

# PERSONAL-COMPUTER-GESTÜTZTE BRUCHZÄHIGKEITSMESSUNG MIT DER POTENTIALSONDE

DVM-Arbeitskreis "Bruchvorgänge", 26./27.2.91, Berlin

K.F. Stärk\*), D.W. Bühler\*\*):

\*) Hpt.Gr.L. Mechanische Werkstoffeigenschaften,  
ABB Kraftwerke AG, Baden/CH, Abt. Materialtechnologie  
(KWTM)

\*\*\*) Physikstudent, Eidgen. Techn. Hochschule Zürich (ETHZ)

## 1. Einleitung

Die explosionsartige Leistungssteigerung der Personalcomputer (PC), die Entwicklung der Programmiersprachen und die Vielfalt der Interfacemöglichkeiten haben die Anwendung der PC's als kostengünstige Mess- und Auswertemöglichkeit geschaffen. Am Beispiel der Potentialsonde zur Risswachstumsmessung wird gezeigt, dass eine Widerstandsänderung nicht gleich Risswachstum ist und wie sie interpretiert wird. Zur Messung, physikalischen Interpretation, Auswertung und Dokumentation kann der PC eine wichtige Hilfe sein. Prinzipielle Unterschiede zum Teilentlastungsverfahren bei der Ermittlung der Bruchzähigkeit werden erläutert.

## 2. EDV-Situation

Wie in so vielen Labors haben auch bei uns vor 10-15 Jahren DEC-Rechner (Digital Equipment Corporation) in Form der pdp-Serien Einzug gehalten. Für die Messwerterfassung wurde und wird noch bei uns das alte DEC-MINC-System benutzt. Das Interface zur Prüfmaschine stellte sich immer wieder als kritische Grösse heraus.

Die Kopplung einer Instron-Maschine mit einer pdp 11/23 plus konnte nicht zufriedenstellend gelöst werden. Eine MTS-Servo-hydraulik läuft mit einer pdp 11/23 plus mit in MTS-BASIC selbst geschriebener Software für Bauteilversuche und Bruchzähigkeitsmessungen mit Hilfe der Teilentlastungsmethode. Die pdp 11/23 mit dem MINC-Interface wird ausschliesslich für Risswachstumsmessungen benutzt (Anrissbildung, Ermüdungsrisswachstum, Spannungsrisskorrosion und zur Bruchzähigkeitsbestimmung mit der Potentialsonde).

Mit der Explosion der Möglichkeiten mit dem Personalcomputer und dessen Preissturz hat sich seit Mitte der 80-iger Jahre die Situation grundlegend geändert. Die Leistungsfähigkeit der heutigen PC's und deren Vernetzungsfähigkeit erfüllt praktisch alle Wünsche des Messtechnikers in Bezug auf Flexi-

bilität, Speicherplatz, Interfacevarianten, Datenübertragung und Nutzung handelsüblicher Software und Kostenrahmen. Dem Programmierer erschliessen sich mit modernen strukturierten Sprachen effektive Arbeitsmittel, die früher nur Grossrechner leisten konnten.

### 3. EDV-Bedürfnisse

Mit der Vielfalt der neuen Rechner und Möglichkeiten wird eine Auswahl entsprechend den eigenen Bedürfnissen und Wünschen notwendig.

Es ist zu bedenken, dass wegen der rasanten Entwicklungsgeschwindigkeit auf dem PC-Markt, das Gerät, das man gerade erstanden hat, bereits veraltet und überholt ist. Eine Aufwärtskompatibilität ist deshalb von besonderer Wichtigkeit.

Da wir in der mechanischen Werkstoffprüfung relativ langsame Vorgänge zu messen und zu steuern haben und Flexibilität Vorrang hat, fiel die Wahl vor 2 Jahren für überwiegend messende Aufgaben auf einen voll IBM-kompatiblen PC-AT 286 mit Coprocessor, Harddisk und Farbmonitor. Wegen der Vielfalt der Interfacemöglichkeiten (mit Steckkarten bzw. externen Systemen) wurde das AT-BUS-Prinzip dem MACINTOSH vorgezogen. Um den PC notfalls schnell und bequem wechseln zu können und da bei der vorgesehenen Anwendung eine Datenübertragungsrate vom Interface zum PC von ca. 1 kHz genügte, wurde ein externes modular aufgebautes Interface-System (MIS) gewählt, das über die zweite parallele Druckerschnittstelle (LPT2) angeschlossen wird.

