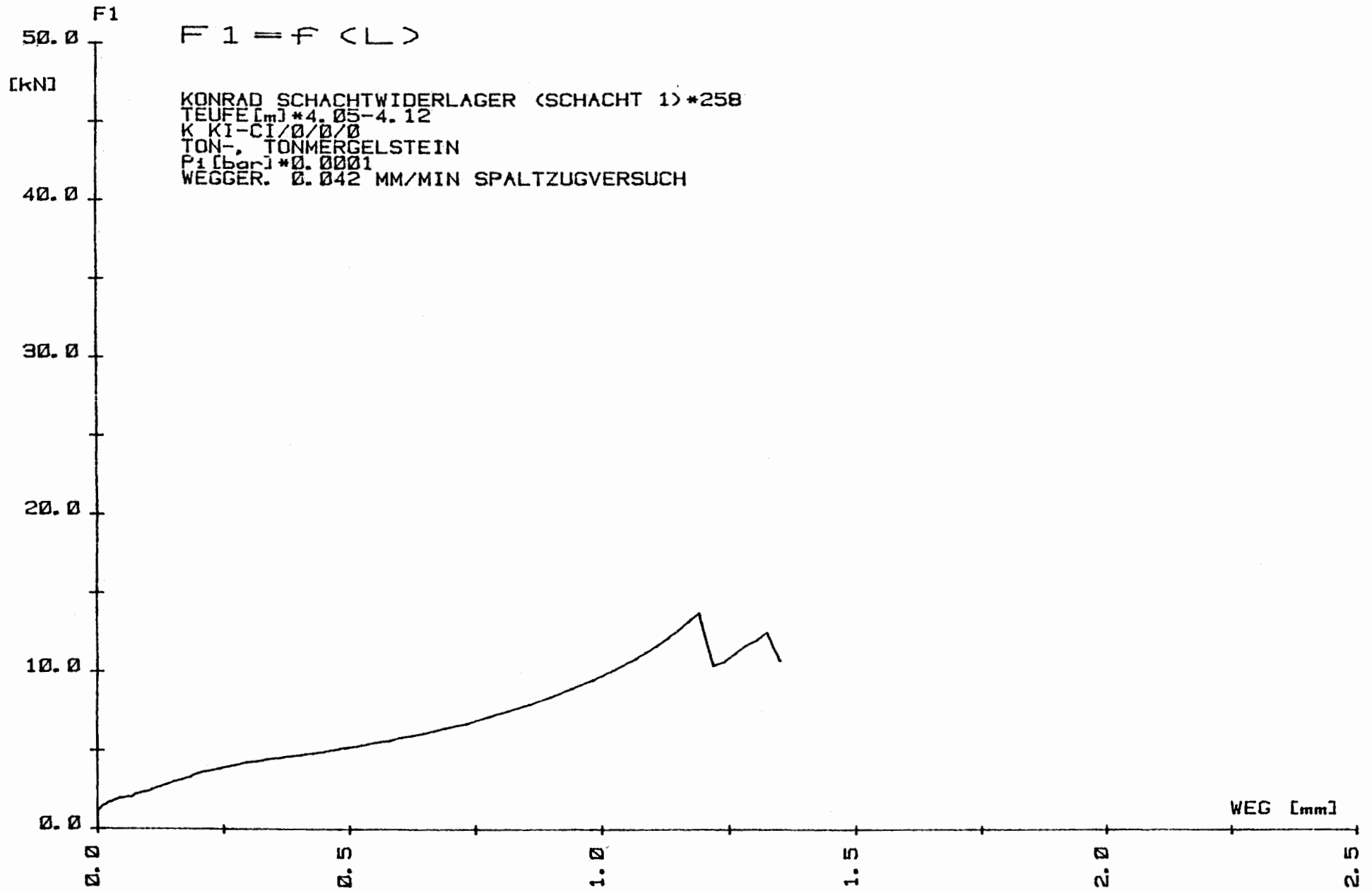
SIG1-SIG3

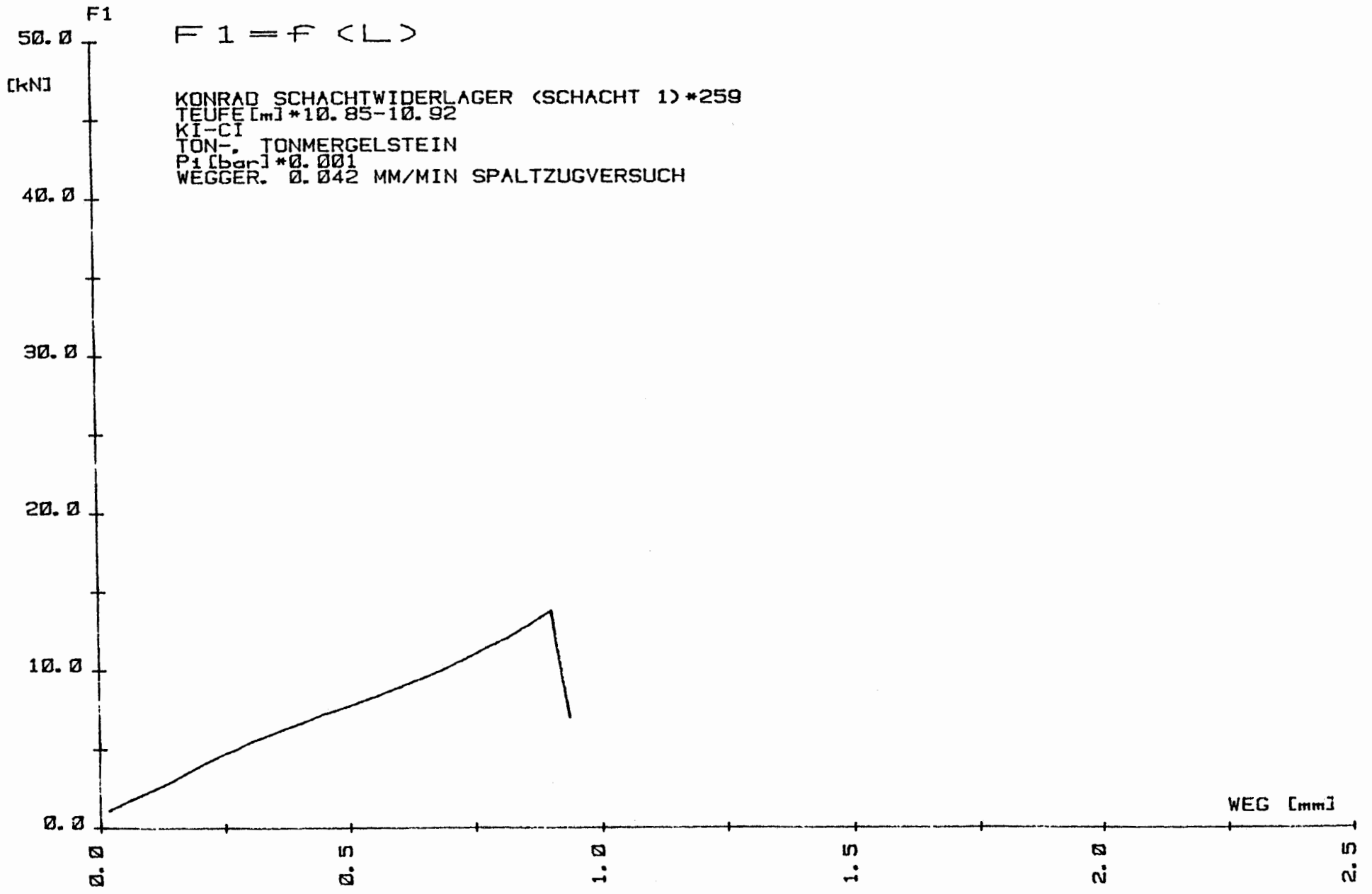
$$\langle \text{SIG1} - \text{SIG3} \rangle = f \langle \text{EPS} \rangle$$

[MPa]

KONRAD SCHACHTWIDERLAGER (SCHACHT 1) *257
TEUFE [m] *12.76-12.91
K KI-BI/0/0/0
TON-, TONMERGELSTEIN
P_i [bar] *200
DEHNUNGSGER. 0.00001 1/SEC







$$F_1 = f(L)$$

KONRAD SCHACHTWIDERLAGER (SCHACHT 1)*259
TEUFE [m]*10.85-10.92
KI-CI
TON-, TONMERGELSTEIN
P₁ [bar]*0.001
WEGGER. 0.042 MM/MIN SPALTZUGVERSUCH

SIG1-SIG3

$$\langle \text{SIG1} - \text{SIG3} \rangle = f \langle \text{EPS} \rangle$$

[MPa]

Konrad Schachtwiderlager (Schacht 1) *260
TEUFE [m] *12.55-12.70 m
K KI-CI/0/0/0
Ton-, Mergelstein
Pi [bar] *25
dehnungeger.

40

30

20

10

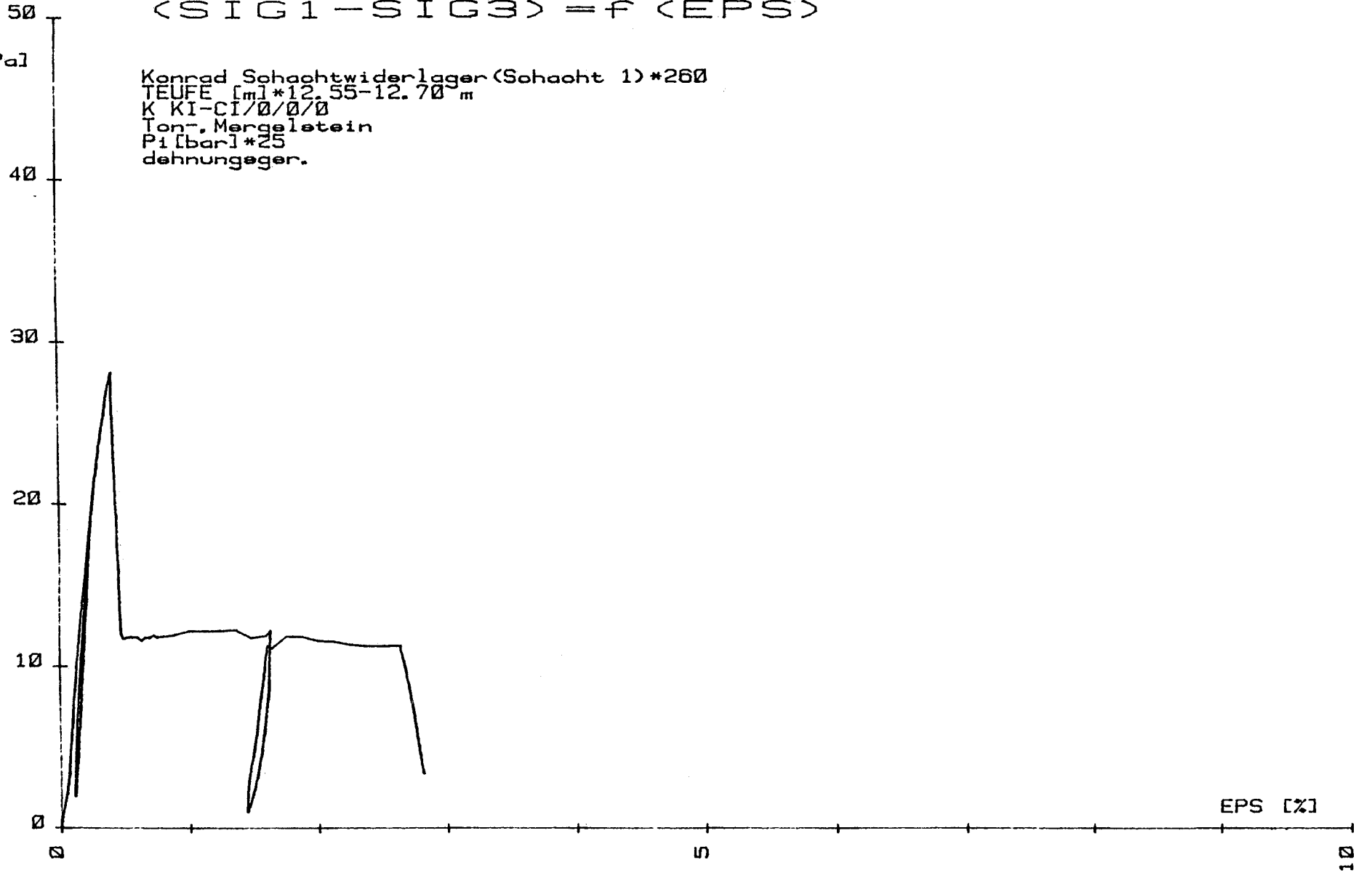
0

0

5

10

EPS [%]



SIG1-SIG3

$$\langle \text{SIG1} - \text{SIG3} \rangle = f \langle \text{EPS} \rangle$$

[MPa]

KONRAD SCHACHTWIDERLAGER (SCHACHT 1)*261
TEUFE [m]*14.77-14.92
K KI-CI/0/0/0
TON-, TONMERGELSTEIN
P_i [bar]*50
DEHNUNGSER. 0.00001 1/SEC

