

507 | Dezember 1990

SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

Hans Paetzold

Schädigungsparameter- Wöhlerlinien für normal- und höherfesten Schiffbaustahl

TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg

Schädigungsparameter-Wöhlerlinien für normal- und höherfesten Schiffbaustahl

Hans Paetzold, Hamburg, Technische Universität Hamburg-Harburg, 1990

ISBN: 3-89220-507-8

© Technische Universität Hamburg-Harburg
Schriftenreihe Schiffbau
Schwarzenbergstraße 95c
D-21073 Hamburg

<http://www.tuhh.de/vss>

INSTITUT FÜR SCHIFFBAU DER UNIVERSITÄT HAMBURG
Bericht Nr.507

SCHÄDIGUNGSPARAMETER- WÖHLERLINIEN FÜR
NORMAL- UND HÖHERFESTEN SCHIFFBAUSTAHL

von

Hans Paetzold

Dezember 1990

Inhaltsübersicht

	Seite
1. Aufgabenstellung	1
2. Voraussetzungen für die Durchführungen	2
3. Planung und Ablauf des Vorhabens	2
4. Technisch-wissenschaftlicher Stand	3
5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen	5
6. Ergebnisse	
6.1 Versuchsprogramm	5
6.2 Werkstoff	6
6.3 Herstellung der Proben	6
6.4 Versuchsdurchführung	7
6.5 Versuchsauswertung	8
6.6 Bewertung der Untersuchungsergebnisse	8
7. Voraussichtlicher Nutzen und Beurteilung der Ergebnisse	13
8. Fortschritte während der Bearbeitungszeit an anderen Stellen	14
9. Veröffentlichung der Ergebnisse	14
10. Schrifttum	15
11. Anhang	
Tabellen und Abbildungen	17

1. Aufgabenstellung

Das Vorhaben "Erstellen von Schädigungsparameter-Wöhlerlinien für normal- und höherfesten Schiffbaustahl" ist Teil des Gesamtvorhabens "Zukünftige Dimensionierung und Gestaltung der Schiffskonstruktion".

Das Ziel des Vorhabens ist das Bereitstellen von Grundlagen für eine Lebensdauerberechnung nach dem Kerbgrundkonzept. Es steht damit im Verbund mit einem Vorhaben, in dem die Beanspruchungen im Bereich der Kerbstellen analysiert werden. Die Ergebnisse fließen ein in ein weiteres Vorhaben, in dem die Konzepte der rechnerischen Lebensdauer vorhersage an Bauteilmodellen experimentell überprüft werden. Ferner dienen sie als Grundlage der rechnerischen Lebensdauer vorhersagen für ausgewählte Bereiche der Schiffskonstruktion in einem anderem Vorhaben.

Das Konzept der Lebensdauer vorhersage auf der Basis der elasto-plastischen Kerbgrundbeanspruchung ist grundsätzlich vorhanden und für Kerben im Bereich des Grundwerkstoffs als anwendbar anerkannt. Es beinhaltet im wesentlichen die drei in Abb. 1 dargestellten Grundbausteine.

Die Bausteine 1 und 2 ermöglichen es, den Spannungs-Dehnungsverlauf im Kerbgrund bei gegebener Geometrie und Lastfolge zu bestimmen. Als Information über das Werkstoffverhalten werden zyklische Spannungs-Dehnungskurven benötigt.

Das dem Spannungs-Dehnungsverlauf zugeordnete Schädigungs- und Versagensverhalten liefert Baustein 3. Hierfür werden Basisdaten in Form von Dehnungswöhlerlinien für Einstufenbelastung benutzt. Als Schädigungsereignis werden geschlossene Hysteresisschleifen definiert. Darüber hinaus wurden sogenannte "Schädigungsparameter" entwickelt, bei deren Anwendung die Lebensdauerlinie für unterschiedliche

Mitteldehnungen bei vielen Werkstoffen zu einer Linie zusammenfallen.

Für die Anwendung des Kerbgrundkonzepts auf schiffbauliche Konstruktionen fehlen sowohl zyklische Spannungs-Dehnungskurven als auch Dehnungs- bzw. Schädigungsparameter-Wöhlerlinien. Aufgabe des Vorhabens war es, diese Daten bereitzustellen.

2. Voraussetzungen für die Durchführungen

Die wissenschaftlichen Arbeiten wurden vom 1.8.1988 bis 31.12.1989 von Herrn Dr.-Ing. H. Paetzold durchgeführt.

Für die experimentellen Untersuchungen standen die erforderlichen servohydraulischen und elektronischen Komponenten aus dem bei der Forschungsstelle vorhandenen System "Hydropuls" der Firma Schenck AG, Darmstadt zur Verfügung. Ein zusätzlich erforderliches Prüfgestell sowie eine Schmelzbadeinspannung wurde im Eigenbau erstellt.

Die Versuchsleitung lag in den Händen von Dipl.-Ing. A. Krohn, wissenschaftlich verantwortlich für das Vorhaben war Prof. Dr.- Ing. H. Petershagen.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben umfaßt im wesentlichen experimentelle Untersuchungen. Der Umfang wurde unter Berücksichtigung der in |9| angegebenen Daten festgelegt. Variiert wurden die Parameter Werkstoff und Zustand der freien Blechkante. Im einzelnen wurden normal- und höherfester Schiffbaustahl sowie brenn- und plasmageschnittene, gestanzte und nachgearbei-

tete Kanten einbezogen.

Die Arbeiten konnten planmäßig durchgeführt und abgeschlossen werden.

4. Technisch-wissenschaftlicher Stand

Hier sollen kurz die wichtigsten Elemente der Lebensdauer vorhersage nach dem Kerbgrundkonzept beschrieben und der jeweils erreichte Stand dargestellt werden.

Der Zusammenhang zwischen äußerer Last und den Kerbbeanspruchungen wird in Baustein 1 beschrieben. Für die praktische Anwendung werden meist Näherungsformeln eingesetzt. Bewährt hat sich dabei die Formel nach Neuber [1].

Das zyklische Spannungs-Dehnungsverhalten, im allgemeinen an ungekerbten Proben bei einachsiger Beanspruchung ermittelt, wird in Baustein 2 beschrieben. In der Regel werden die dazu notwendigen Versuche bei konstanter Dehnung durchgeführt. Bestimmt wird die Spannungsamplitude im stabilisierten Zustand.

Der Hysteresisschleifenast wird nach [2,3] durch die verdoppelte zyklische σ - ϵ -Kurve beschrieben. Die Erstbelastungskurve ist durch die einfache σ - ϵ -Kurve gekennzeichnet. Ausgehend von den Dehnungsamplituden für elastische und plastische Verformung, Abb. 2, gilt für das zyklische Spannungs-Dehnungs-Diagramm die Ramberg-Osgood-Gleichung

$$\begin{aligned}\epsilon_{a,tot} &= \epsilon_{a,el} + \epsilon_{a,pl} \\ &= \frac{\sigma_a}{E} + \left(\frac{\sigma_a}{K'} \right)^{1/n'}\end{aligned}$$

Die Bausteine 1 und 2 ermöglichen die Berechnung des Kerbgrund-Spannungs-Dehnungsverlaufs für eine gegebene Geometrie mit Lastfolge. Das diesem Spannungs-Dehnungsverlauf zugeordnete Schädigungs- und Versagensverhalten liefert Baustein 3.

Für die Beschreibung der Dehnungswöhlerlinie im Baustein 3 hat sich die von Morrow [4] und Manson [5] vorgeschlagene Form bewährt. Die totale Dehnungswöhlerlinie läßt sich danach durch eine Überlagerung der elastischen und plastischen Anteile darstellen (Abb. 3).

$$\begin{aligned}\epsilon_{a,tot} &= \epsilon_{a,el} + \epsilon_{a,pl} \\ &= \frac{\sigma_f'}{E} (2N)^b + \epsilon_f' (2N)^c\end{aligned}$$

Als Schädigungsereignis werden geschlossene Hysteresis-schleifen definiert. Von verschiedenen vorgeschlagenen Schädigungsparametern liefert der Parameter P_{SWT} von Smith, Watson, Topper [6] die besten Ergebnisse.

$$P_{SWT} = \sqrt{(\sigma_a + \sigma_m) \cdot \epsilon_a \cdot E} = \sqrt{\sigma_{max} \cdot \epsilon_a \cdot E}$$

Weiterer Bestandteil von Baustein 3 ist die Annahme einer linearen Schadensakkumulation [7,8]. In jüngster Zeit gibt es Bestrebungen, eine lastfolgeabhängige Schädigung zu berücksichtigen.

Wesentliches Merkmal des Kerbgrundkonzepts ist die Bewertung der Anrißlebensdauer auf der Basis der örtlichen Beanspruchung an der anrißkritischen Stelle unter Einbeziehung örtlichen elastisch-plastischen Werkstoffverhaltens. Damit eröffnet sich ein Weg, die in der Schiffskonstruktion unter betriebsüblichen Beanspruchungen stellenweise auftretenden

örtlichen Plastizierungen bezüglich ihrer Einwirkung auf die Lebensdauer abzuschätzen. Anhand einer Längsspantdurchführung wird in |9| die Brauchbarkeit dieses Konzeptes für die Belange der schiffbaulichen Konstruktion gezeigt. Dazu wurden zyklische Werkstoffdaten für geschliffene und brenn-geschnittene Kanten an normalfestem Schiffbaustahl erstellt.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das Vorhaben wurde in Zusammenarbeit mit dem Germanischen Lloyd und verschiedenen Werften durchgeführt. Die Zusammenarbeit betraf insbesondere die Auswahl der Parameter.

Die Proben wurden unter werftüblichen Bedingungen von der Blohm & Voss AG Hamburg aus gestrahlten und geprimerten Schiffbaublechen geschnitten.

6. Ergebnisse

6.1 Versuchsprogramm

Insgesamt wurden 9 Serien mit 97 Einzelversuchen in die Untersuchung einbezogen.