### 4. Potentialsonde

Das Potentialsondensystem ist im Prinzip eine Widerstandsmessung an einem elektrisch leitfähigen Körper mit einem Spannungsabgriff (Potential) an einer für das Messsignal möglichst geeigneten Stelle. Um auch die Veränderung innerer Fehlstellen in Metallen registrieren zu können, wurde das Gleichstromprinzip gewählt. Bei gut leitenden metallischen Werkstoffen ist der Widerstand und damit der Spannungsabfall über der Probe so klein, dass mit guter Hard- und Software gearbeitet werden muss, um z.B. eine gewünschte Auflösung von 0,01 mm Rissverlängerung zu erhalten. Den gesamten Versuchsaufbau zeigt Bild 1.

Was bei einem Bruchzähigkeitsversuch gemessen wird, ist in erster Linie eine Widerstandsänderung. Die Korrelation zwischen Widerstandsgrösse und Risslänge ist in der Regel nichtlinear und lässt sich für eine Bruchmechanikprobe entweder mit einer analytischen Lösung (z.B. Johnson-Formel) oder experimentell (z.B. durch Sägeschnitt in einem geometrisch ähnlichen Aluminiumblech) erstellen, s. Bild 2. Eine Widerstandsänderung durch Temperaturänderung der Probe wäh-

rend des Versuchs ist bei dem kurzzeitigen J-Integralversuch normalerweise gering, kann aber mit dem PC und einer Temperaturmessung in der Probe leicht softwaremässig korrigiert werden.

Die elastische und plastische Verformung der Probe erzeugt ebenfalls eine kleine Widerstandsänderung des Materials. Messungen hierzu an Proben im elastischen Bereich bzw. an einer Probe an der die Rissspitze ausgebohrt worden war, um Risswachstum zu verhindern, zeigt Bild 3. Man beobachtet in der Regel einen linearen Zusammenhang zwischen aufgebrachtener Kraft und Widerstandsänderung - bzw. vorgetäushtem Risswachstum - so dass sich auch hierzu rechnerische Kompensationsmöglichkeiten anbieten.

Bei der Belastung einer korrekt mit Ermüdungsriss versehenen Probe beobachtet man schon bei geringer Last eine sprunghafte Änderung der angezeigten Risslänge, s. Bild 4, die eindeutig nicht auf Risswachstum sondern auf Rissöffnung und Trennung der Rissflankenkontakte zurückgeführt werden kann. Deutlich belegt wird dieser Sachverhalt durch einen "Bruchzähigkeitsversuch" an einer lediglich angekerbten Probe, bei der dieser Anfangssprung fehlt, s. Bild 5, genauso wie z.B. bei Proben, die mit zu hoher Endlast angeschwungen wurden.

## 5. Vergleich Potentialsondenmessung und Teilentlastungsverfahren

### *Vorteile Potentialsonde:*

- Einrichtung und Messbetrieb für alle Arten von Risswachstum (Anrissbildung, Ermüdungsrisswachstum, Spannungsrisskorrosion und Bruchzähigkeitsmessung) nahezu identisch
- elektrisches, leicht zu automatisierendes Verfahren
- direkte online-Darstellung der Risslängenänderung bzw. Risswachstumsgeschwindigkeit
- stark reduzierte Anforderungen an Präzision der Kraft- bzw. Verformungsmessung im Vergleich zum Teilentlastungsverfahren
- keine Einschränkungen bei Brüchen im spröde-duktilen Übergangsbereich
- keine Einschränkungen bei höherer Prüftemperatur

### ***Vorteile Teilentlastungsverfahren:***

- keine elektrisch isolierten Einspannungen notwendig
- keine hochgenaue Widerstandsmesstechnik erforderlich
- keine Beschränkung auf elektrisch leitende Werkstoffe

Die relativ geringen Anforderungen an die Auflösung der Probenaufweitungsmessung bei der Potentialsondenmethode erlauben eine Messung auch durch die Bolzenachse, s. Bild 6 und Ausführung Bild 7, um bei hoher Prüftemperatur ausserhalb des Ofens mit einem normalen DMS-applizierten Clip messen zu können.