40

30

20

10

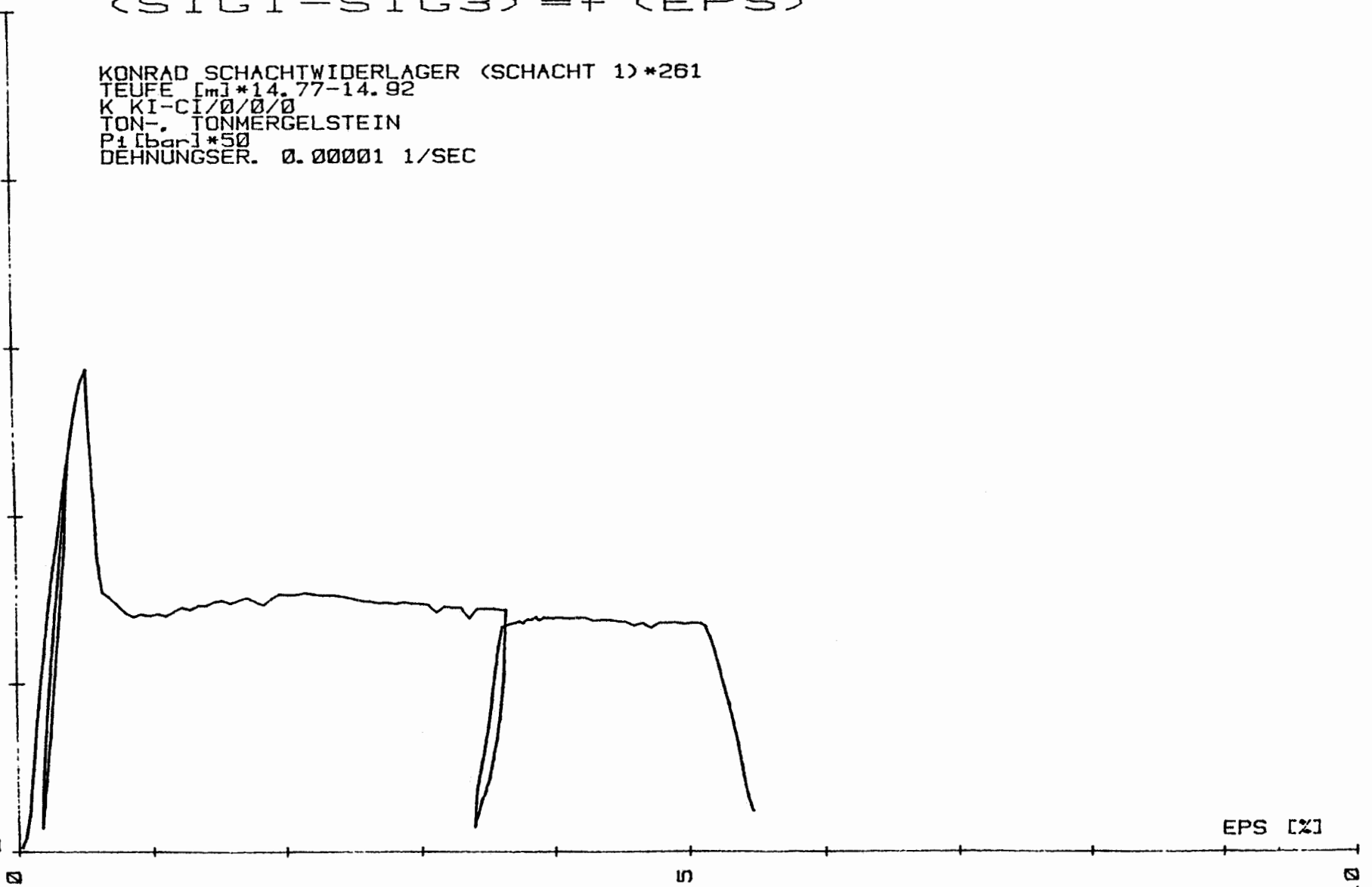
0

0

5

EPS [%]

10



SIG1-SIG3

$$\langle \text{SIG1-SIG3} \rangle = f \langle \text{EPS} \rangle$$

[MPa]

KONRAD SCHACHTWIDERLAGER (SCHACHT 1)*262
TEUFE [m]*14.93-15.08
K KI-CI/0/0/0
TON- TONMERGELSTEIN
P1 [bar]*150
DEHNUNGSGER. 0.00001 1/SEC

40

30

20

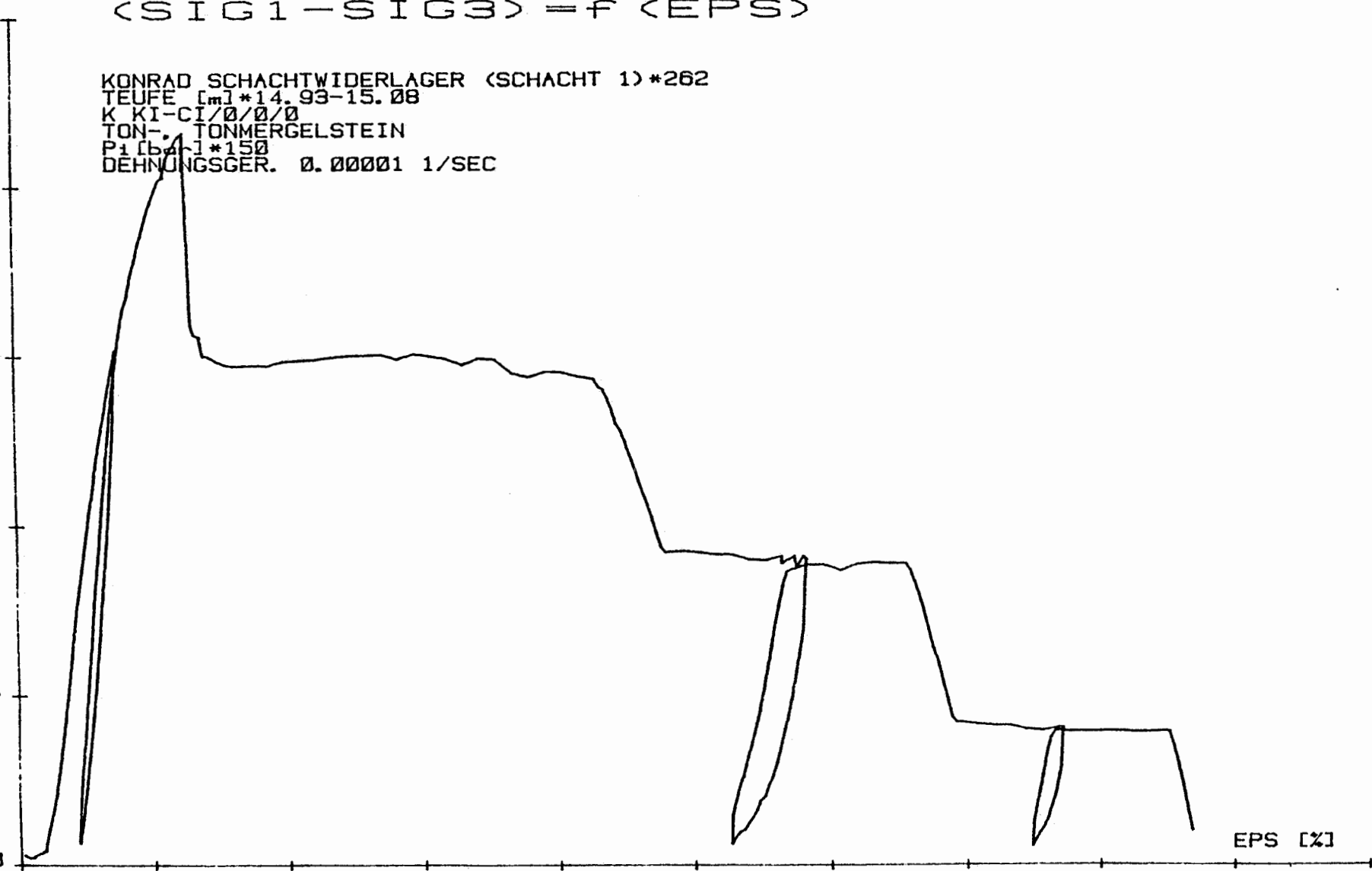
10

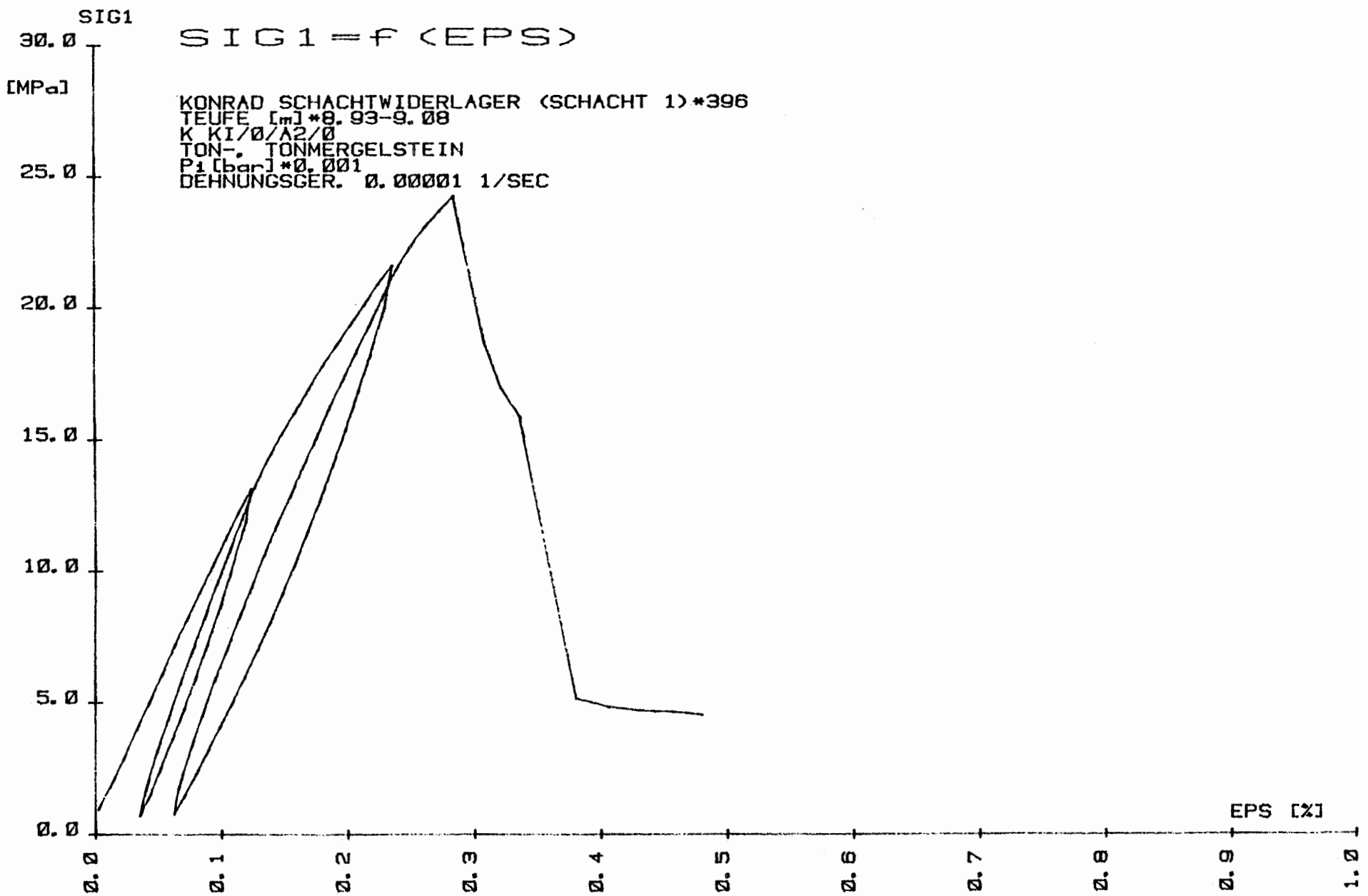
0

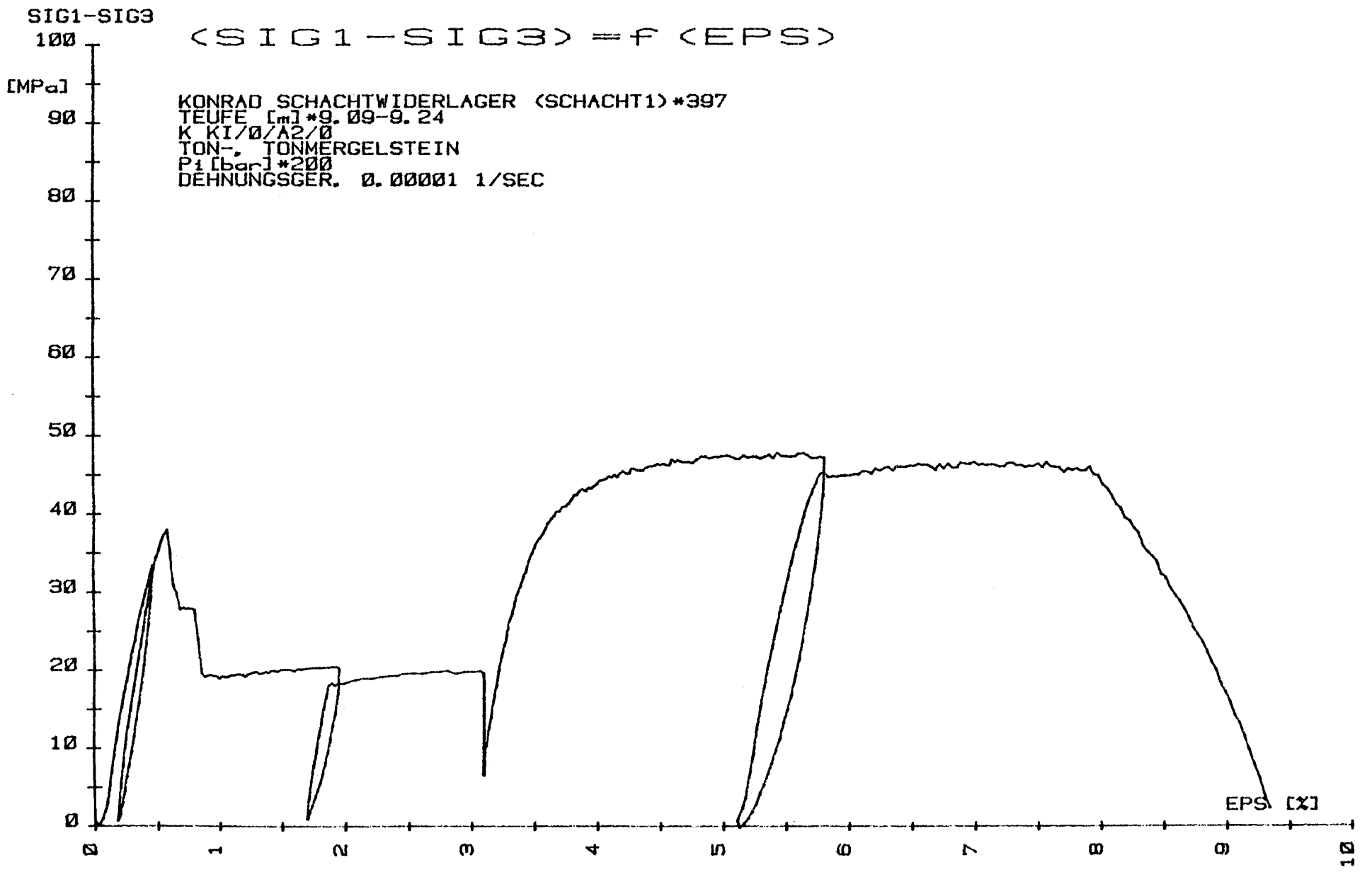
5

EPS [%]

10







SIG1-SIG3

$$\langle \text{SIG1} - \text{SIG3} \rangle = f \langle \text{EPS} \rangle$$

[MPa]

KONRAD SCHACHTWIDERLAGER (SCHACHT1)*398
TEUFE [m]*9.25-9.40
K KI/0/A2/0
TON-, TONMERGELSTEIN
P1 [bar]*150
DEHNUNGSGER. 0.00001 1/SEC