Stahl GL-A24

- Brennschnitt, nicht nachgearbeitet
- Brennschnitt, nachgearbeitet und Kante gebrochen
- Unterwasser-Plasma-Schnitt, nicht nachgearbeitet
- Unterwasser-Plasma-Schnitt, nachgearbeitet und Kante gebrochen

Stahl GL-D36

- Brennschnitt, nicht nachgearbeitet
- Brennschnitt, nachgearbeitet und Kante gebrochen
- Unterwasser-Plasma-Schnitt, nicht nachgearbeitet

- Unterwasser-Plasma-Schnitt, nachgearbeitet und Kante gebrochen
- Gestanzt, nicht nachgearbeitet

6.2 Werkstoff

Bei den untersuchten Werkstoffen handelt es sich um einen normalfesten Schiffbaustahl, Gütegrad A sowie um einen höherfesten Schiffbaustahl, Gütegrad D. Die chemische Zusammensetzung und die Festigkeitswerte sind in Tabelle 1 angegeben.

6.3 Herstellung der Proben

Zur Herstellung der speziellen Proben für die Ermittlung der zyklischen Werkstoffdaten wurden auf die erworbene Erfahrung in |9| zurückgegriffen. Die Proben entstanden aus "Doppelproben" (Abb. 4), die durch werftübliche Trennverfahren aus dem Schiffbaublech herausgetrennt wurden. Als Trennverfahren wurden eingesetzt:

Brennschneiden

Unterwasser-Plasma-Schneiden mit Stickstoff als Trägergas
Stanzen.

Die Rauigkeitswerte der thermischen Trennverfahren sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Das Nacharbeiten mit Kantenbrechen wurde ebenfalls von der Werft übernommen, um einen Bezug zur Praxis zu haben. Unter der hier benutzten Bezeichnung "nachgearbeitet und Kante gebrochen" wird eine Arbeitsausführung mit einem Axialschleifer und Korund-Schleifstiften verstanden. Diese Art des Beschleifens der Schnittflächen stammt aus der Vorarbeit zum Konservieren der Bauteile.

Im Institut für Schiffbau wurden die Doppelproben durch

einen Sägeschnitt halbiert. Durch individuelles Ausmessen der Proben konnte durch einen Fräsvorgang auf der Gegenseite der erforderliche symmetrische Radius von 30 mm hergestellt werden. Somit lag eine Probe vor, deren eine Flanke die zu untersuchende Oberfläche aus dem Trennverfahren hatte und deren andere mechanisch bearbeitet war. Auf diese Weise wurde eine gegenseitige Beeinflussung der beiden Flanken bei der erforderlichen geringen Probenbreite von etwa 6 mm durch die thermischen Trennverfahren vermieden.

6.4 Versuchsdurchführung

Die dehnungskontrollierten Versuche wurden an Luft in einem für dieses Vorhaben erstellten Prüfgestell durchgeführt. Die servohydraulischen und elektronischen Komponenten stammen aus dem System "Hydropuls" der Firma Schenk AG, Darmstadt. Eine Schmelzmetallbadeinspannung (Eigenbau) sorgte für eine weitgehende biegemomentenfreie Einspannung.

Die Prüffrequenzen lagen zwischen 0.1 und 5 Hz.

Zur Messung der Verformung an den Proben wurde ein Extensometer auf DMS-Basis mit einer Meßlänge von 10 mm verwendet.

Als Anrißkriterium wurde ein Kraftabfall von ca. 3% festgelegt.

Die zyklische Veränderungen der mechanischen Größen wurden in Abhängigkeit von der Lastspielzahl mit einem Personal Computer erfaßt und standen nach Versuchsende zur weiteren Bewertung zur Verfügung.

6.5 Versuchsauswertung

Das zyklische Werkstoffverhalten wurde aus den gesamtdehnungskontrollierten Einstufenversuchen abgeleitet.

Zur Bestimmung der Dehnungswöhlerlinie wurde zunächst die elastische und plastische Dehnungswöhlerlinie durch lineare Regression beschrieben. Der plastische Dehnungsanteil wurde durch Ausmessen der Breite der Hysteresisschleife bestimmt. Durch Überlagerung des elastischen und plastischen Anteils wurde die totale Dehnungsamplitude gebildet.

Zur Beschreibung des Versagensverhaltens wurde der von Smith, Watson, Topper vorgeschlagene Schädigungsparameter gewählt.

In den Abbildungen 5 bis 22 sind die Ergebnisse der Auswertungen graphisch dargestellt.

6.6 Bewertung der Untersuchungsergebnisse

Die Änderungen des zyklischen Verhalten bei einem Werkstoff durch unterschiedliche Trennverfahren sind in den Dehnungswöhlerlinien schwierig auszumachen. Um die Versuchsergebnisse zu bewerten, ist es deshalb sinnvoller, die Schädigungsparameter-Wöhlerlinie näher zu betrachten. Sie hat den Vorteil, daß sowohl die Spannung als auch die Dehnung in die Bewertung eingehen.

Eine oft gestellte Frage ist die nach einer Verbesserung der Schwingfestigkeit durch ein Nacharbeiten der Schnittkanten. Aus dem Vergleich "nicht nachgearbeitet" und "nachgearbeitet und Kanten gebrochen" läßt sich hier sowohl beim Brennschnitt (Abb. 23 und 25) als auch beim Unter-

wasser-Plasma-Schnitt (Abb. 24 und 26) kein Unterschied feststellen. Dies gilt für beide Schiffbaustähle. Bei dem Stahl GL-A24 täuscht die Regressionsgerade einen positiven Trend vor. Doch zeigt der Vergleich der Einzelauswertungen (Abb. 8 und 10), daß die Streuung bei der "Nacharbeitung" zugenommen hat. Die Einzelergebnisse haben einen S-förmigen Verlauf um die Regressionsgerade.

Mit dieser neuen Kenntnis ist es vertretbar, für beide Stähle getrennt die Versuchsergebnisse weiter unabhängig vom thermischen Trennverfahren und der hier vorliegenden Nacharbeit zu betrachten. Dies ist in Abb. 27 für den Stahl GL-A24 und in Abb. 28 für den Stahl GL-D36 geschehen. Es ergeben sich folgende Regressionsgeraden:

GL-A24:

$$N = \left(\frac{P_{\text{SWT}}}{2668} \right)^{-4.812} \quad \text{mit einer Korrelation von } 97 \%$$

GL-D36:

$$N = \left(\frac{P_{\text{SWT}}}{2436} \right)^{-5.546} \quad \text{mit einer Korrelation von } 97 \%$$

Die einzige Vergleichsmöglichkeit liegt aus |9| für den normalfesten Schiffbaustahl mit Brennschnitt vor:

GL-A24:

$$N = \left(\frac{P_{\text{SWT}}}{1748} \right)^{-5.679} \quad \text{mit einer Korrelation von } 98 \%$$

Die Ergebnisse werden bestätigt.

Beim Vergleich der Verfahrensvarianten thermischer Trennschnitt gegenüber dem Trennen durch Stanzen kann ebenfalls kein Unterschied festgestellt werden. Die P_{SWT} -Linien sind praktisch gleich:

GL-D36 (gestanzt):

$$N = \left[\frac{P_{SWT}}{2526} \right]^{-5.390} \quad \text{mit einer Korrelation von 99 \%}$$

Für eine Lebensdauerabschätzung ist ferner das zyklische Werkstoffgesetz erforderlich. Die zyklischen Kennwerte K' bzw n' werden aus dem linearem Zusammenhang zwischen $\log \sigma_a$ und $\log \epsilon_{a,pl}$ abgeleitet. In den Abbildungen 29 und 31 sind die einzeln Versuchspunkte für die beiden Stähle eingetragen. Es deutet sich ein Abknicken der Geraden an. Plastische Dehnungen werden in diesem Bereich kaum noch wahrgenommen. Es kann sich keine Hysteresisschleife mehr ausbilden. In den Dehnungswöhlerlinien wird das dadurch ersichtlich, daß bei den Durchläufern ($N > 5 \cdot 10^6$) nicht mehr der plastische Anteil der Dehnung vorhanden ist. Dieses Werkstoffverhalten ist in |9| bereits beobachtet worden und wird in einer neueren Veröffentlichung |10| bei der Auswertung von Dehnungswöhlerlinien von glatten Proben für unlegierte und niedriglegierte Stähle bestätigt. In |10| wird daraus die Dauerfestigkeit abgeleitet, indem sie gleich der zyklischen Spannung bei einer plastischen Dehnungsamplitude $\epsilon_{a,pl} = 0.026\%$ gesetzt wird.

$$\sigma_D = K' \cdot \epsilon_{a,pl}^{n'} = K' \cdot (0.026 \cdot 10^{-2})^{n'}$$

Ist dieser Wert zutreffend, so müßte dies auf die Schädigungsparameter-Wöhlerlinie übertragbar sein, um dort eine Dauergrenze zu finden.

Für den Stahl GL-A24 mit thermischer Schnittkante ergibt sich:

$$K' = 981 \text{ N/mm}^2$$
$$n' = 0.1747$$

Aus der Dehnungsamplitude $\epsilon_{a,pl} = 0.026\%$ kann die dazugehörige Spannungsamplitude berechnet werden:

$$\sigma_a = K' \cdot \epsilon_{a,pl}^{n'} = 232 \text{ N/mm}^2$$

Die totale Dehnungsamplitude bei dieser Spannung läßt sich aus der Ramberg-Osgood-Gleichung ermitteln:

$$\epsilon_{tot} = 1.386 \cdot 10^{-3}$$

Für den Schädigungsparameter ergibt sich dann:

$$P_{SWT} = 257 \text{ N/mm}^2$$

Wie aus Abb. 27 zu sehen ist, liegt dieser Wert zu hoch. Andererseits ist dieser Wert vielleicht in einen Zusammenhang zu bringen, der auf ein Abweichen der Schädigungsparameter-Wöhlerlinie von dem linearen Verlauf im Kurz- bzw. Zeitfestigkeitsbereich hindeutet. In den Abbildungen 27 und 28 läßt sich dies vermuten. Bei den Untersuchungen in |9| ist dieser Effekt stärker aufgetreten. Dieser P_{SWT} -Verlauf ist zum Vergleich in Abbildung 27 eingetragen.