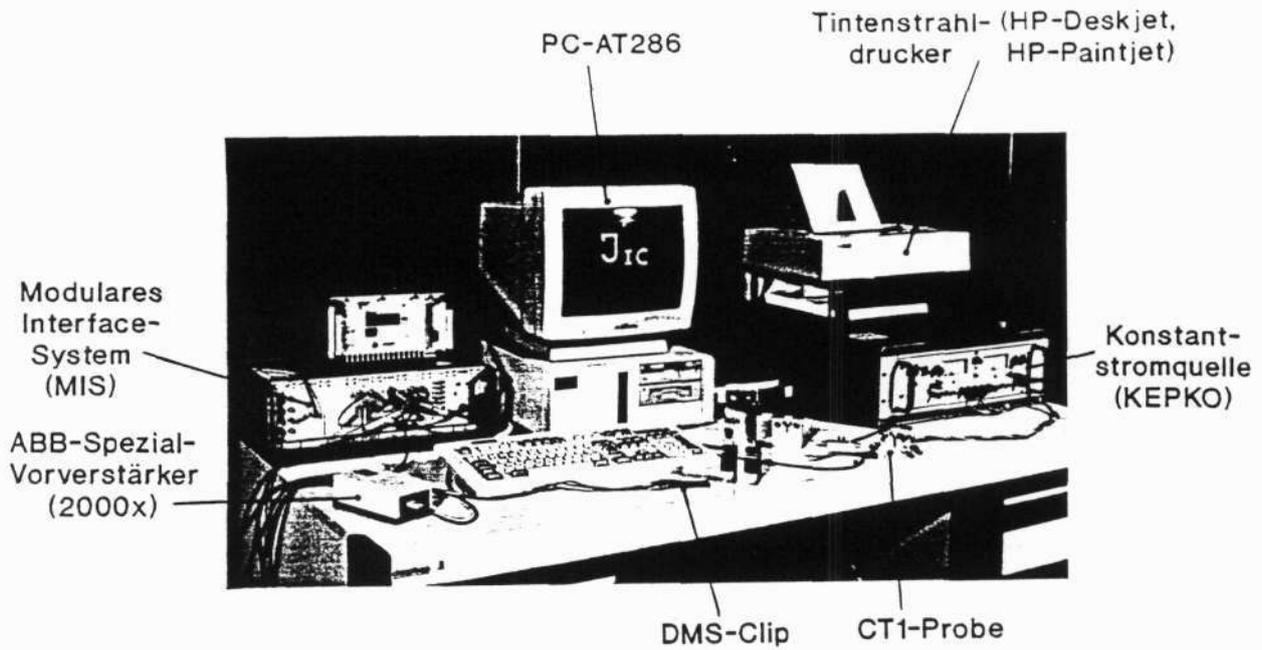
Bild 8 zeigt die über der Messwertnummer (bei konstanter Prüfgeschwindigkeit proportional zur Zeit) dargestellten Kraft- bzw. Risslängenänderungen und die Kraft-Verformungskurve einer Biegeprobe mit den für die J-Integral-Auswertung erforderlichen elastischen und plastischen Energieanteile.

## **6. Vorteile des PC-Einsatzes**

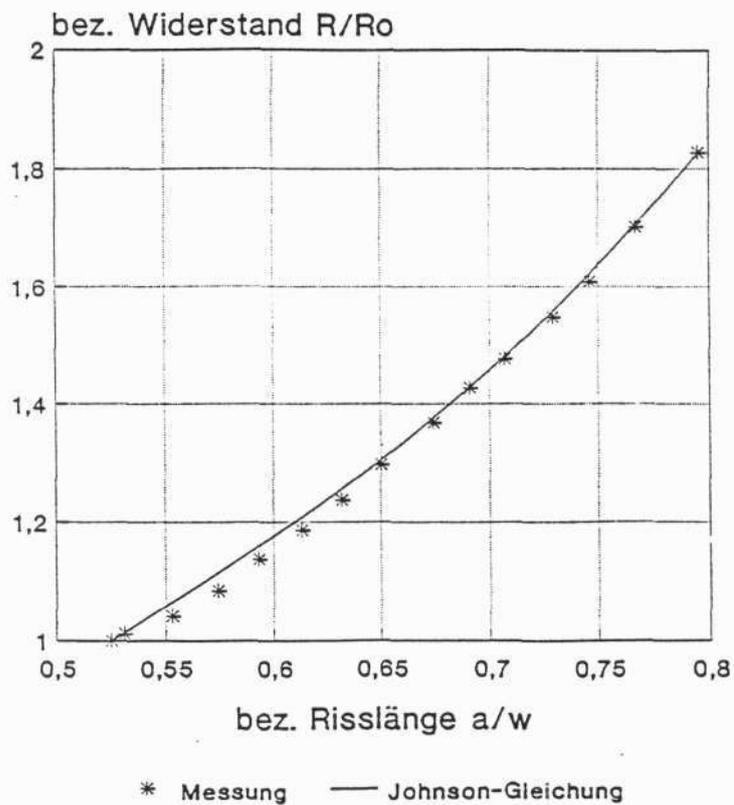
Unsere Mess- und Auswertungssoftware ist in Quick-BASIC geschrieben. Diese neue, strukturierte Programmiersprache ist den alten BASIC-Dialekten weit überlegen in Komfort und Möglichkeiten (z.B. Befehlsumfang, Grafik und Programmierhilfen). Die Programme laufen sowohl im Interpreter-Mode (Entwicklungsphase) als auch als übersetzte EXE-files. Das wesentliche know how der PC-gestützten Potentialsondenmessung zur Bruchzähigkeitsermittlung ist als wissensbasiertes System in der Software implementiert. Dazu gehören:

- Einführung in das Prinzip nach ASTM E399-83 und ASTM E813-87
- Erläuterung aller notwendigen Anschlüsse und Vorbereitungen
- Eingabe der Versuchs- und Steuerdaten und Angaben zur Probe
- Vorbereiten des Messsystems und Selbstkontrolle aller Anschlüsse
- Versuchssteuerung, Messwerverfassung und -speicherung
- Anleitung zur Auswertung, Darstellung, Ausdruck und Dokumentation der Ergebnisse auf Diskette
- Nachauswertung mit den effektiven Anfangs- und Endrisslängen aus der optisch ausgemessenen Bruchfläche gemäss ASTM E813-87

- Mit dem Abschluss des Versuchs ist auch die Auswertung und Dokumentation beendet (Zeitersparnis)
- Die Anpassung an Normen bzw. an deren Änderungen ist leicht möglich (Aktualisierung)
- Fast beliebige Rechenoperationen unter Einschluss nicht-linearer Zusammenhänge können integriert werden, ohne die Messgeschwindigkeit wesentlich zu beeinträchtigen
- Auswertefehler werden praktisch vermieden
- Zur Reduzierung der Streuung der Einzelmesswerte können online statistische Verfahren integriert werden
- Mit der Implementierung des Spezialisten-know-hows in die Software wird die Flexibilität des Labors erhöht und die Abhängigkeit von nur einfach besetzten Spezialistenstellen reduziert.