80

70

60

50

40

30

20

10

0

0

1

2

3

4

5

6

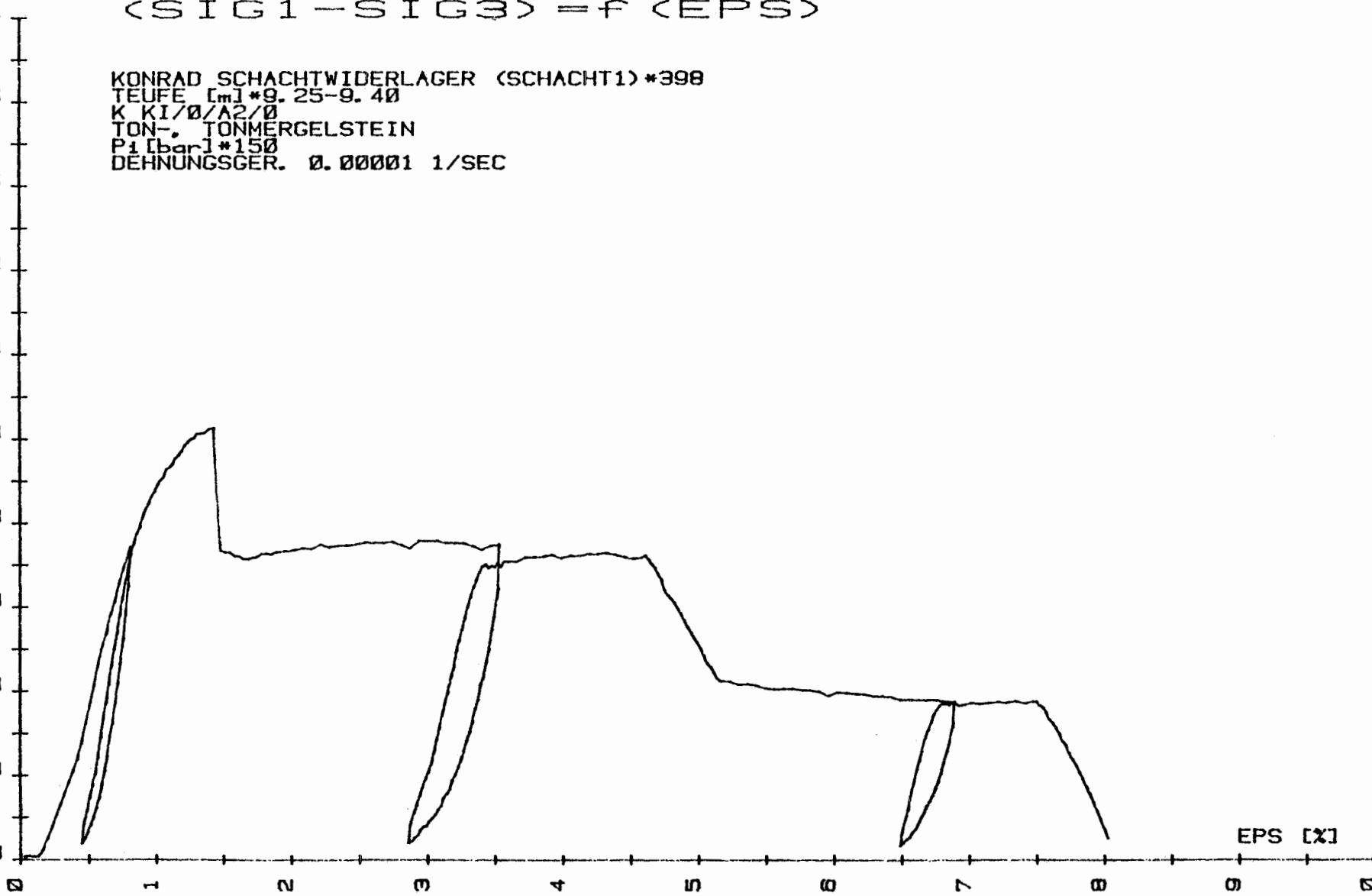
7

8

9

10

EPS [X]



SIG1
25.00

[MPa]

SIG1 = f (EPS)

KONRAD SCHACHTWIDERLAGER (SCHACHT 1)*269
TEUFE [m]*3.30-3.45
K KI-B2/0/0/0
TON-, TONMERGELSTEIN
P1 [bar]*0.001
DEHNUNGSGER. 0.00001 1/SEC

20.00

15.00

10.00

5.00

0.00

0.00

0.25

0.50

0.75

1.00

1.25

1.50

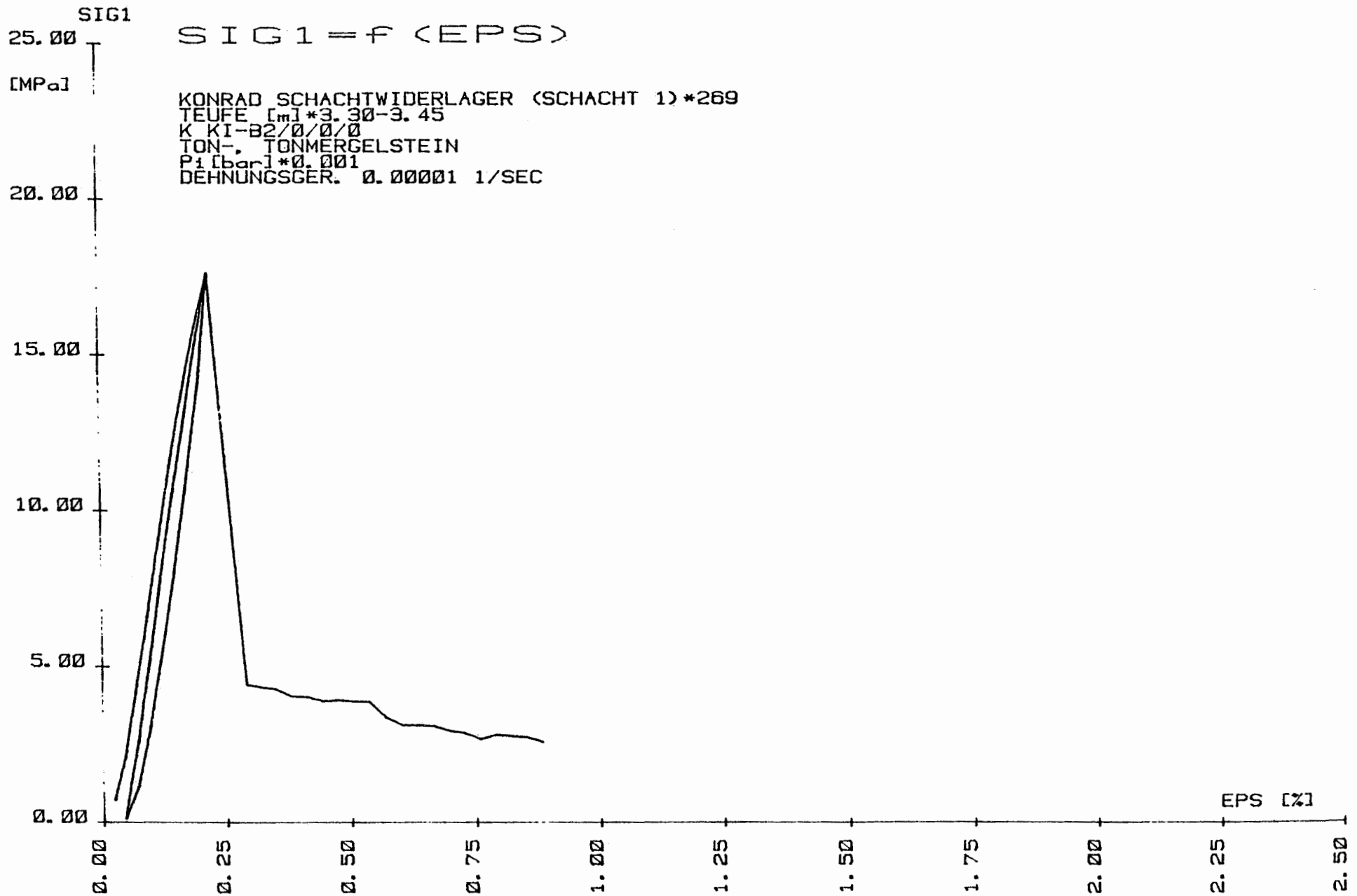
1.75

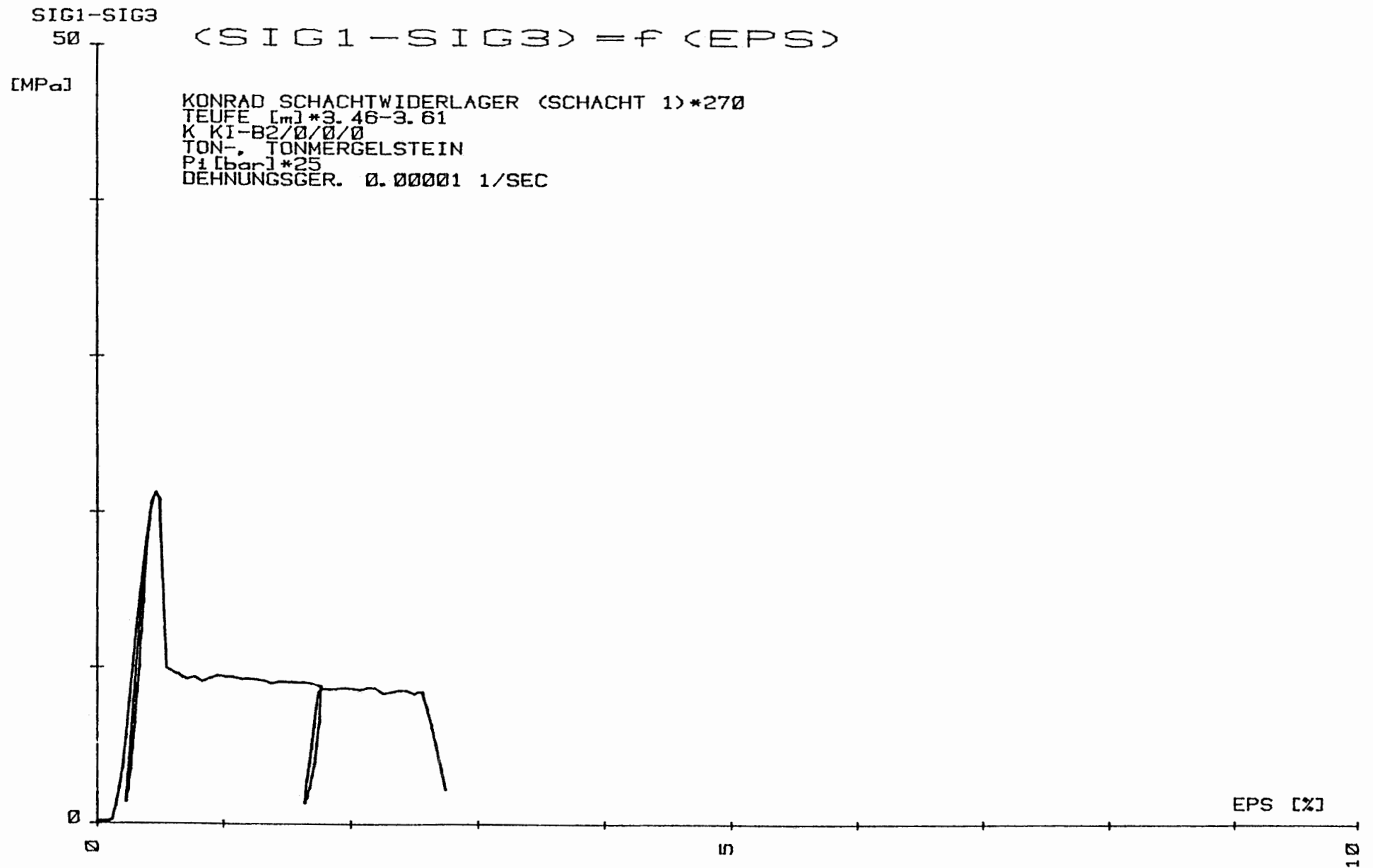
2.00

2.25

2.50

EPS [%]





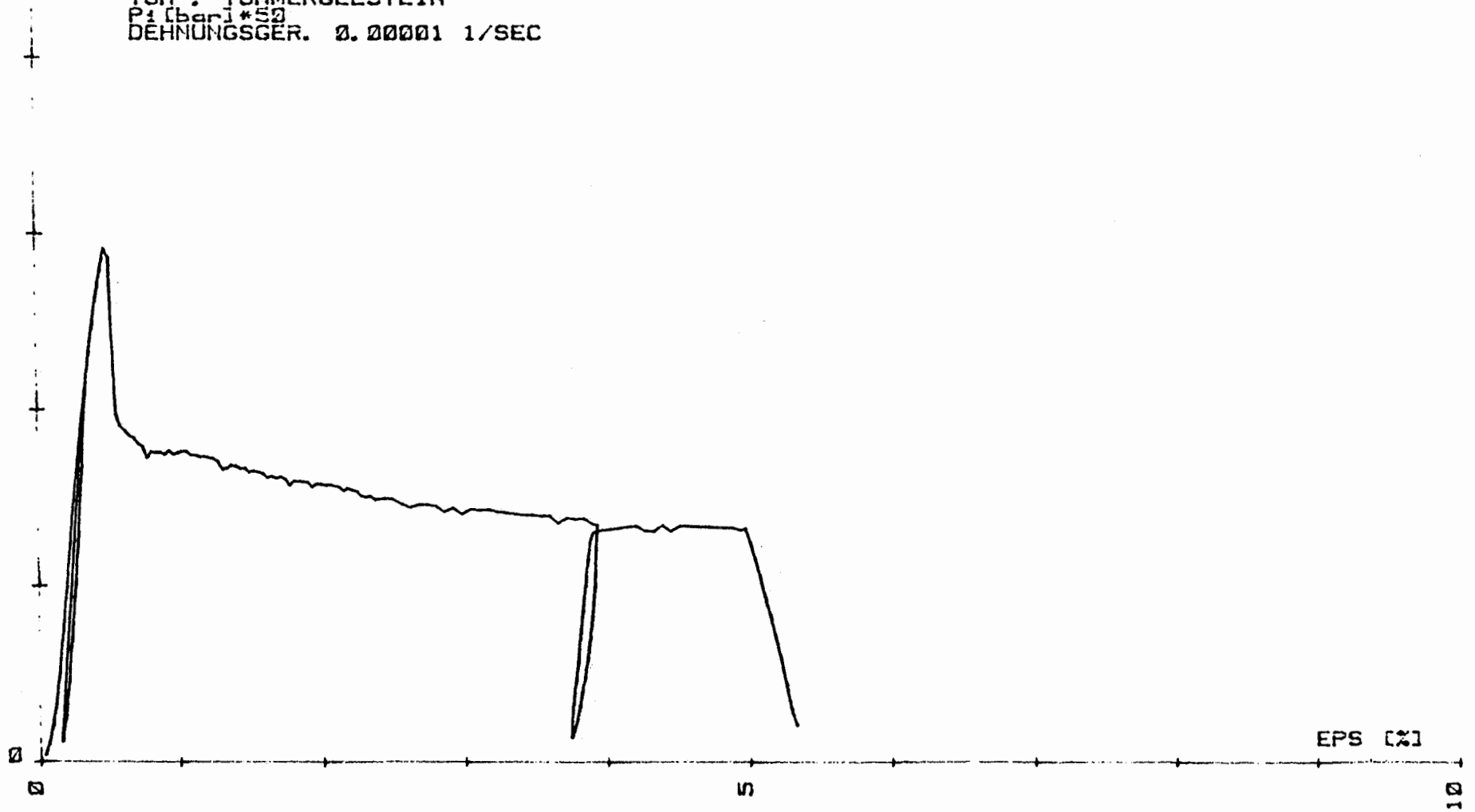
SIG1-SIG3

50

(SIG1-SIG3) = f (EPS)