Der gleiche Weg wurde für den Stahl GL-D36 gewählt:

$$K' = 1103 \text{ N/mm}^2$$
$$n' = 0.1604$$
$$\sigma_a = 293.3 \text{ N/mm}^2$$
$$\epsilon_{tot} = 1.683 \cdot 10^{-3}$$
$$P_{SWT} = 319 \text{ N/mm}^2$$

Auch hier ist ebenfalls der P_{SWT} -Wert zu hoch (Abb. 28). Die Frage nach der anderen Neigung der P_{SWT} -Linie ab diesem

Knick in das "Dauerfestigkeitsgebiet" kann zur Zeit nicht befriedigend beantwortet werden. Aus diesem Bereich liegen noch nicht ausreichend Versuchsergebnisse vor.

Für die Anwendung bieten sich zur Zeit zwei andere Wege an. Der eine besteht darin, die Dauergrenze für die P_{SWT} -Linie so festzulegen, daß die Gerade aus dem Zeitfestigkeitsgebiet bis in das "Dauerfestigkeitsgebiet" verlängert wird und bei $N = 2 \cdot 10^6$ horizontal abknickt. Ein Grund hierfür wäre die konservative Abschätzung bei einer Schadensakkumulationsrechnung für veränderliche Amplitudenwerte auf der Basis der Palmgren-Miner-Regel, die mit dem Abknicken ein pauschales Gegengewicht erhält. Dieser Weg wurde in einigen Fällen mit unterschiedlichem Ergebnis beschritten |11|.

Aus den Untersuchungen in |11| läßt sich der auch der andere Weg ableiten. Hier werden für eine Reihe spezieller Lastfolgen brauchbare Lebensdauerabschätzungen erhalten, wenn die P_{SWT} -Linie aus der Zeitfestigkeit bis zur Hälfte des kennzeichnenden Wertes bei $2 \cdot 10^6$ Lastwechseln verlängert wird. Hierdurch werden Schädigungen unterhalb der Dauerfestigkeit, die vorhanden sind und sich noch einer analytischen Beschreibung entziehen, ebenfalls pauschal erfaßt.

Hinsichtlich der Anwendung auf schiffbauliche Konstruktionen wird weiterer Aufschluß über die zweckmäßige Vorgehensweise aus den Ergebnissen des Vorhabens MTK 0441 B erwartet.

Die zyklischen Spannungs-Dehnungs-Kurven mit dem Zustand thermisch geschnittener Blechkanten für die beiden Stähle sind in den Abbildungen 30 und 32 dargestellt. Sie zeigen eine Entfestigung des Werkstoffes im für die Anwendung interessanten Bereich. Dies ist typisch für Baustähle niedriger Festigkeit.

Eigentlich ist das nicht so gute Abschneiden der werft-üblich nachgearbeiteten Blechkanten im Schwingfestigkeitsverhalten überraschend. Der Grund dafür ist in der Schleiftechnik zu sehen. Um eine Steigerung der Schwingfestigkeit zu erreichen, muß der Kerbgrund der Schneidriefen erfaßt werden. Die Untersuchung in |9| zeigt, welche Steigerung erreicht werden kann. Ebenso sei verwiesen auf kraft-geregelte Versuche mit unterwasser-plasma-geschnittenen Blechkanten mit und ohne Nacharbeit |12|, wo gezielt die Schneidriefen bis auf den Kerbgrund weggeschliffen wurden. Mit dieser Maßnahme konnte annähernd die Schwingfestigkeit des Grundwerkstoffes erreicht werden.

7. Voraussichtlicher Nutzen und Beurteilung der Ergebnisse

Es war das Ziel dieses Vorhabens, zyklische Werkstoffdaten für die Vorhersage der Lebensdauer schiffbaulicher Konstruktionen zu erstellen. In die Untersuchung eingeschlossen waren ein normalfester sowie ein höherfester Schiffbaustahl mit Brennschnitt, Unterwasser-Plasma-Schnitt und gestanzte sowie nachgearbeitete Schnittkanten.

Die Untersuchungen ergaben, daß für die hier gewählten Parameter keine Unterschiede im Schwingfestigkeitsverhalten festgestellt werden können. Für die beiden Stähle lassen sich die Versuchswerte im Zeitfestigkeitsgebiet der Schädigungsparameter-Wöhlerlinie durch eine Gerade beschreiben.

Zur wichtigen Frage des Verhaltens im Bereich der Dauerfestigkeit werden pragmatische Vorgehensweisen aufgezeigt.

Mit den im Rahmen diese Vorhabens erarbeiteten Werkstoffdaten wurde eine Lücke in den Voraussetzungen zur Anwendung

des Kerbgrundkonzeptes auf die Bestimmung der Lebensdauer schiffbaulicher Konstruktionen geschlossen. Die Anwendung des Konzepts läßt eine wesentlich verbesserte Beurteilung der Betriebsfestigkeit von Konstruktionen im Bereich des Grundwerkstoffs und damit Fortschritte in Richtung einer Optimierung der Konstruktion erwarten. Typische Anwendungsfälle sind Decksausschnitte im Bereich von Lukenecken, Ausschnitte in tragenden Wänden und Trägerstegen, Wasserlauflöcher u.v.a.. Im Rahmen des Gesamtvorhabens werden Bauteiluntersuchungen unter Verwendung der hier mitgeteilten Werkstoffdaten zu einer weiteren Absicherung des Konzeptes führen. Über im Rahmen des Gesamtvorhabens geplante rechnerische Lebensdauervorhersagen für ausgewählte Konstruktionen hinaus läßt sich das Verfahren unter Einschluß der hier mitgeteilten Ergebnisse so aufarbeiten, daß es in der Praxis direkt angewendet werden kann.

8. Fortschritte während der Bearbeitungszeit an anderen Stellen

Am Kerbgrundkonzept wird an verschiedenen Stellen weitergearbeitet. Die während der Bearbeitungszeit bekannt gewordenen Arbeiten beziehen sich insbesondere auf den Bereich hoher Lastspielzahlen. Die Ergebnisse wurden bei der Bearbeitung des hier beschriebenen Vorhabens berücksichtigt.

9. Veröffentlichung der Ergebnisse

Über die Ergebnisse wird auf dem 13. Statusseminar des BMFT im Oktober 1990 berichtet. Darüber hinaus ist eine Veröffentlichung in der Reihe der Berichte des Instituts für Schiffbau der Universität Hamburg vorgesehen.

10. Schrifttum

- |1| Neuber, H.
Theory of Stress Concentration for Shear-Strained Prismatical Bodies with Arbitrary Nonlinear Stress-Strain Law
J. of Applied Mech., Trans. ASME, 1961, Vol. 28,
pp. 544-550
- |2| Masing, G.
Eigenspannungen und Verfestigung beim Messing
Proc. of the 2nd. Intern. Congress of Applied Mechanics,
1926, pp. 332-335
- |3| Halford, G.R.; Morrow, J.D.
Low Cycle Fatigue in Torsion
Proc. of the ASTM, Vol. 62, pp. 697-707
- |4| Morrow, J.D.
Cyclic Plastic Strain Energy and Fatigue of Metals
ASTM STP No. 378, pp. 45-87, 1965
- |5| Manson, S.S.
Fatigue: A Complex Subject - Some Simple Approximations
Experimental Mechanics, Vol. 5, 7, pp. 193-226 (1965)
- |6| Smith, K.N.; Watson, P.; Topper, T.H.
A Stress-Strain Function for the Fatigue of Metals
Journal of Materials, Vol. 5, No. 4 (1970), S. 767-778
- |7| Palmgren, A.
Die Lebensdauer von Kugellagern
VDI-Z. 58 (1924), S. 339-341

- |8| Miner, M.A.
Cumulative Damage in Fatigue
Trans. ASME, J. Appl. Mech. 12 (1945), S. 159-164
- |9| Paetzold, H.
Beurteilung der Betriebsfestigkeit von Längsspanndurchführungen auf der Grundlage der örtlichen Dehnung
Institut für Schiffbau der Universität Hamburg,
Bericht Nr. 455 (1985)
- |10| Liu, J; Zenner H.
Dauerschwingfestigkeit und zyklisches Werkstoffverhalten
Mat.-wiss. u. Werkstofftechnik 20, S.327-332 (1989)
- |11| Heuler P.; Seeger T.
Verkürzung von Last-Zeit-Folgen für den Betriebsfestigkeitsnachweis auf der Grundlage örtlicher Beanspruchungen
Materialprüfung, Bd. 27, Nr. 6, (1985), S. 156-162
- |12| Paetzold H.
Beitrag zur Gütesicherung unterwasser-plasmageschnittener Blechkanten in der Schiffskonstruktion
Forschungszentrum des Deutschen Schiffbaus,
Bericht Nr. 211/89

11. Anhang

Tabellen und Abbildungen

Tabelle 1

Werkstoffkennwerte (Herstellerangaben)

Chemische Zusammensetzung in Gew. %

Stahl	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ni	Sn	Al
GL-A24	0.10	0.26	1.06	0.016	0.012	0.03	0.01	0.02	0.020	0.040
GL-D36	0.14	0.19	1.27	0.020	0.018					0.038

Statische Festigkeitswerte

Stahl	$R_{p0.2}$ [N/mm ²]	R_m [N/mm ²]	A_5 [%]
GL-A24	334	458	28
GL-D36	454	569	30

Tabelle 2

Rauhigkeitswerte der Schnittkanten aus den thermischen Trennverfahren

Stahl	thermisches Trennverfahren	Rauhigkeit [μm]	
		R_t	R_a
GL-A24	Brennschnitt	30 - 60	5 - 14
	Unterwasser-Plasma-Schnitt	8 - 15	2 - 5
GL-D36	Brennschnitt	50 - 100	15 - 30
	Unterwasser-Plasma-Schnitt	5 - 11	2 - 5