**Bild 1:** Versuchsaufbau für Potentialsondenmessungen



Korrelation Widerstand-Risslänge

$$[R/R_0] = 1.37 - 3.21 \cdot (a/B) + 4.74 \cdot (a/B)^2$$

**Bild 2:** Kalibrierfunktion für CT1-Probe

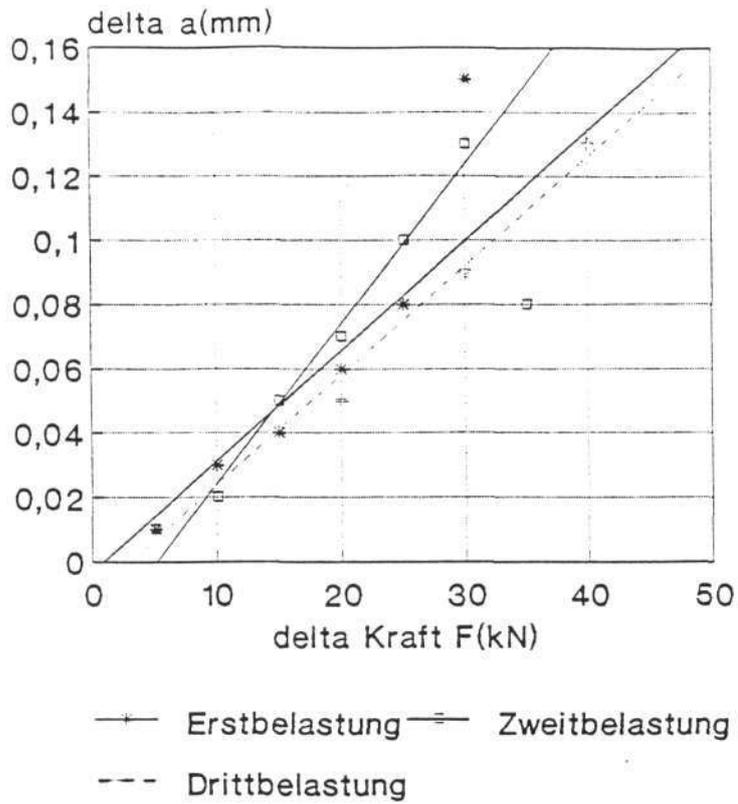


Bild 3: "elastische" Potentialänderung