[MPa]

KONRAD SCHACHTWIDERLAGER (SCHACHT 1)*272
TEUFE [m]*7.89-8.04
K KI-82/0/0/0
TON-, TONMERGELSTEIN
P [bar]*50
DEHNUNGSGER. 0.00001 1/SEC



SIG1-SIG3

<SIG1-SIG3> = f <EPS>

[MPa]

KONRAD SCHACHTWIDERLAGER (SCHACHT 1)*273
TEUFE [m]*8.05-8.20
K KI-B2/0/0/0
TON-, TONMERGELSTEIN
P_i [bar]*150
DEHNUNGSGER. 0.00001 1/SEC

40

30

20

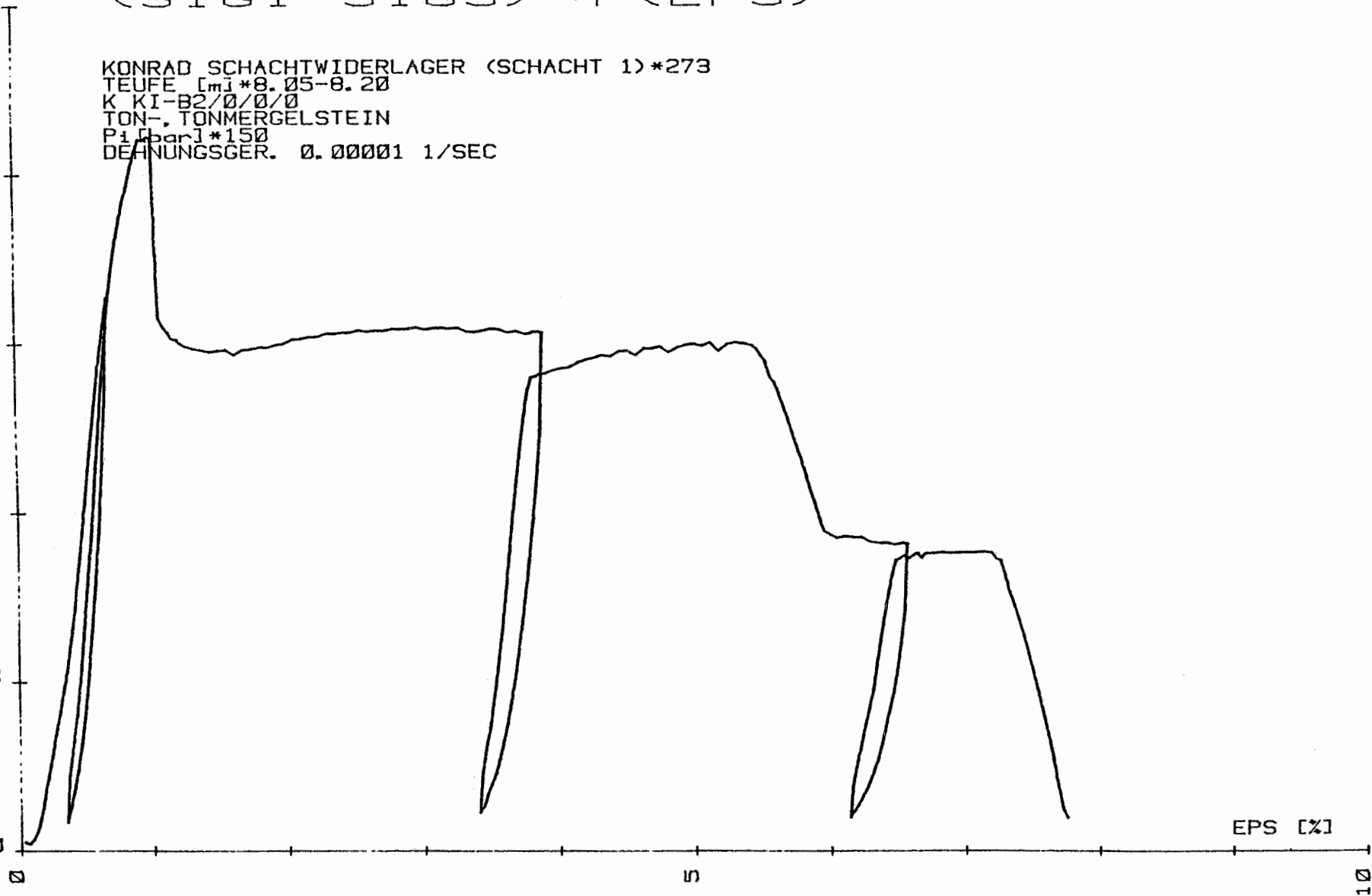
10

0

EPS [%]

0

10



SIG1-SIG3

$$\langle \text{SIG1-SIG3} \rangle = f \langle \text{EPS} \rangle$$

[MPa]

KONRAD SCHACHTWIDERLAGER (SCHACHT 1)*274
TEUFE [m]*8.21-8.36
K KI-B2/0/0/0
TON. -TONMERGELSTEIN
P1 [bar]*75
DEHNUNGSGER. 0.00001 1/SEC

40

30

20

10

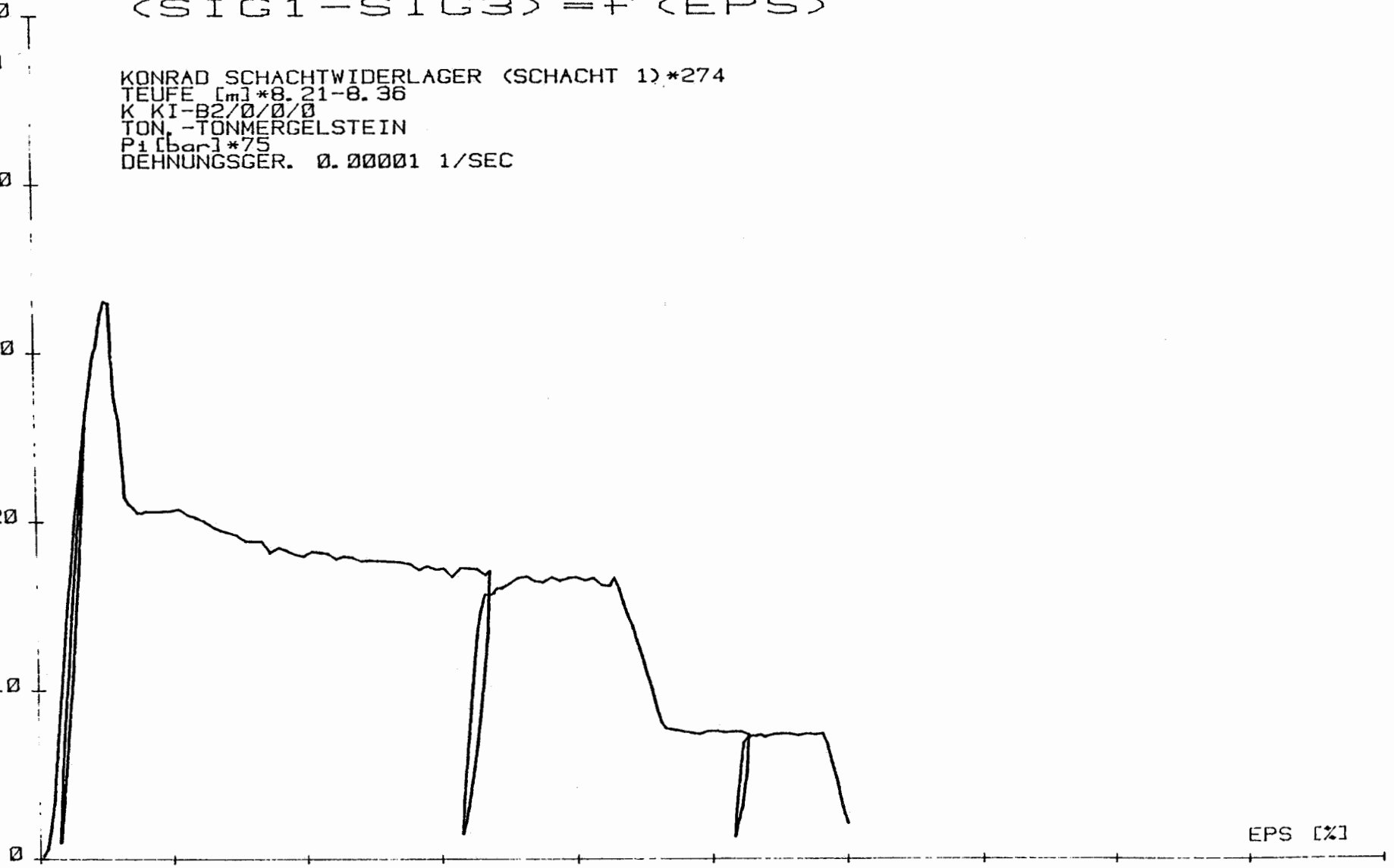
0

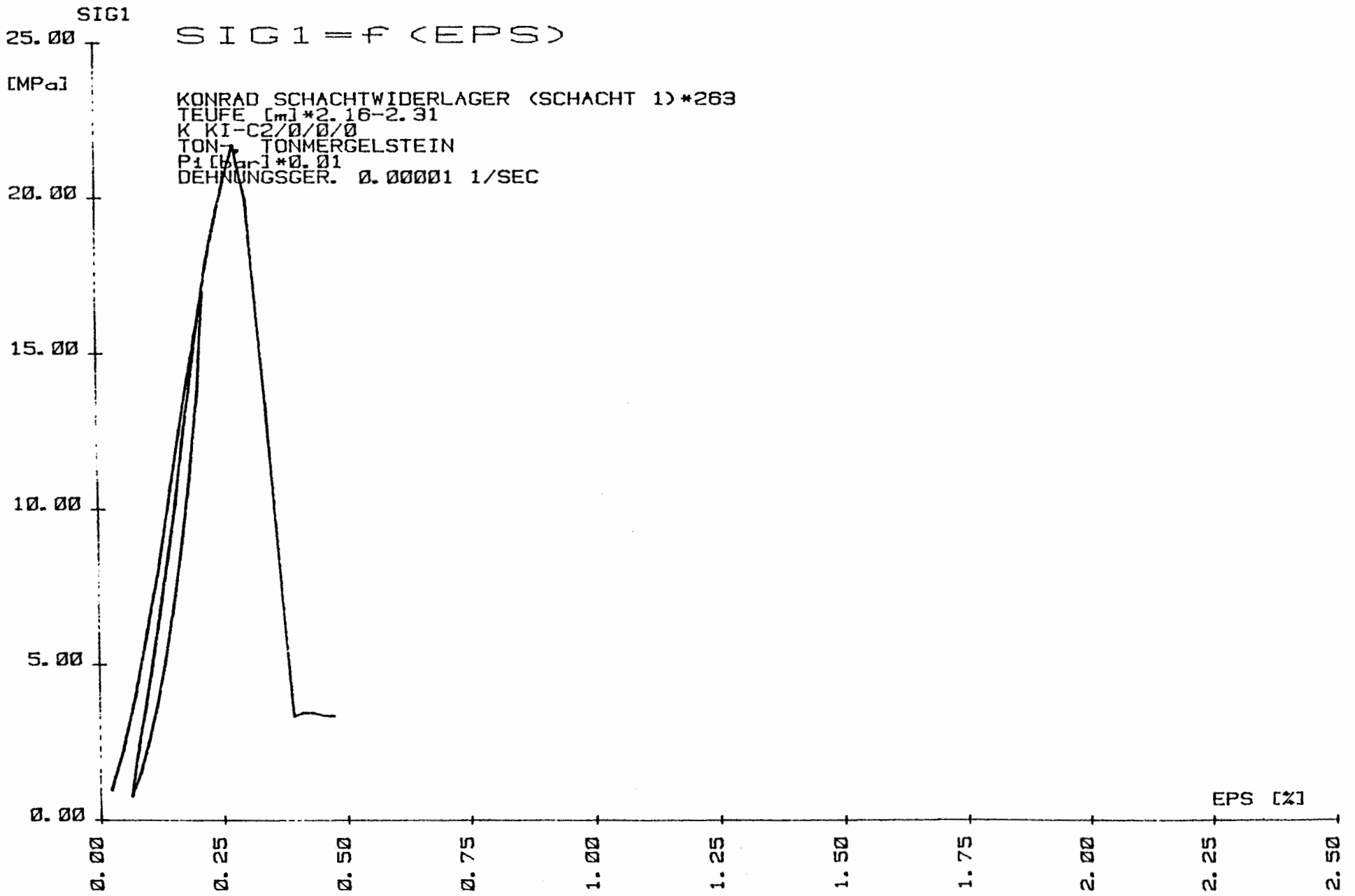
0

5

10

EPS [%]





SIG1-SIG3

$$\langle \text{SIG1} - \text{SIG3} \rangle = f \langle \text{EPS} \rangle$$

[MPa]

KONRAD SCHACHTWIDERLAGER (SCHACHT 1)*264
TEUFE [m]*2.32-2.47
K KI-C2/0/0/0
TON-, TONMERGELSTEIN
P1 [bar]*25
DEHNUNGSGER. 0.00001 1/SEC