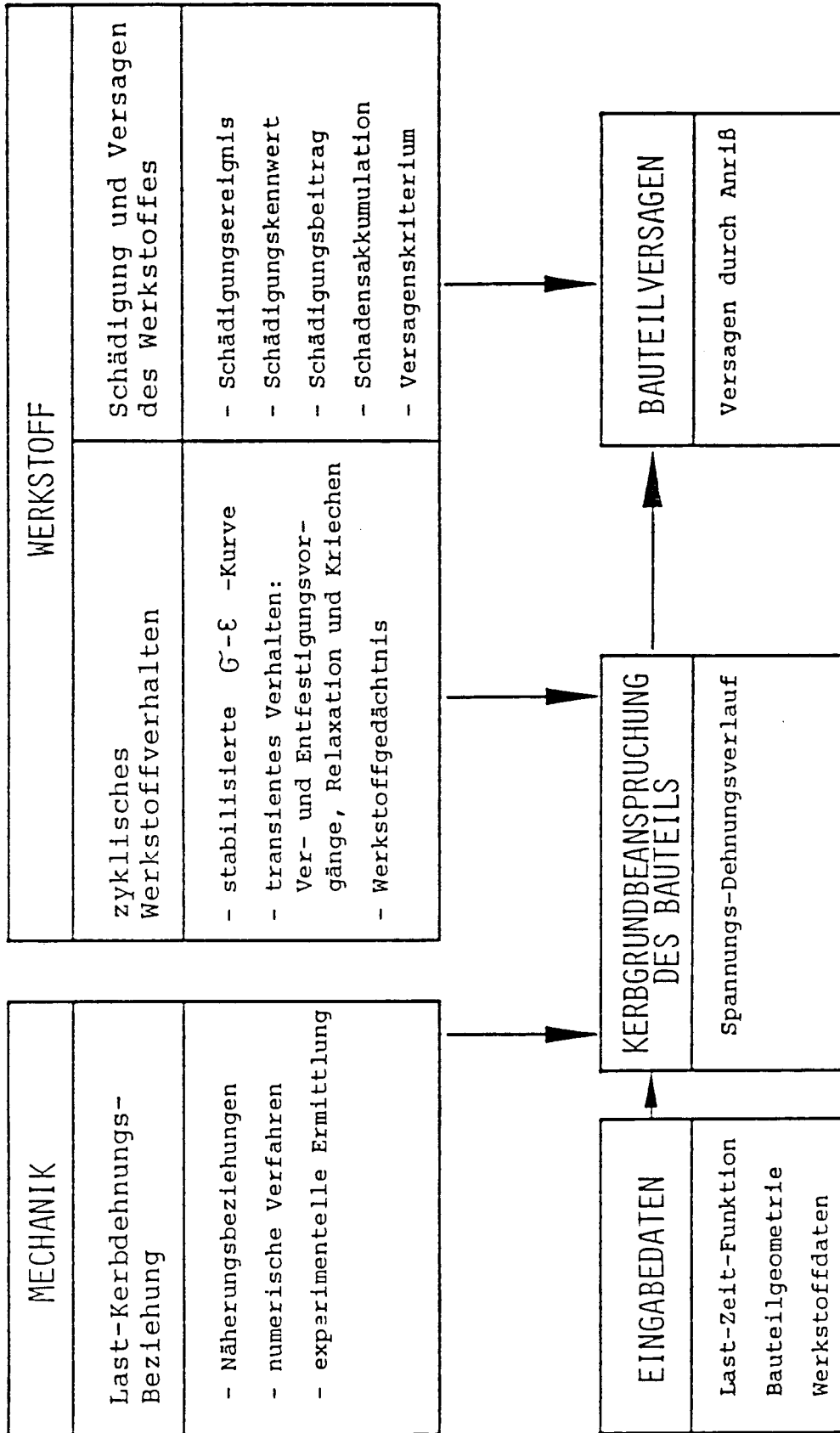


Abb. 1
Schematische Darstellung des örtlichen Konzepts

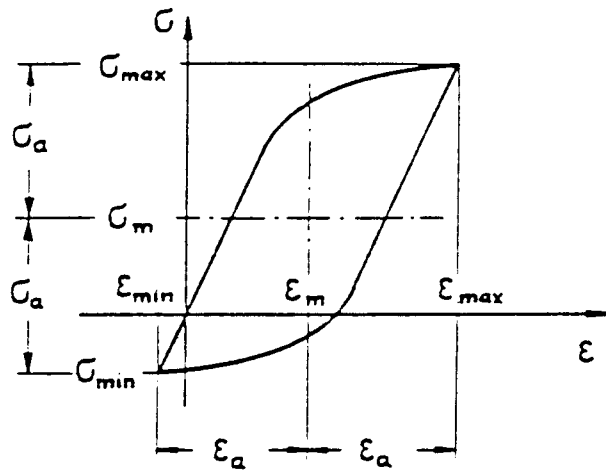


Abb. 2
Kenngrößen der Hysteresisschleife

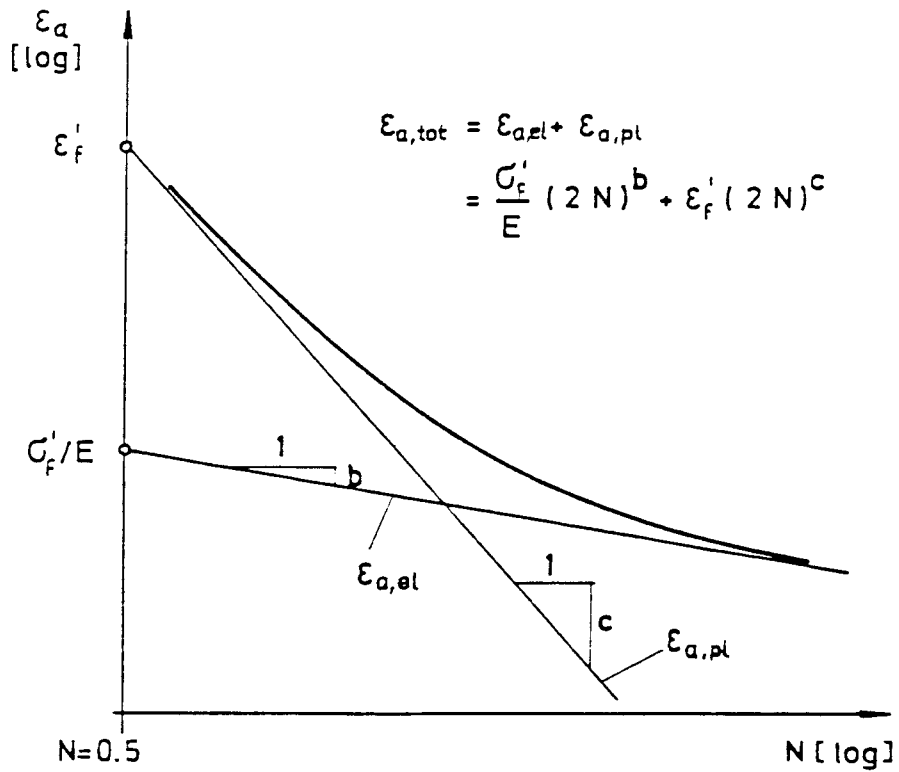
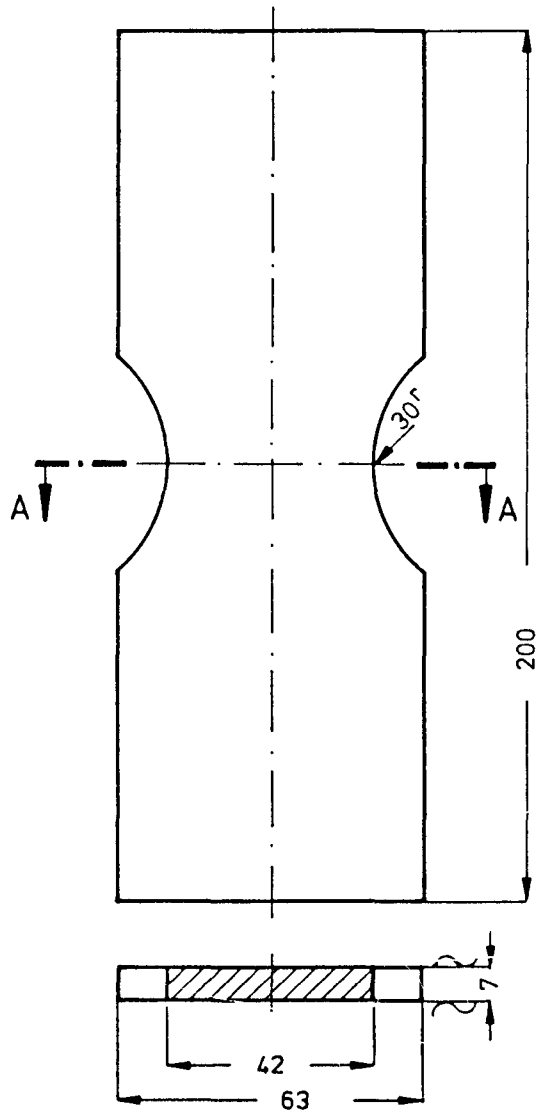


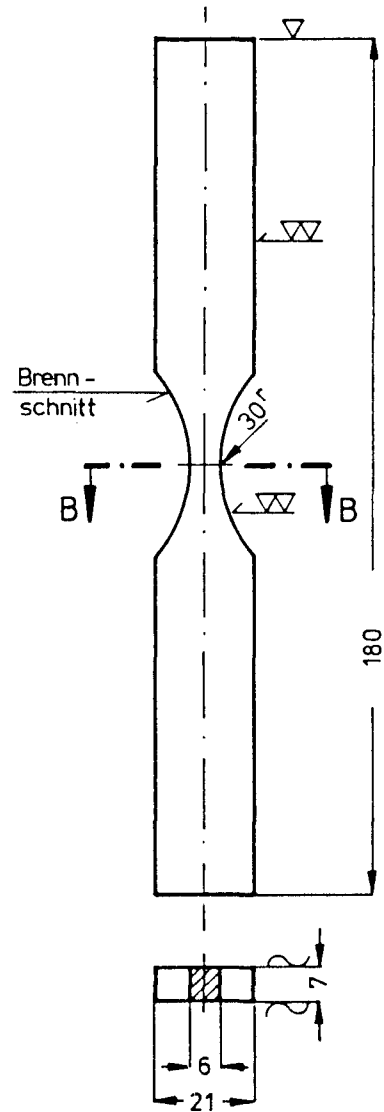
Abb. 3
Dehnungswöhlerlinie nach Morrow und Manson