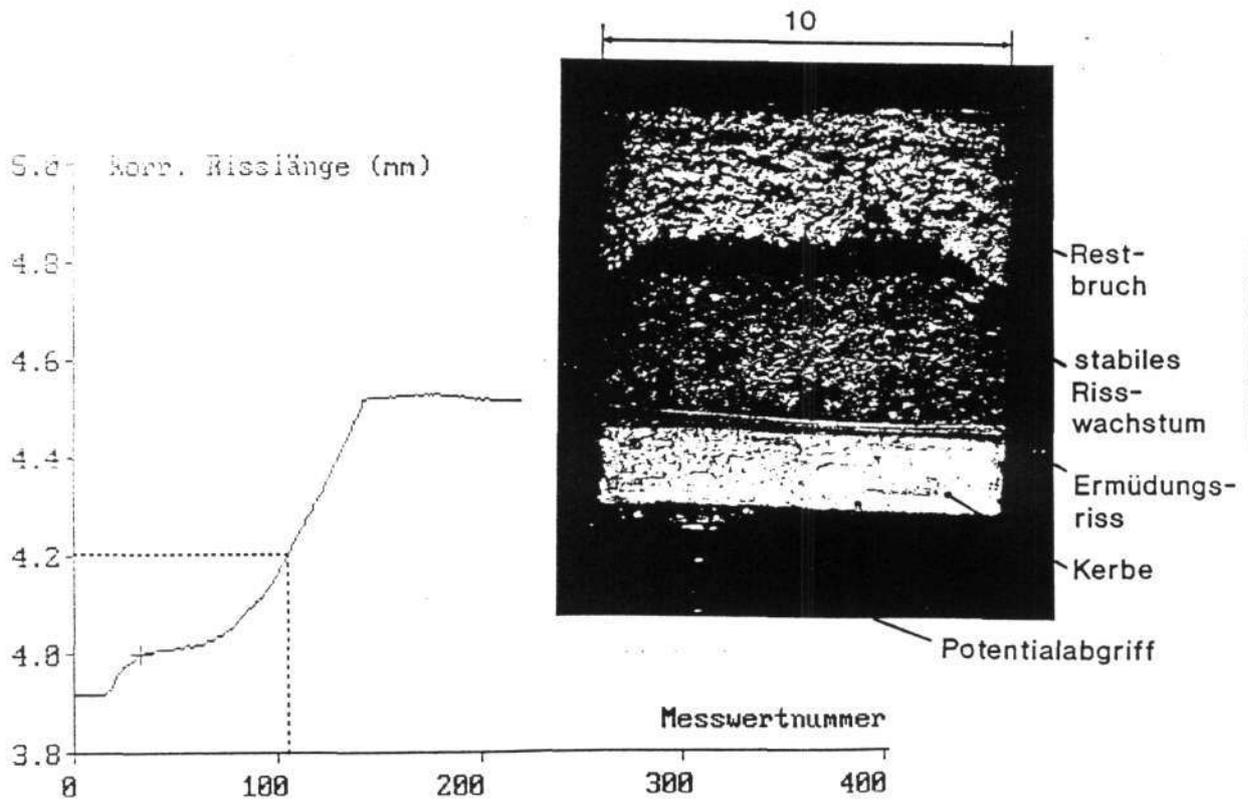


Bild 4: Potentialverlauf einer Probe mit Ermüdungsriß



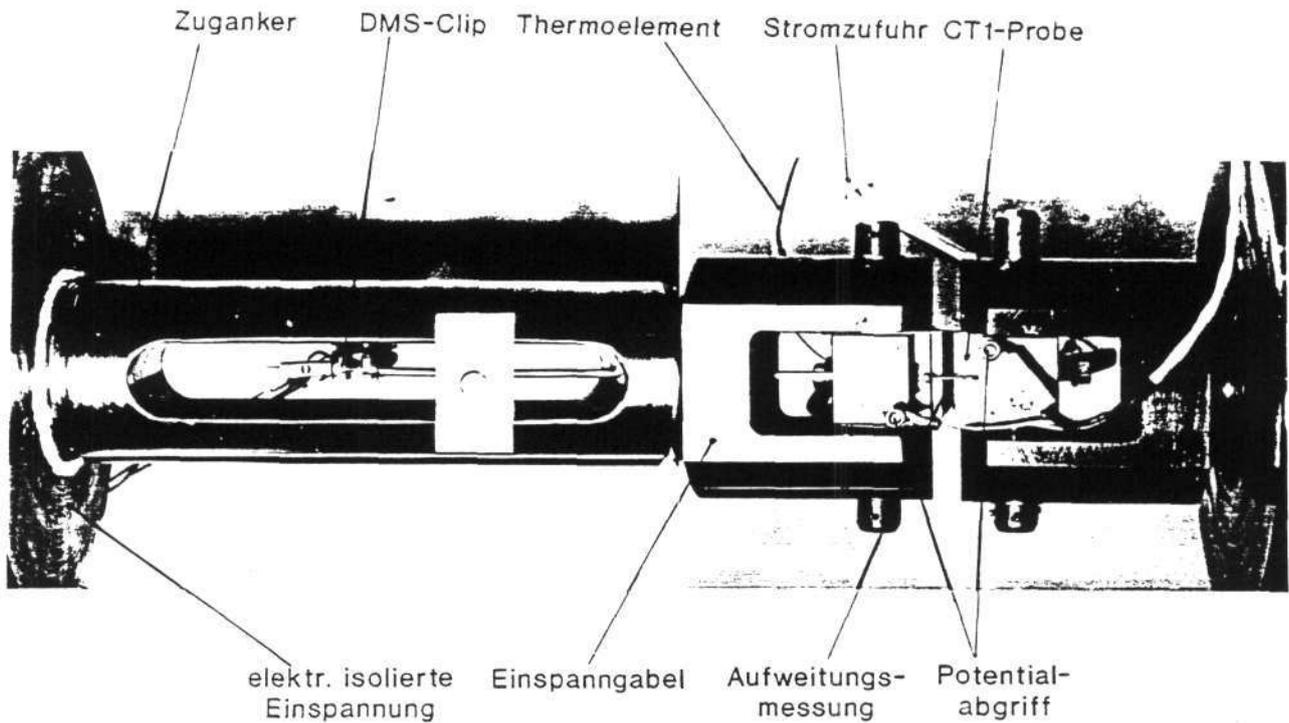


Bild 7: Versuchsaufbau Bruchzähigkeitsmessung

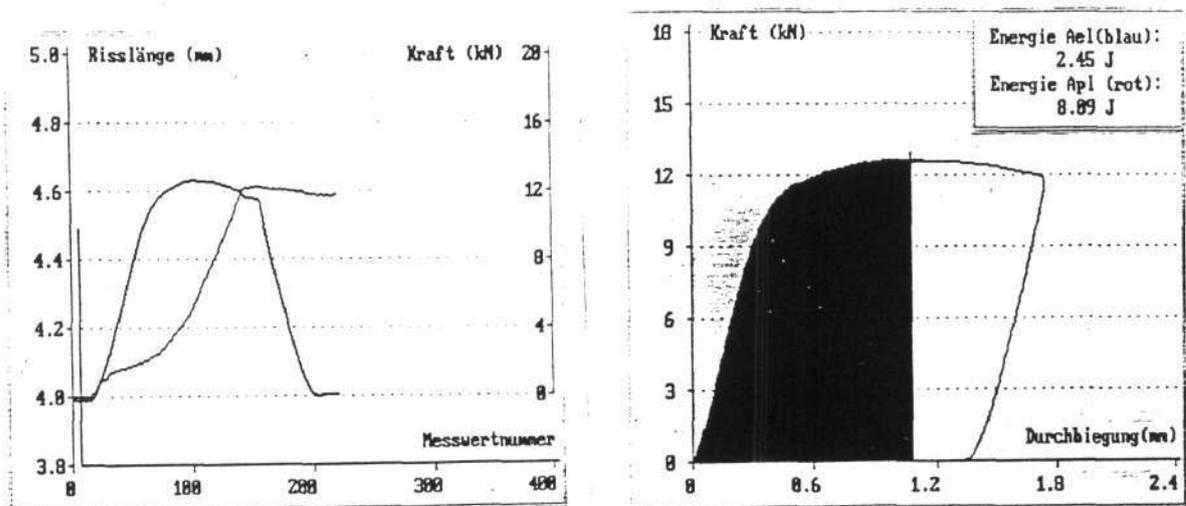


Bild 8: Kraft- bzw. Risslängenänderung und Energiebilanz