40

30

20

10

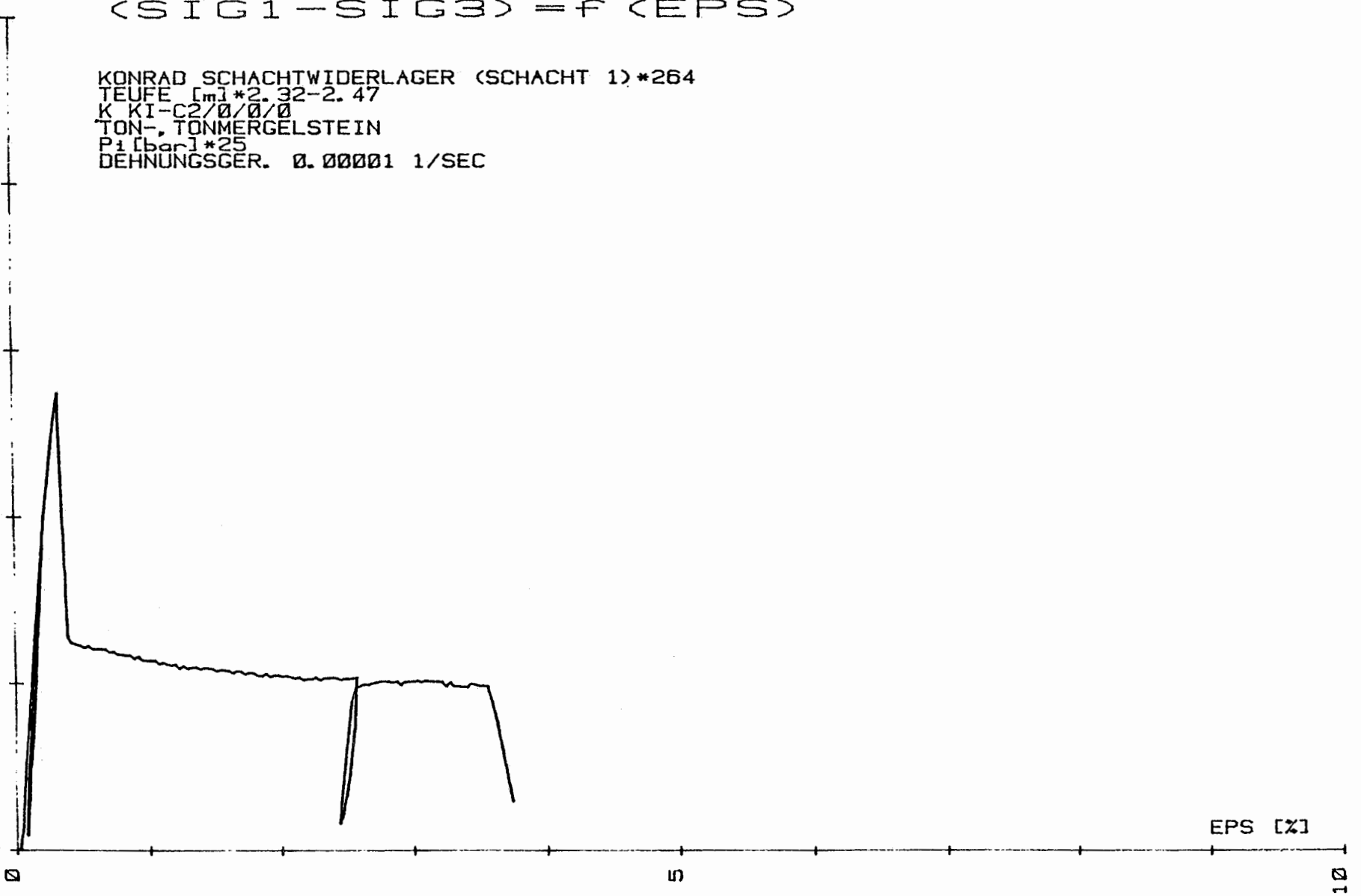
0

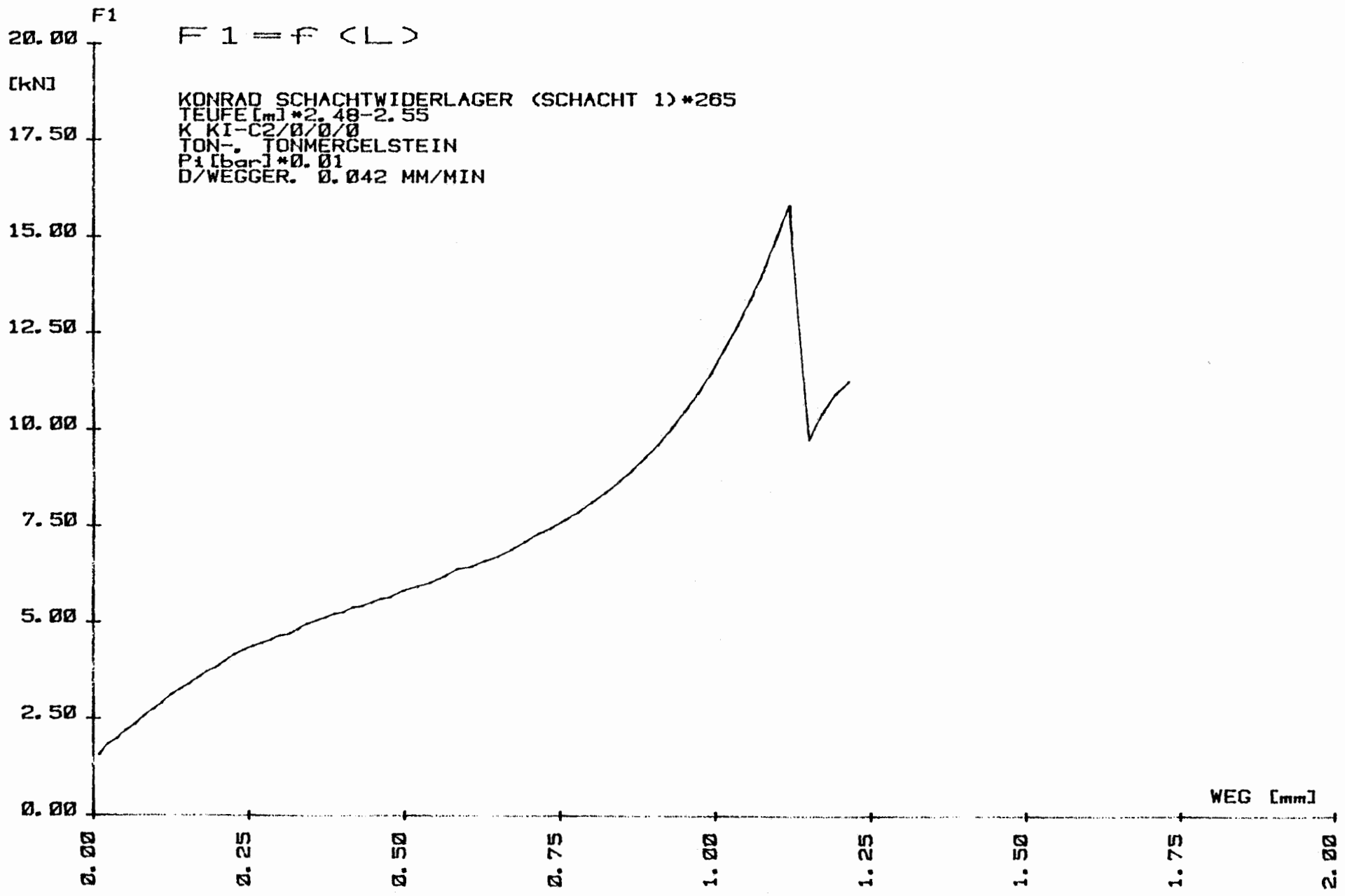
0

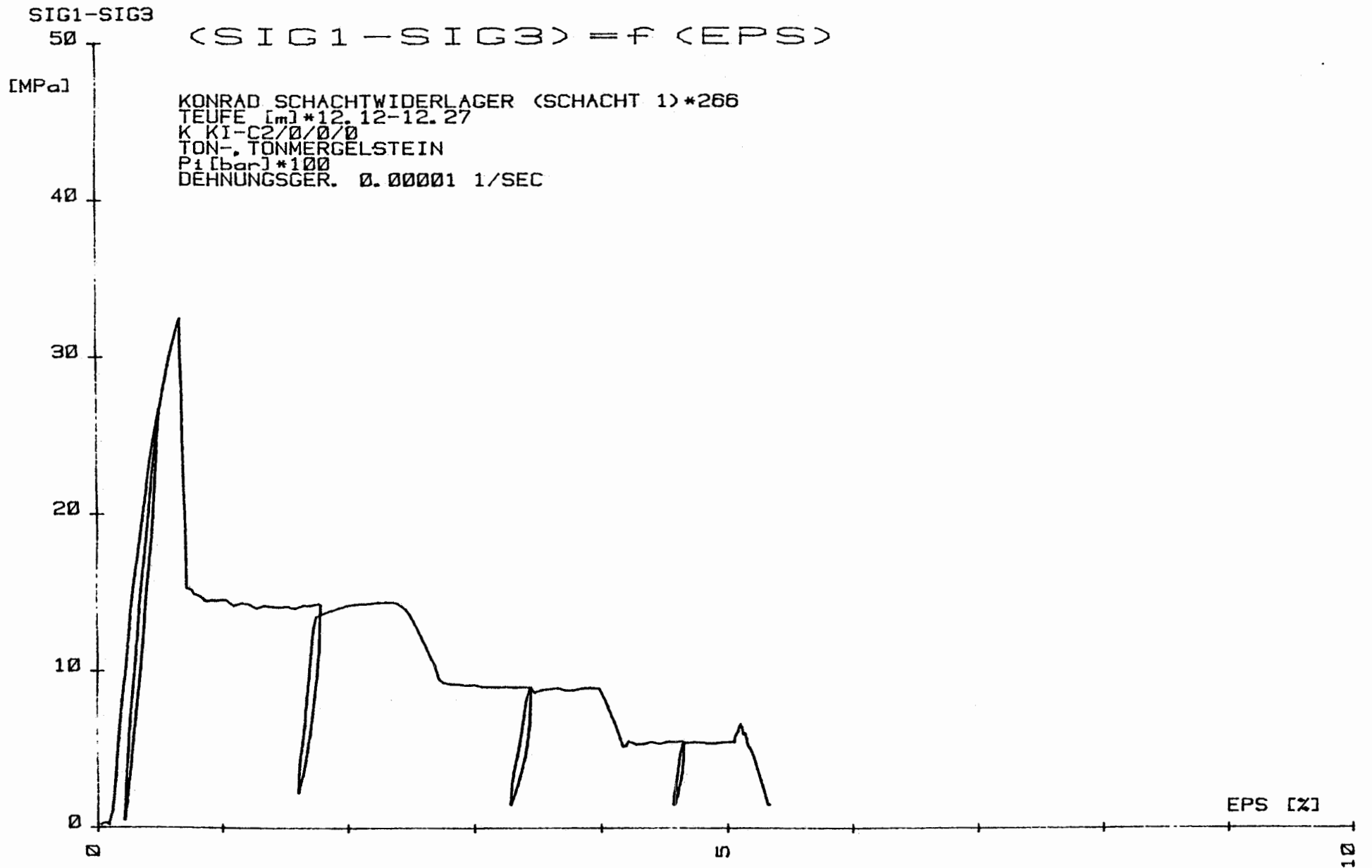
5

EPS [%]

10







SIG1-SIG3

$$\langle \text{SIG1-SIG3} \rangle = f(\text{EPS})$$

[MPa]

KONRAD SCHACHTWIDERLAGER (SCHACHT 1)*267
TEUFE [m]*12.35-12.5
K KI-C2/0/0/0
TON- TONMERGELSTEIN
P1 [bar]*200
DEHNUNGSGER. 0.00001 1/SEC

40

30

20

10

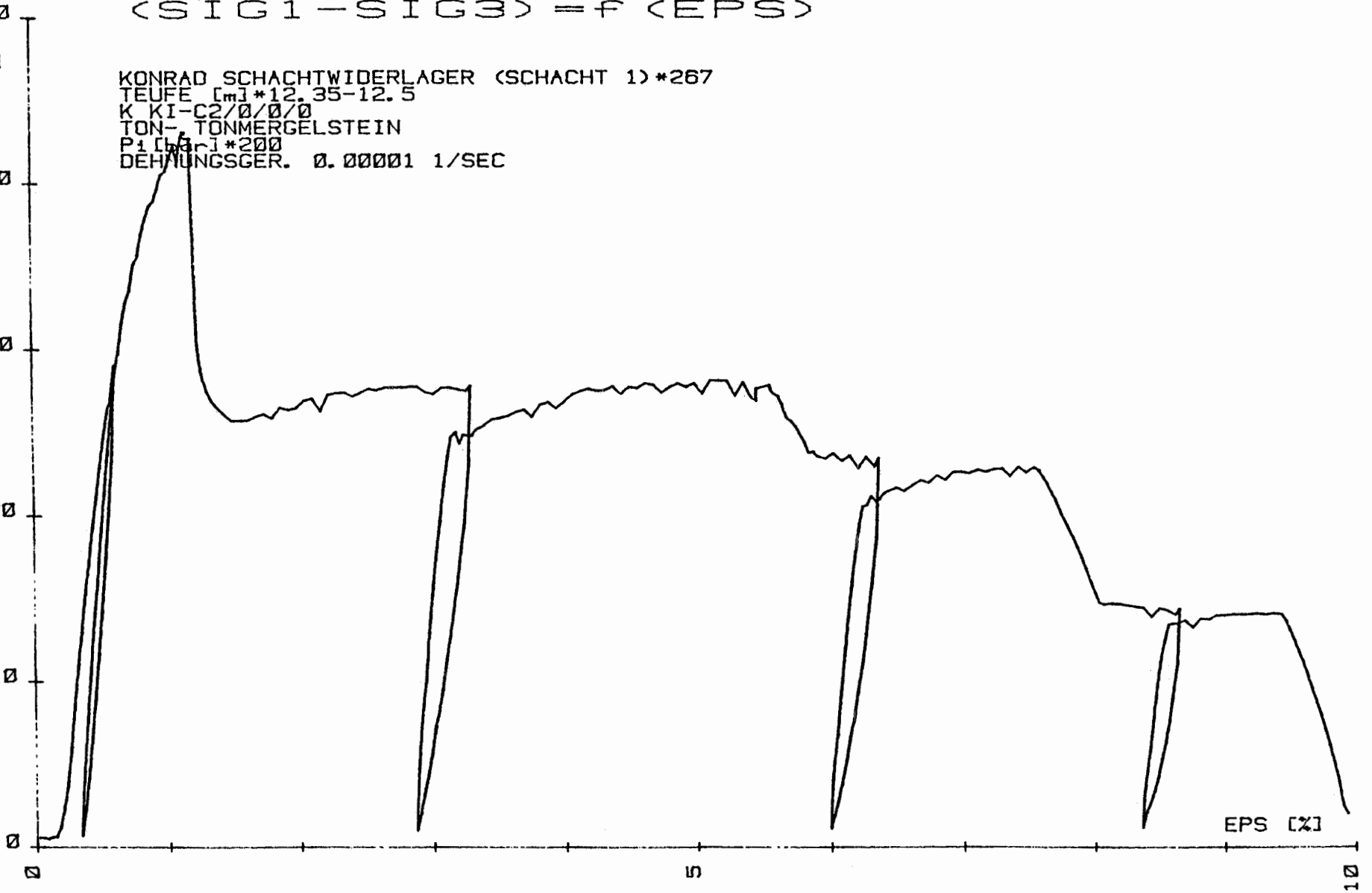
0

0

5

10

EPS [%]