Vorlage für Brennschnitt



Schnitt A - A

herausgearbeitete Probe



Schnitt B - B

Abb. 4
Probenform (Beispiel Brennschnitt)

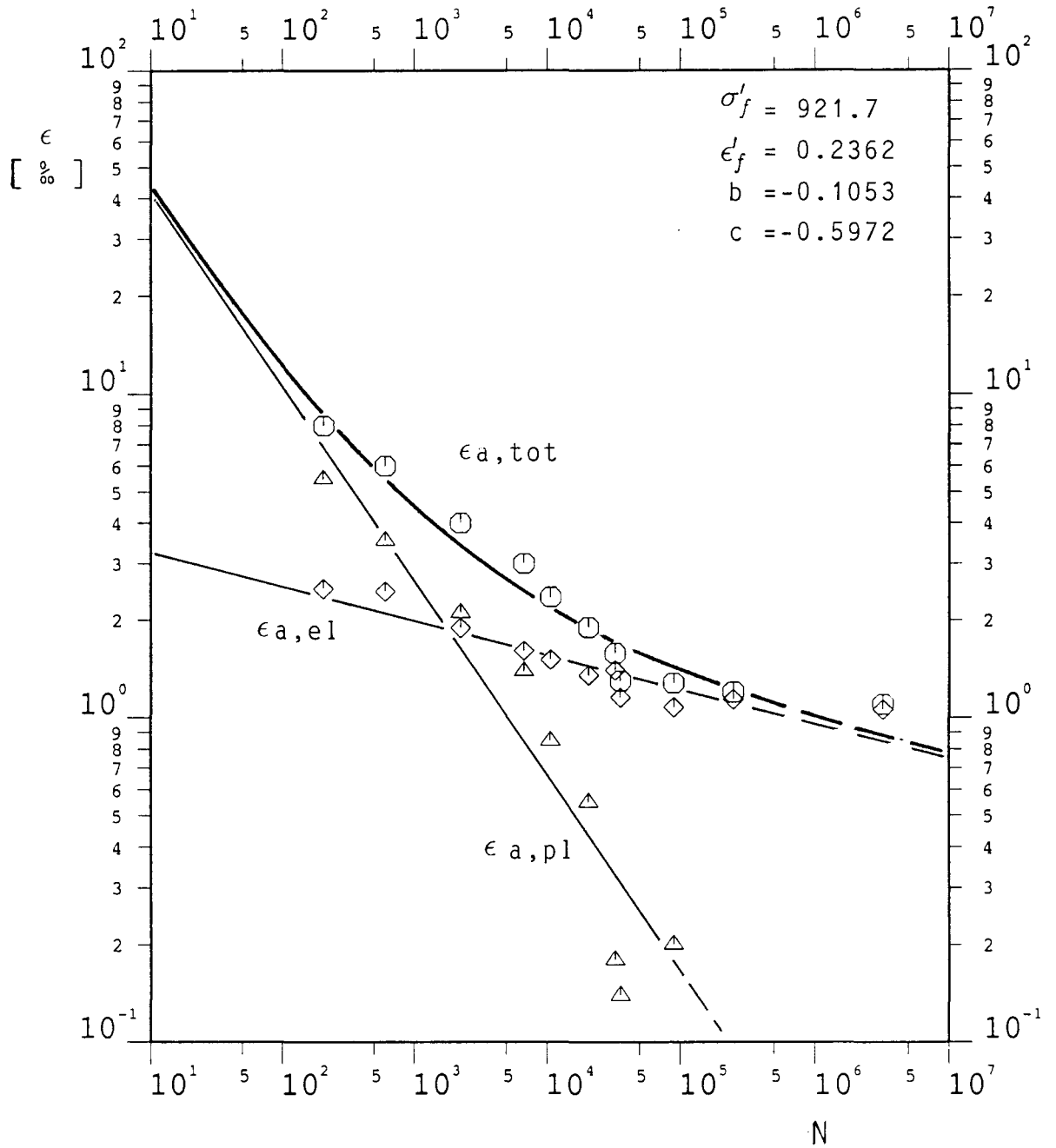


Abb. 5
Dehnungswöhlerlinie (Anriß) für den Stahl GL-A24
mit Brennschnitt

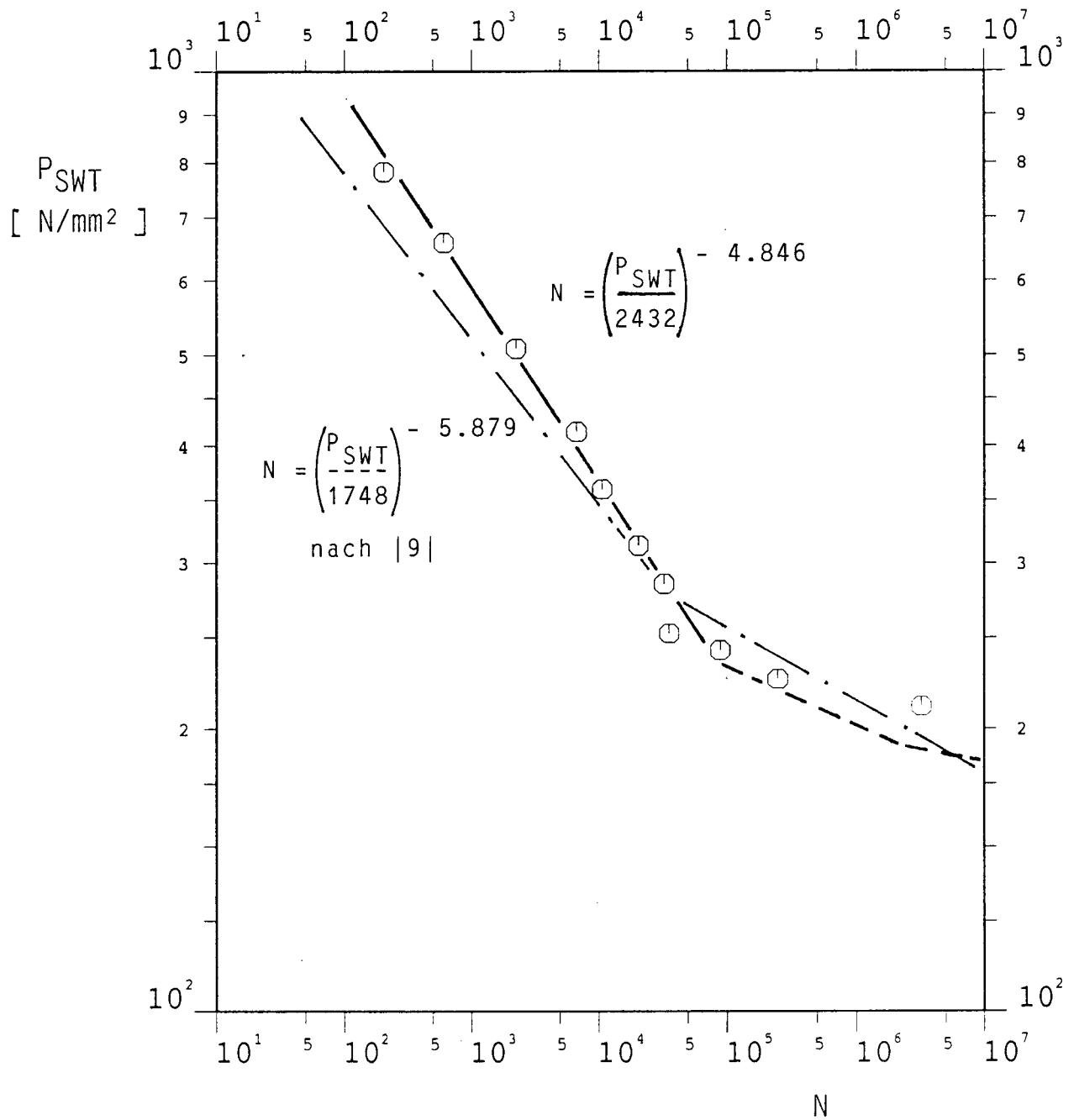


Abb. 6
Schädigungsparameter-Wöhlerlinie (Anriß) für den Stahl GL-A24
mit Brennschnitt