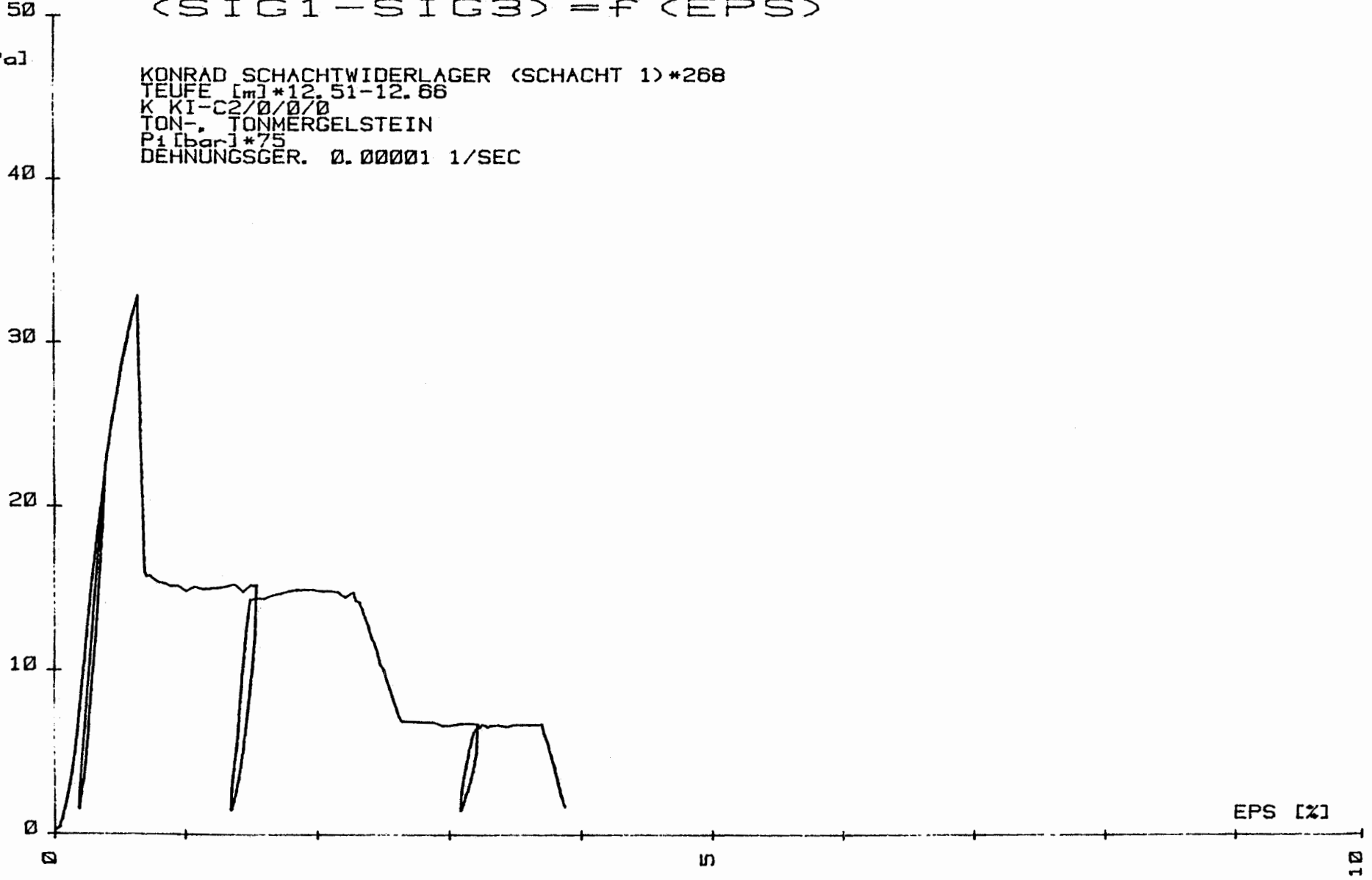


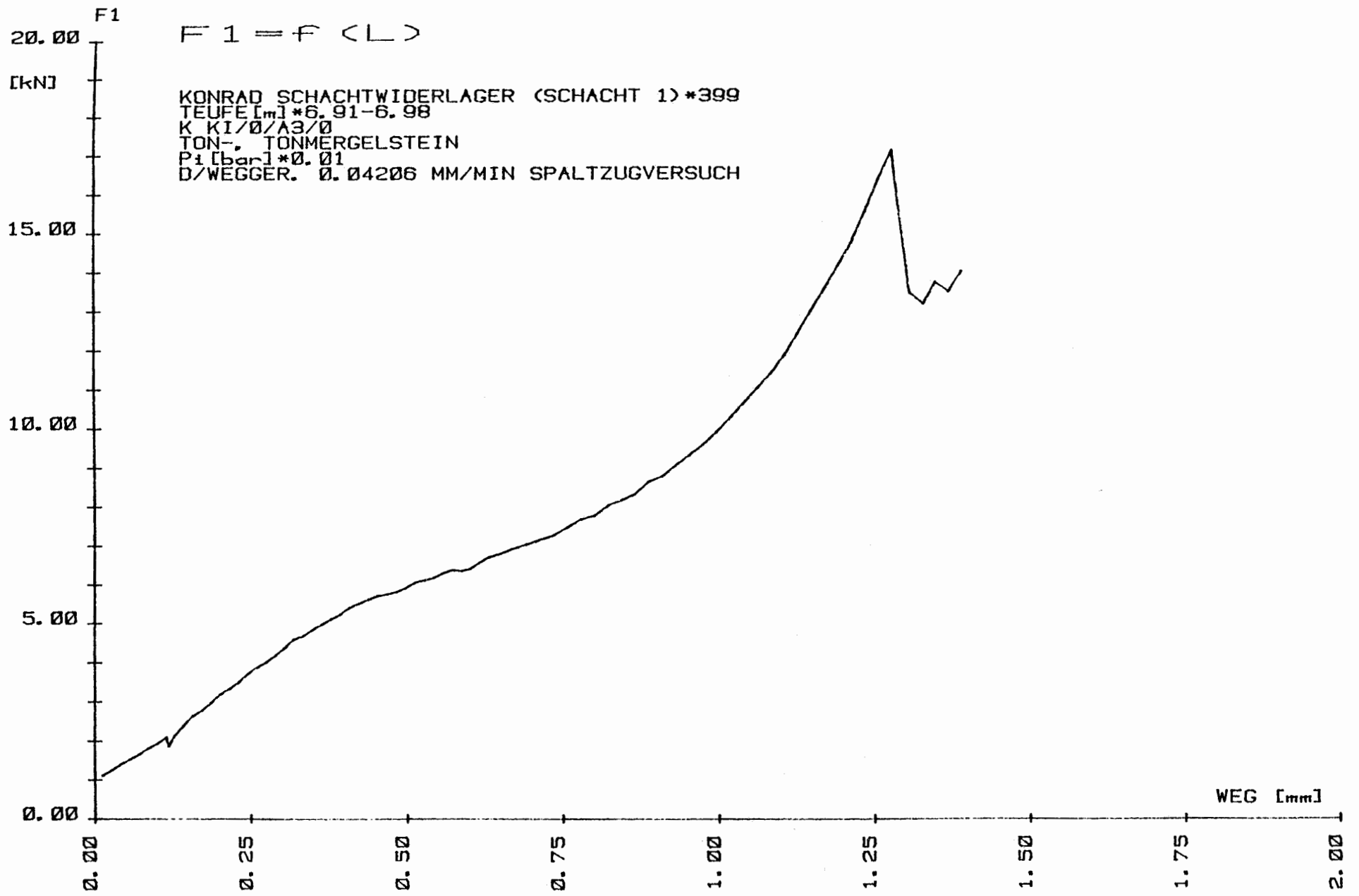
SIG1-SIG3

$$\langle \text{SIG1-SIG3} \rangle = f(\text{EPS})$$

[MPa]

KONRAD SCHACHTWIDERLAGER (SCHACHT 1)*268
TEUFE [m]*12.51-12.66
K KI-C2/0/0/0
TON- TONMERGELSTEIN
P_i [bar]*75
DEHNUNGSGER. 0.00001 1/SEC





$$F_1 = f(L)$$

KONRAD SCHACHTWIDERLAGER (SCHACHT 1) *399
TEUFE [m] *6.91-6.98
K KI/Ø/A3/Ø
TON-, TONMERGELSTEIN
Pi [bar] *0.01
D/WEGGER. Ø. Ø4206 MM/MIN SPALTZUGVERSUCH

SIG1-SIG3

$$\langle \text{SIG1-SIG3} \rangle = f \langle \text{EPS} \rangle$$

[MPa]

KONRAD SCHACHTWIDERLAGER (SCHACHT 1)*400
TEUFE [m]*7.07-7.22
K KI/0/A3/0
TON-, TONMERGELSTEIN
P1 [bar]*25
DEHNUNGSGER. 0.00001 1/SEC