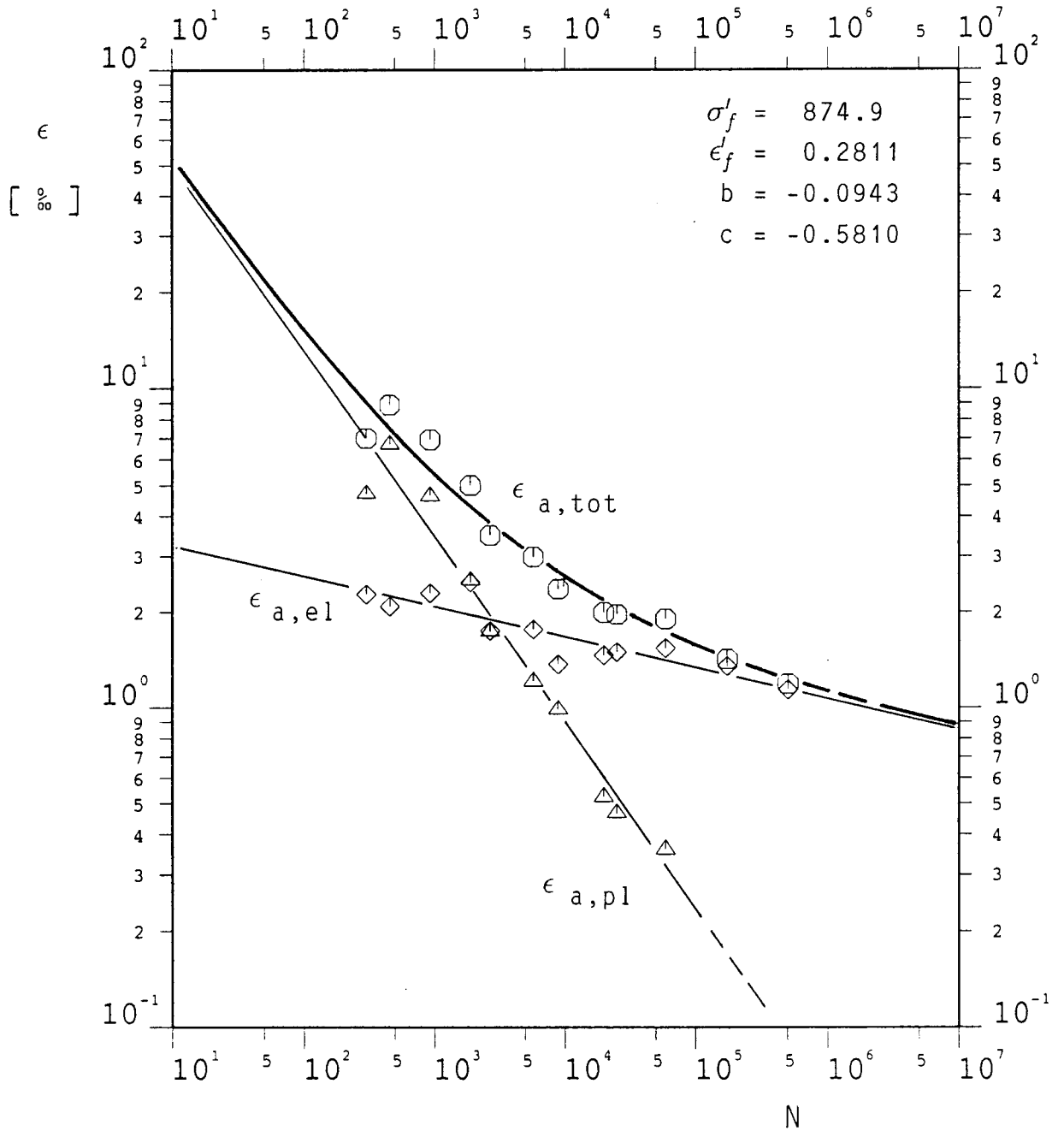


Abb. 7
Dehnungswöhlerlinie (Anriß) für den Stahl GL-A24
mit Brennschnitt, nachgearbeitet und Kanten gebrochen

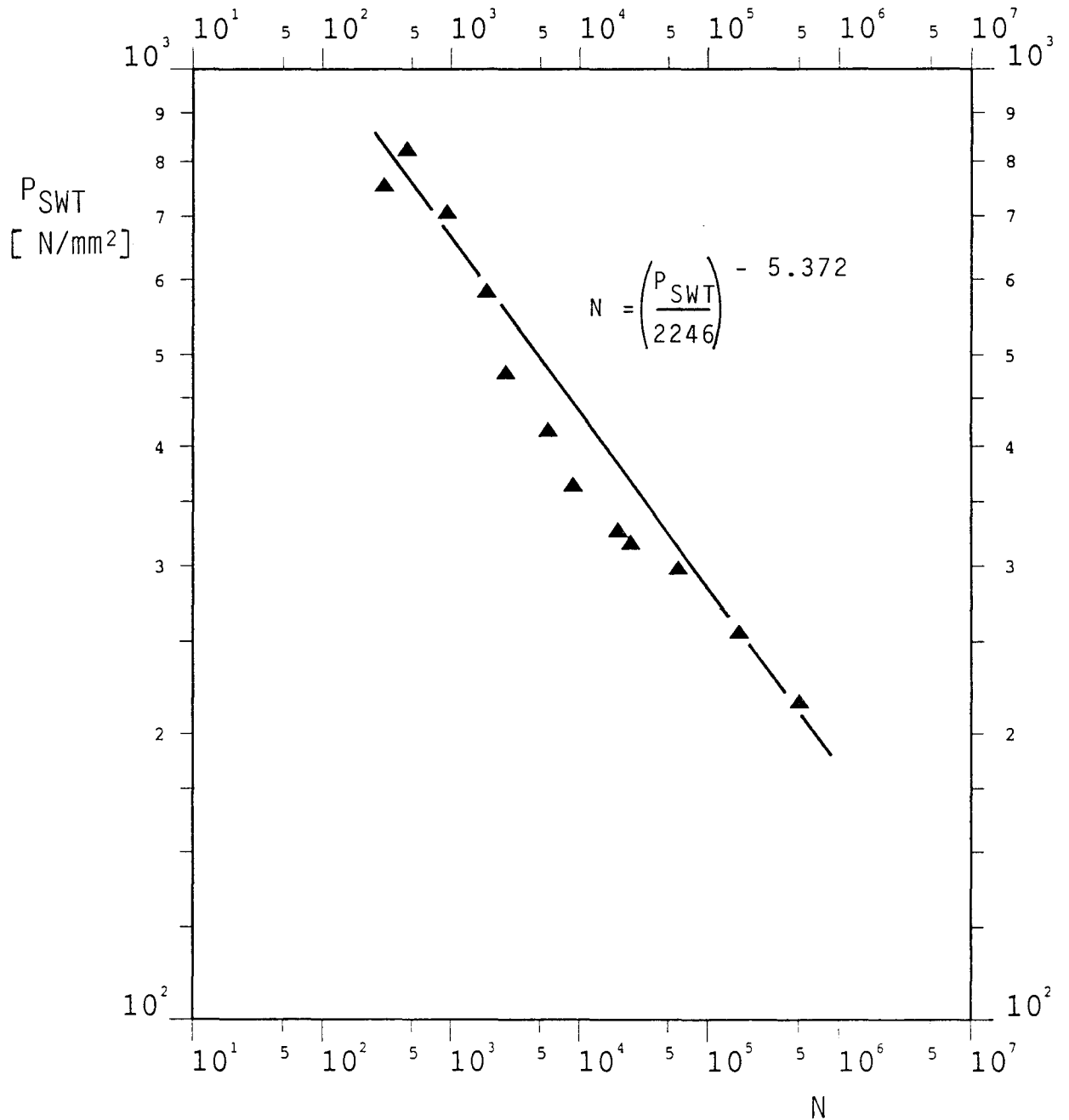


Abb. 8
Schädigungsparameter-Wöhlerlinie (Anriß) für den Stahl GL-A24
mit Brennschnitt, nachgearbeitet und Kanten gebrochen

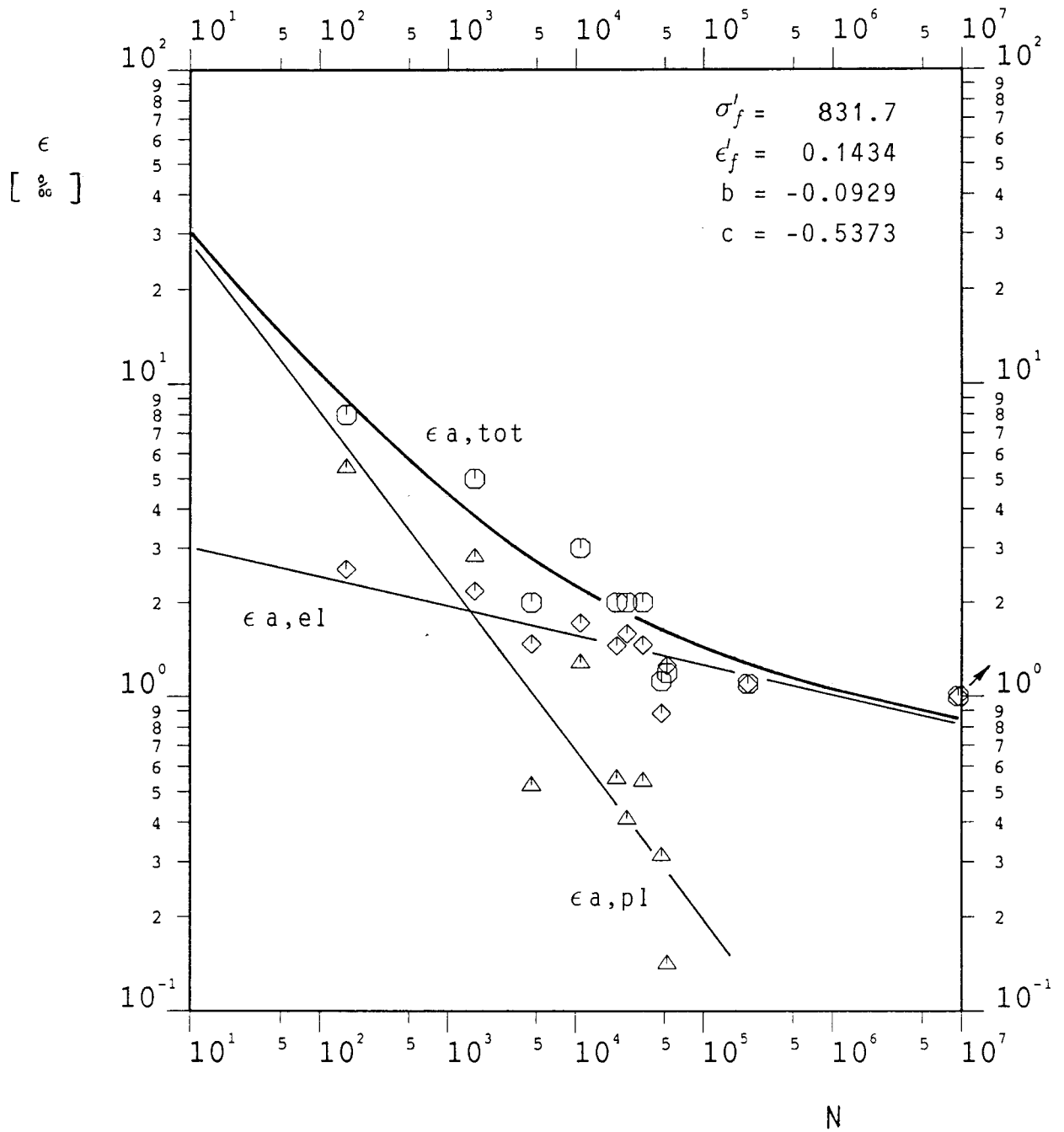


Abb. 9
Dehnungswöhlerlinie (Anriß) für den Stahl GL-A24
mit Unterwasser-Plasma-Schnitt