20

15

10

5

0

0

1

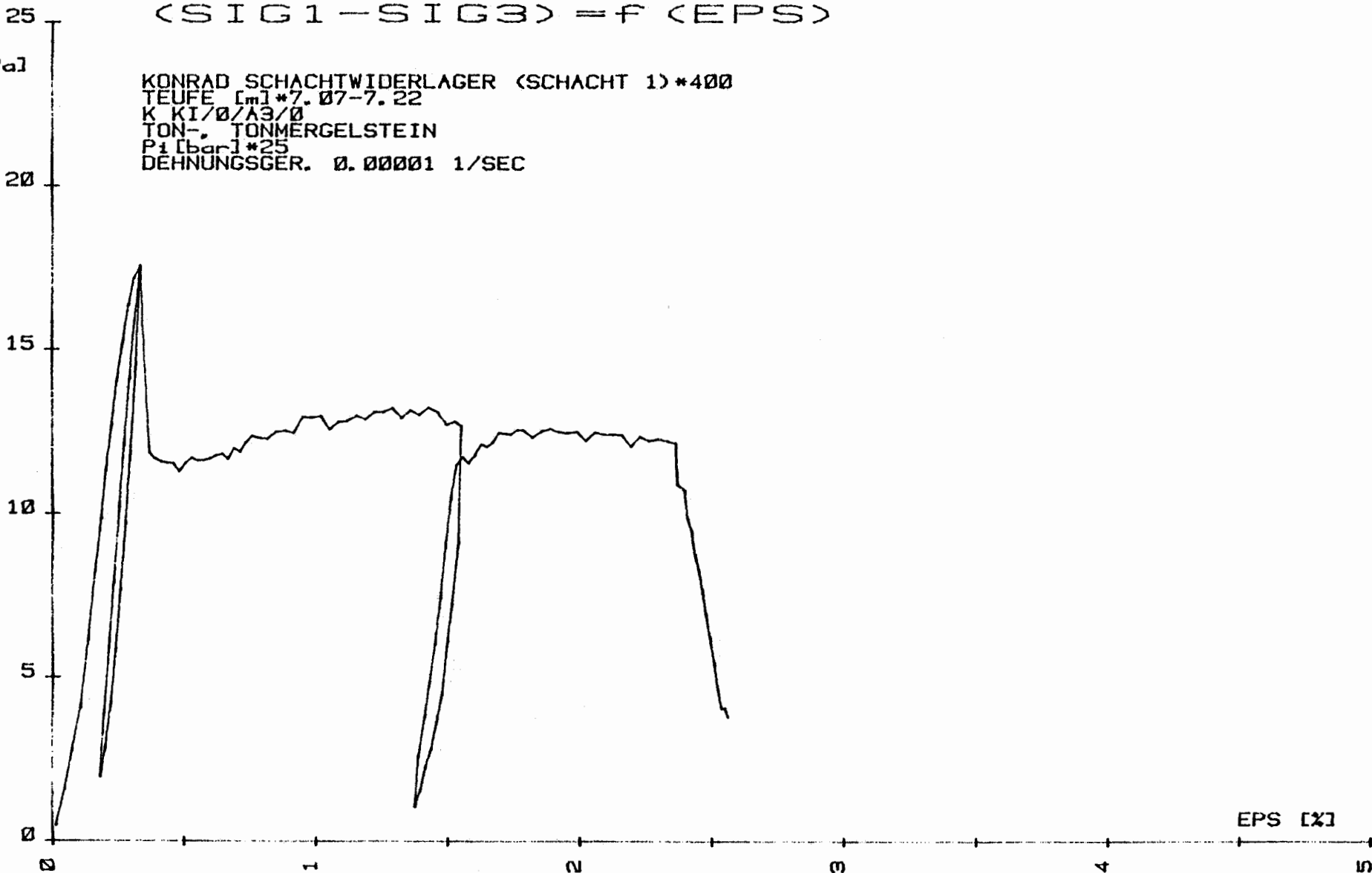
2

3

4

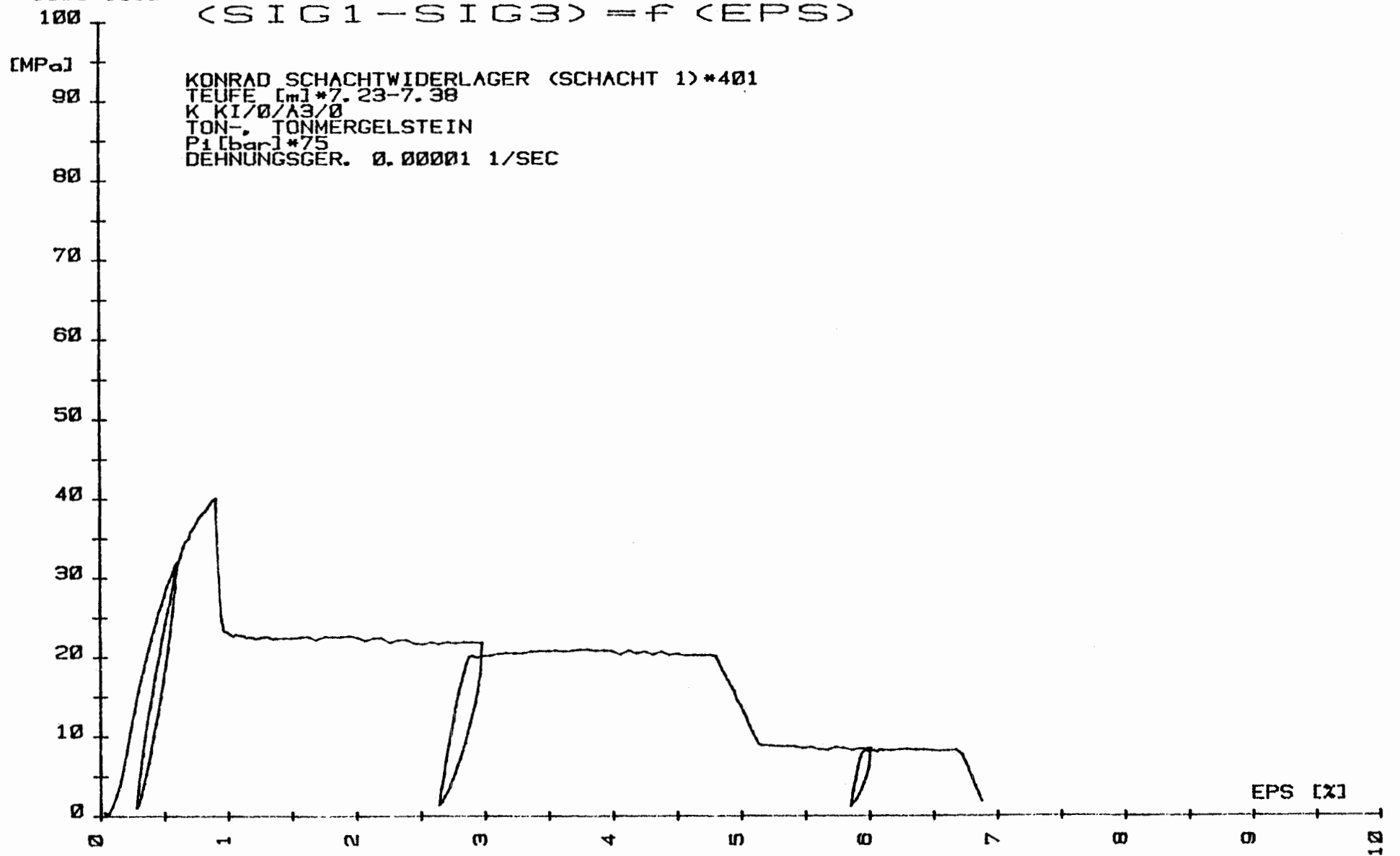
5

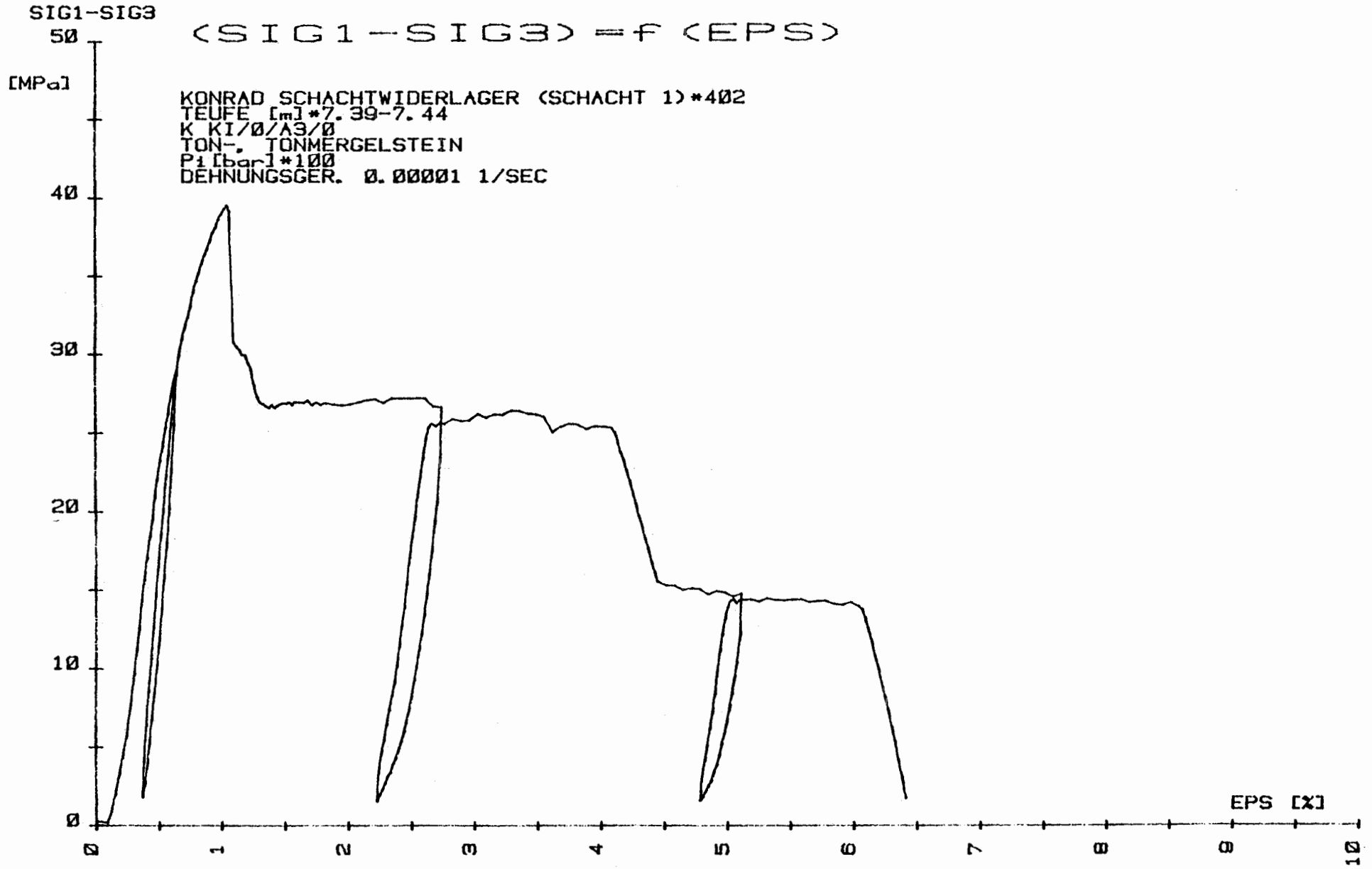
EPS [%]

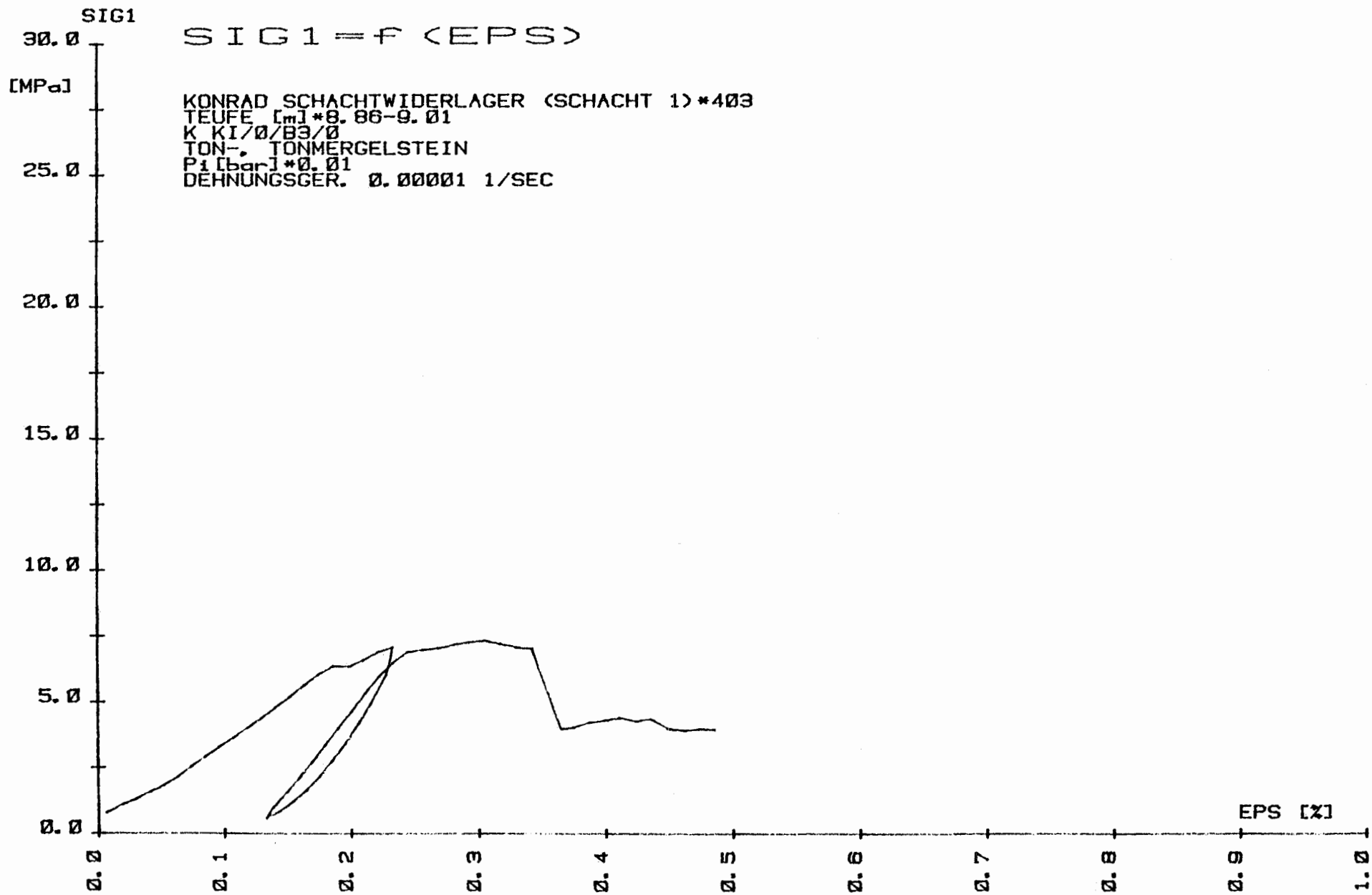


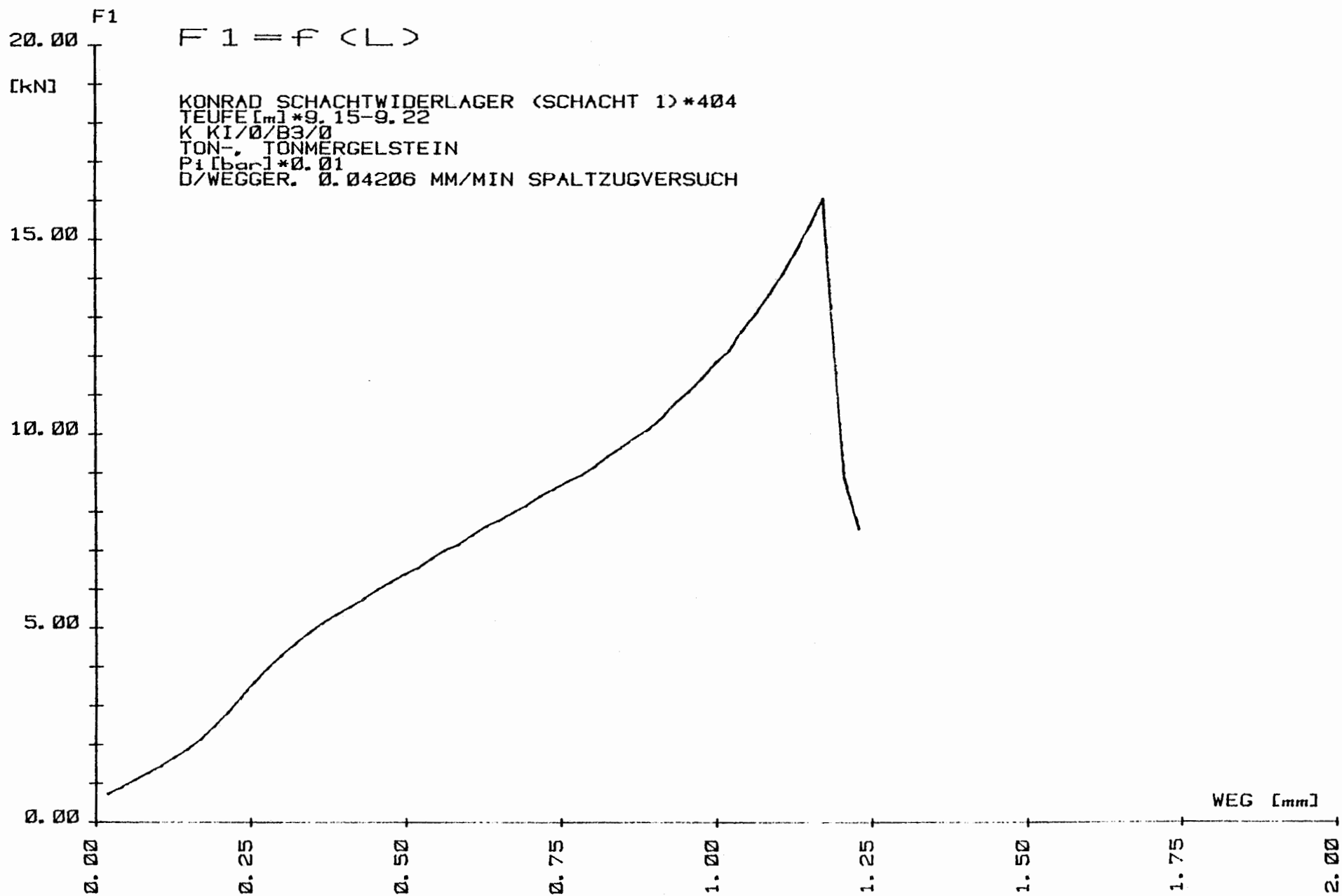
SIG1-SIG3

$$\langle \text{SIG1-SIG3} \rangle = f \langle \text{EPS} \rangle$$









SIG1-SIG3

(SIG1-SIG3) = f (EPS)

[MPa]

KONRAD SCHACHTWIDERLAGER (SCHACHT 1)*405
TEUFE [m]*9.23-9.38
K KI/0/B3/0
TON-, TONMERGELSTEIN
P1 [bar]*100
DEHNUNGSGER. 0.00001 1/SEC

40

30

20

10

0

0

1

2

3

4

5

6

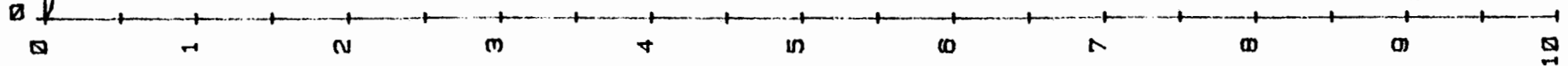
7

8

9

10

EPS [x]



SIG1-SIG3

$$(SIG1 - SIG3) = f(EPs)$$

[MPa]

90

80

70

60

50

40

30

20

10

0

0

KONRAD SCHACHTWIDERLAGER (SCHACHT 1)*406
TEUFE [m]*9.39-9.54
K KI/0/B3/0
TON-, TONMERGELSTEIN
P1 [bar]*200
DEHNUNGSGER. 0.00001 1/SEC

1

2

3

4

5

6

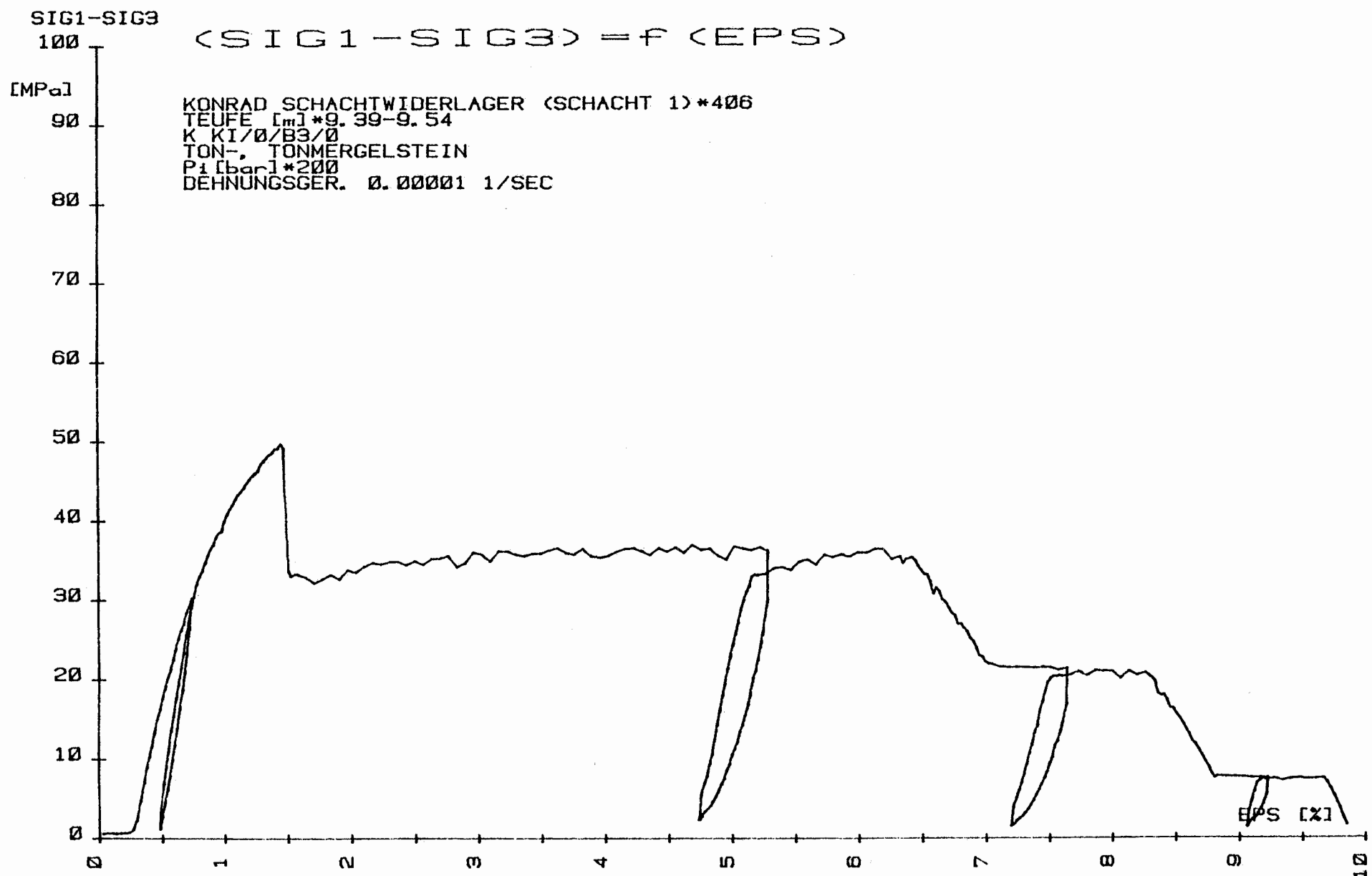
7

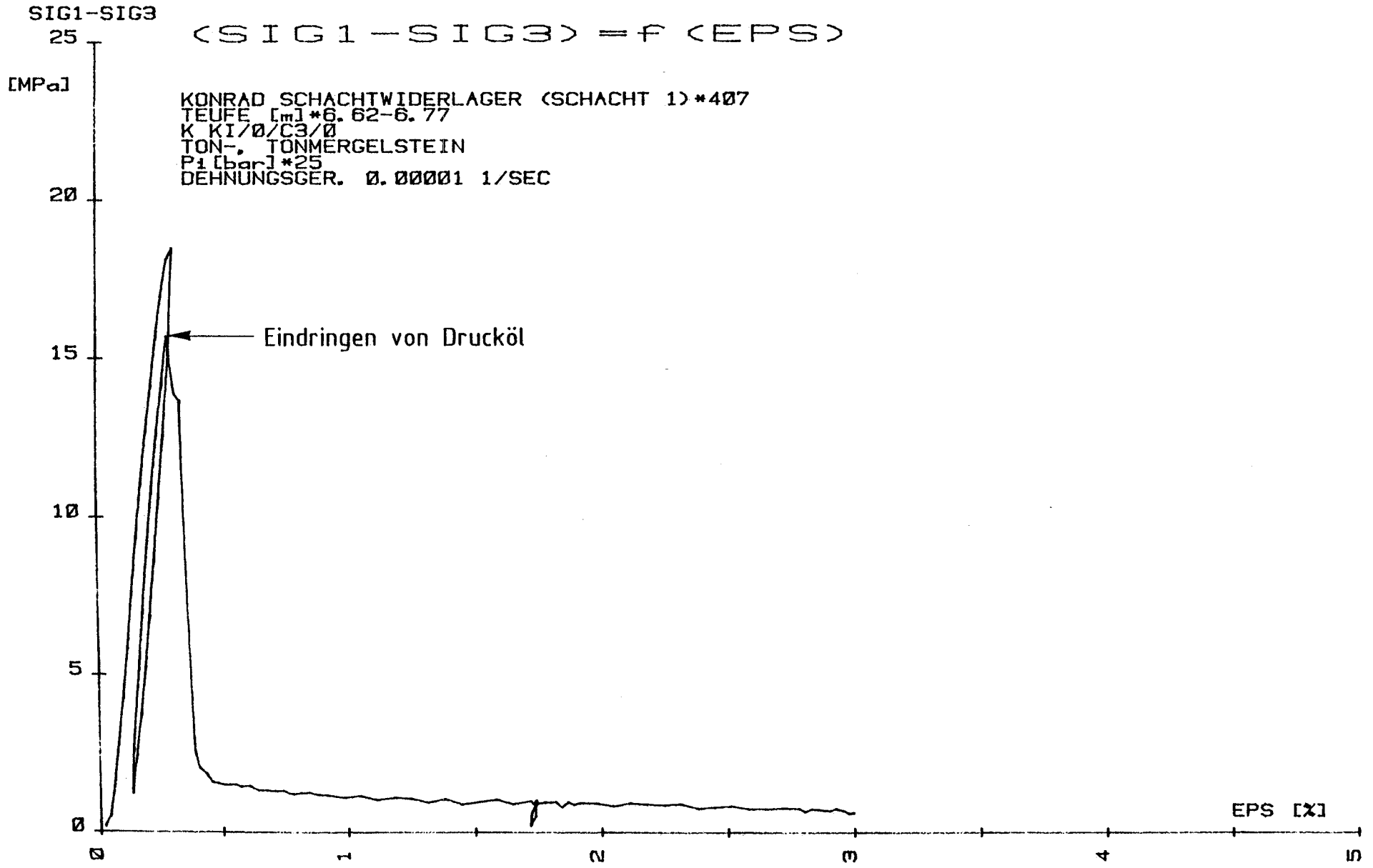
8

9

10

EPs [%]





SIG1-SIG3

$$\langle \text{SIG1} - \text{SIG3} \rangle = f \langle \text{EPS} \rangle$$

[MPa]

KONRAD SCHACHTWIDERLAGER (SCHACHT 1)*408
TEUFE [m]*6.84-6.99
K KI/0/C3/0
TON-, TONMERGELSTEIN
P_i [bar]*75
DEHNUNGSGER. 0.00001 1/SEC

40

30

20

10

0

0

1

2

3

4

5

6

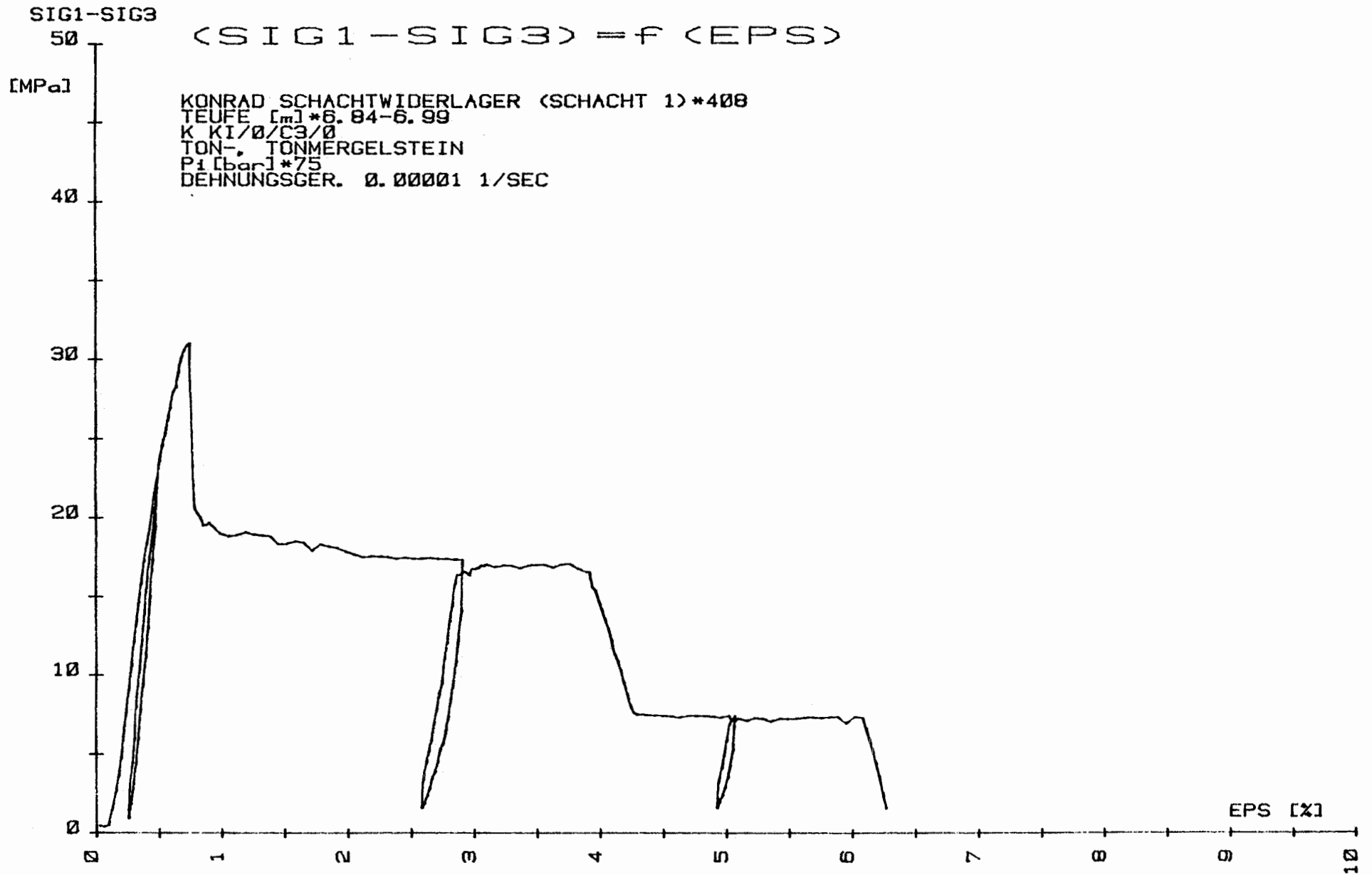
7

8

9

10

EPS [%]

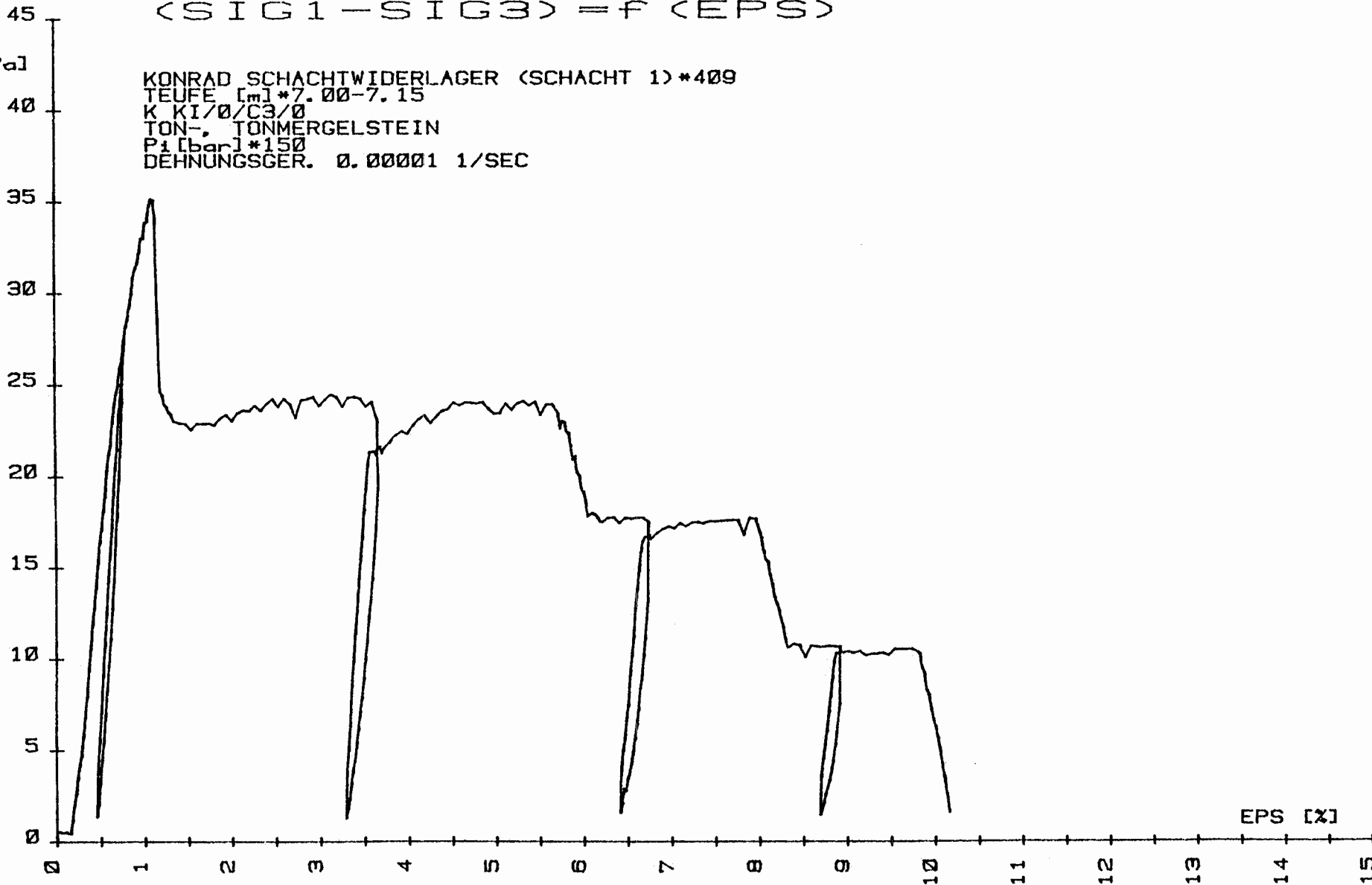


SIG1-SIG3

$$\langle \text{SIG1} - \text{SIG3} \rangle = f(\text{EPS})$$

[MPa]

KONRAD SCHACHTWIDERLAGER (SCHACHT 1)*409
TEUFE [m]*7.00-7.15
K KI/0/C3/0
TON-, TONMERGELSTEIN
P_i [bar]*150
DEHNUNGSGER. 0.00001 1/SEC



EPS [x]