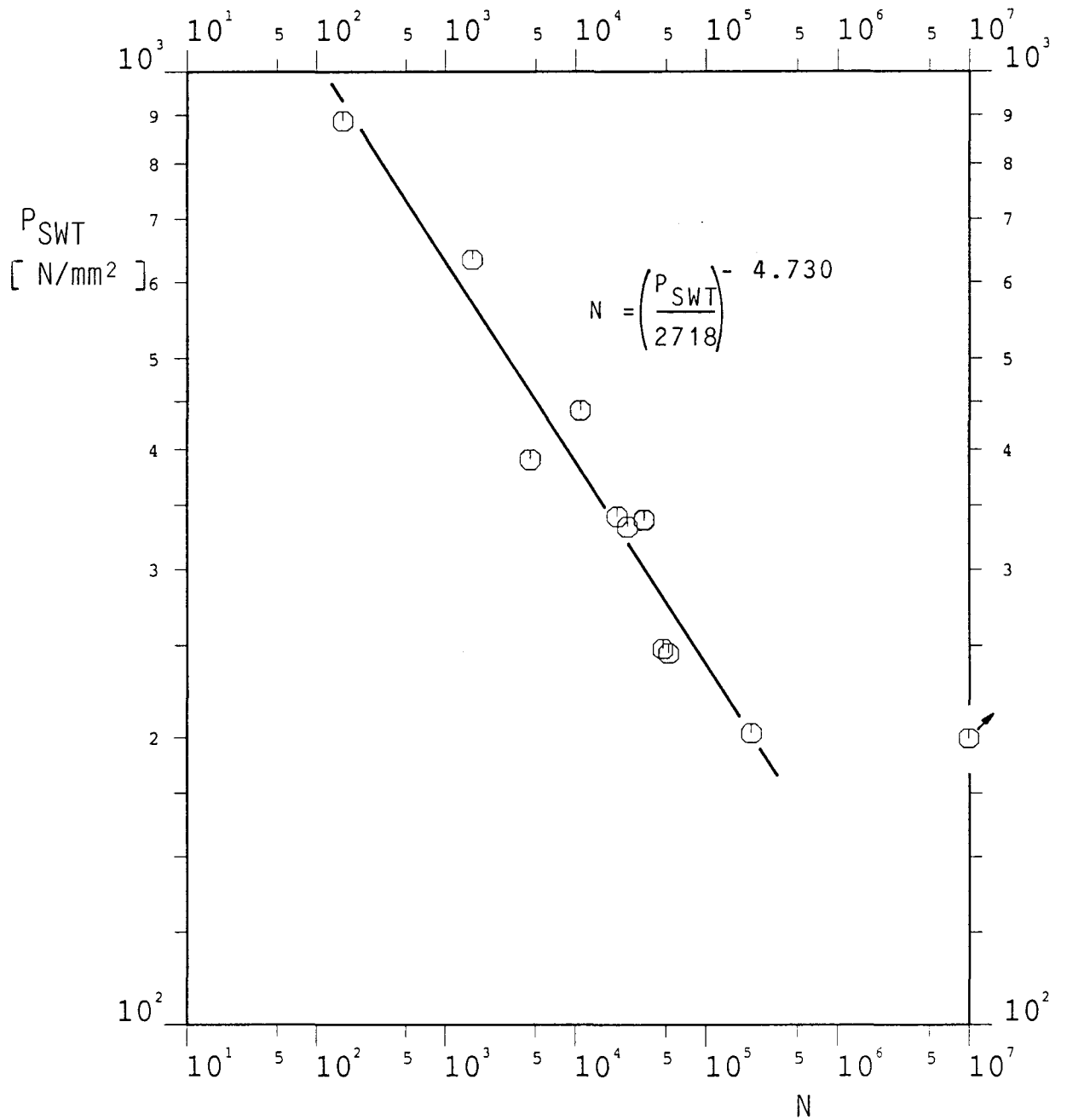


Abb. 10
Schädigungsparameter-Wöhlerlinie (Anriß) für den Stahl GL-A24
mit Unterwasser-Plasma-Schnitt

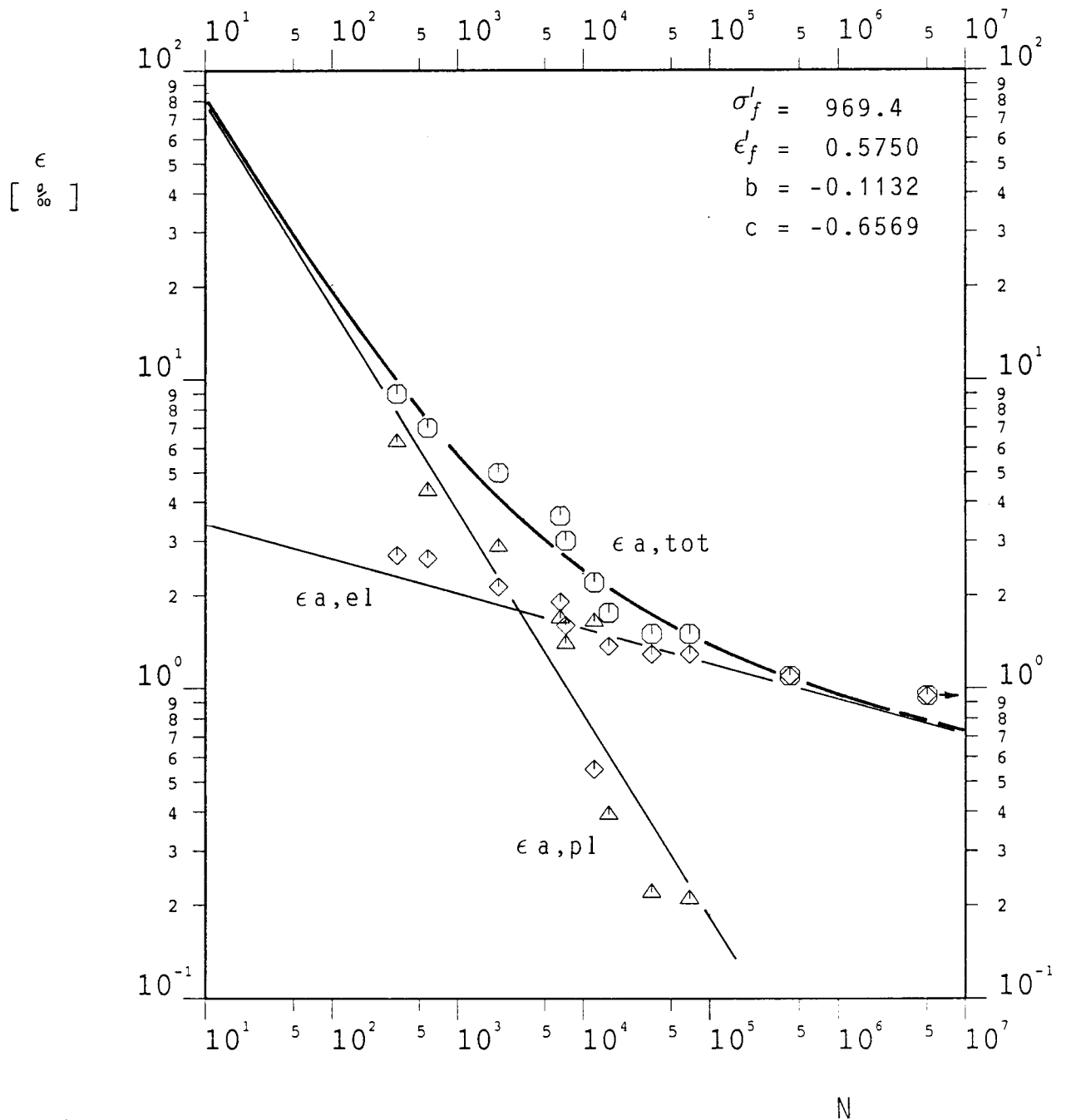


Abb. 11
Dehnungswöhlerlinie (Anriß) für den Stahl GL-A24
mit Unterwasser-Plasma-Schnitt, nachgearbeitet und Kanten ge-
brochen

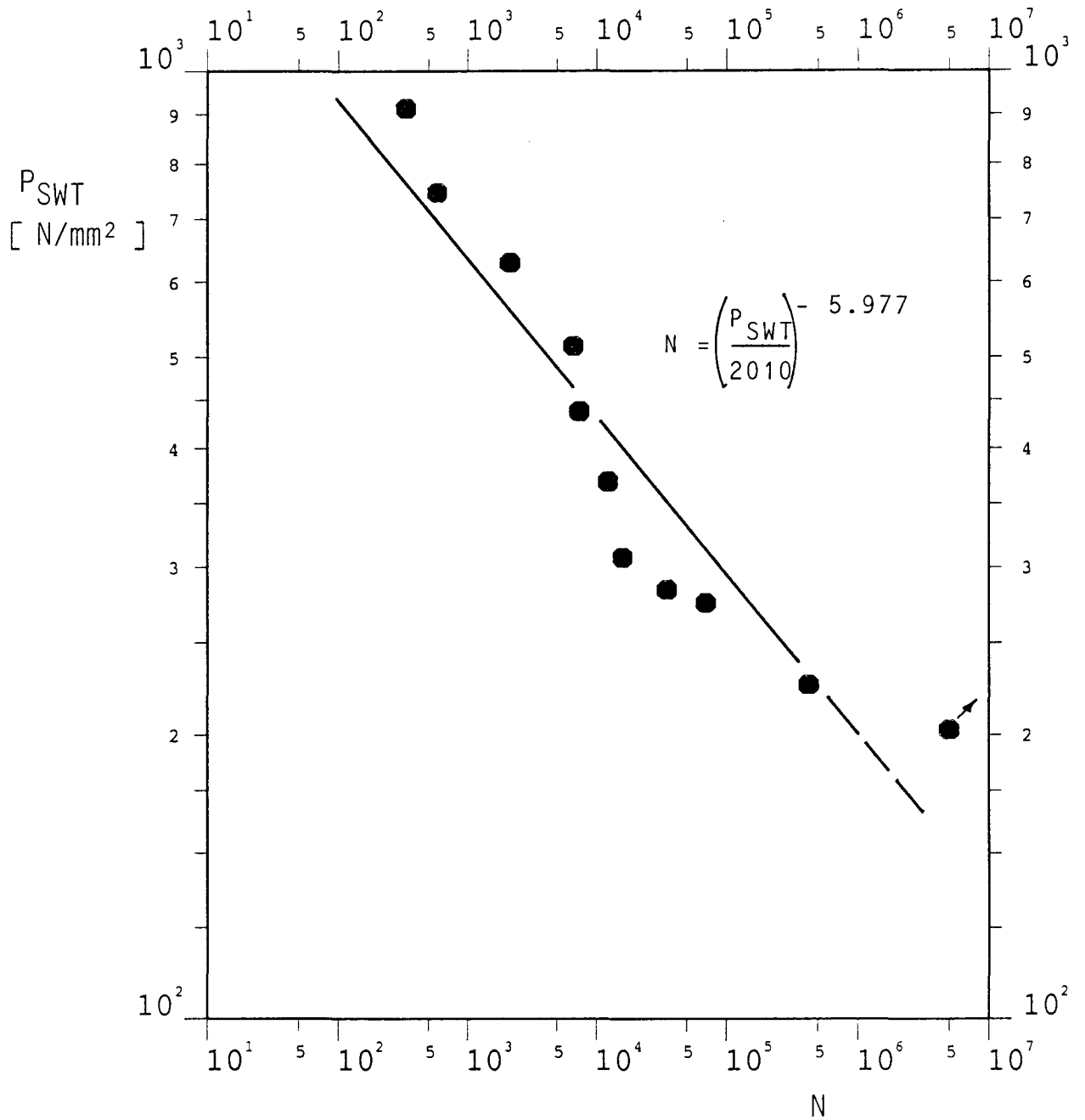


Abb. 12
Schädigungsparameter-Wöhlerlinie (Anriß) für den Stahl GL-A24
mit Unterwasser-Plasma-Schnitt, nachgearbeitet und Kanten ge-
brochen

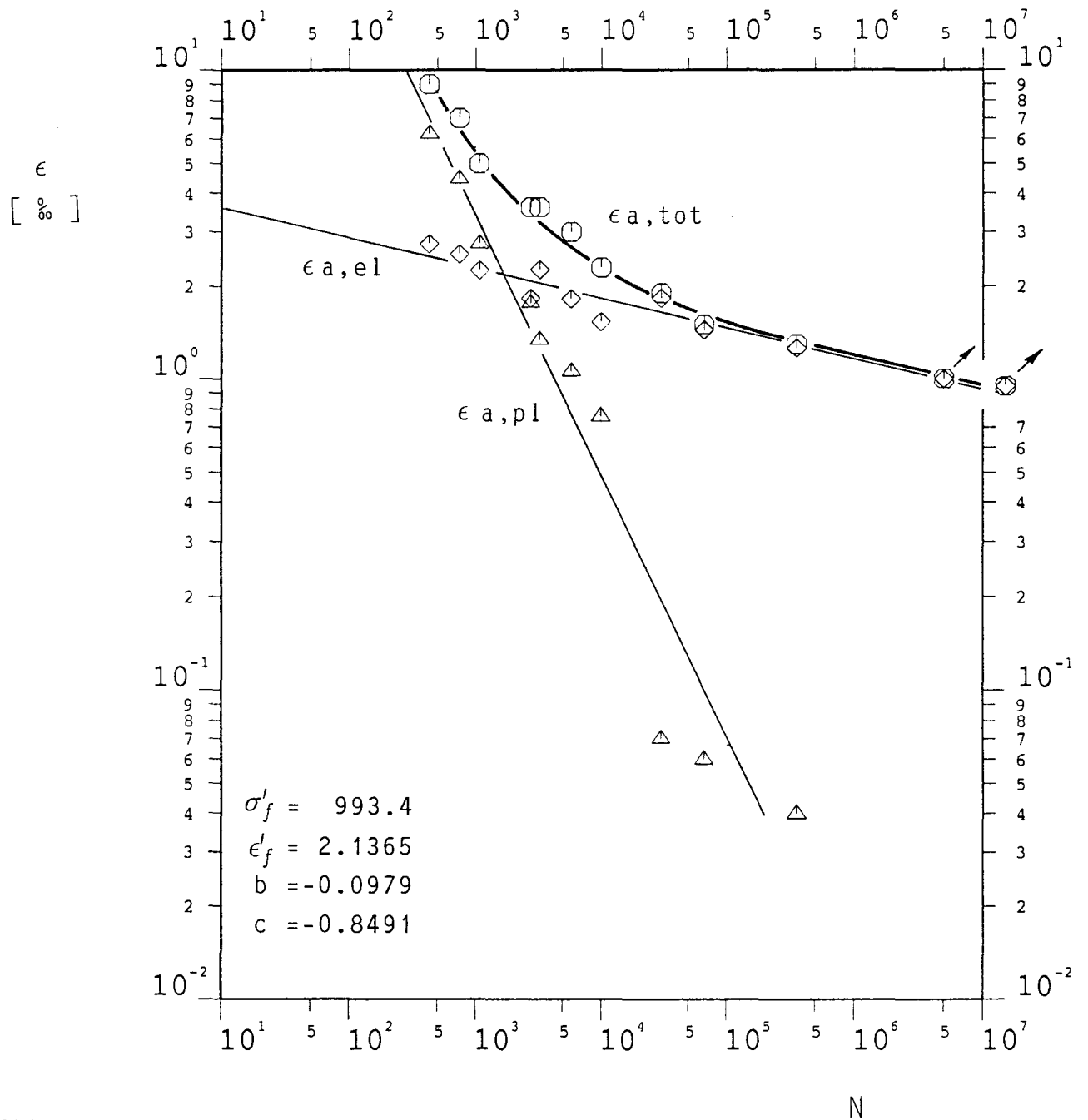


Abb. 13
Dehnungswöhlerlinie für den Stahl GL-D36 mit Brennschnitt

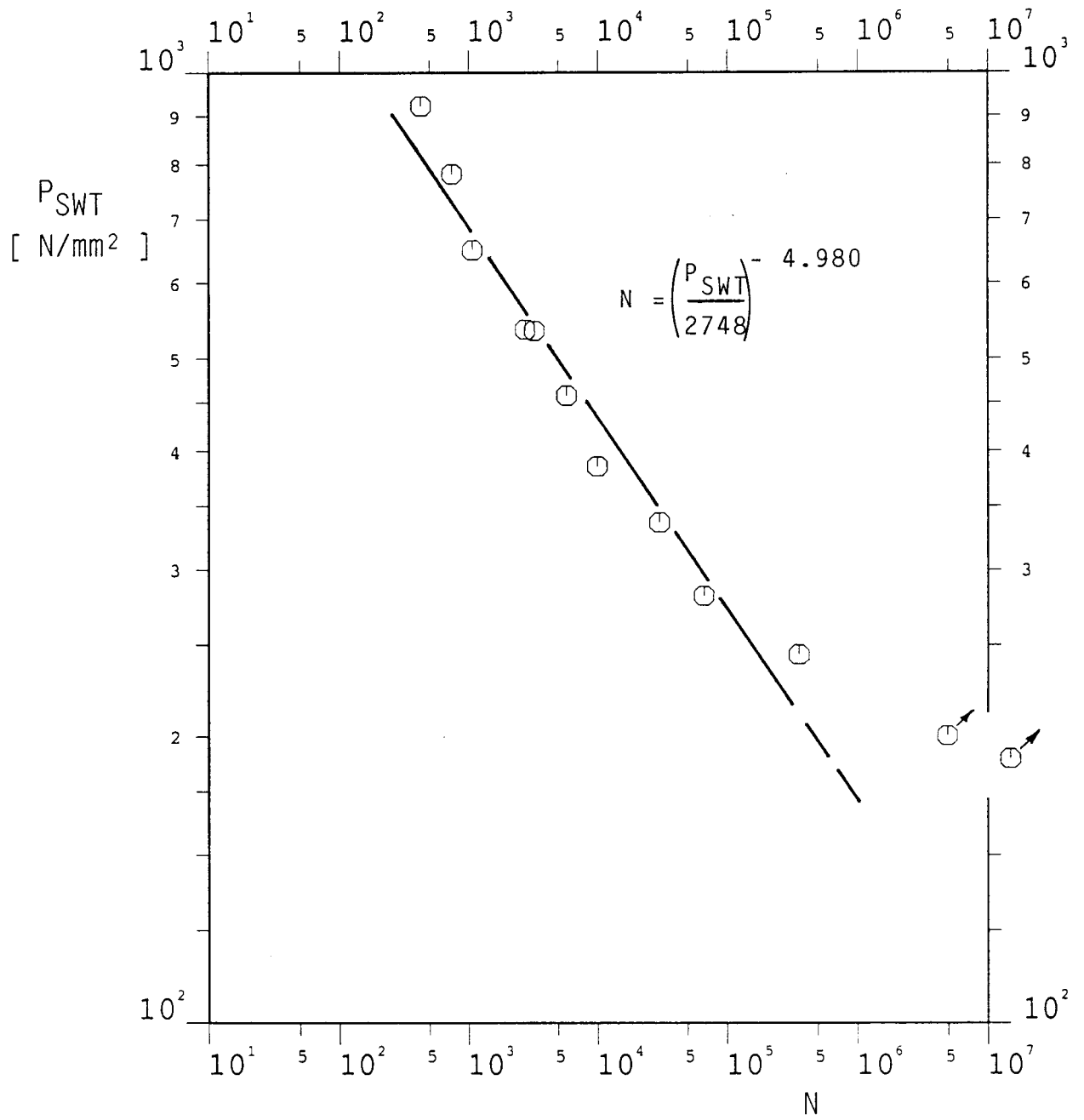


Abb. 14
Schädigungsparameter-Wöhlerlinie für den Stahl GL-D36
mit Brennschnitt

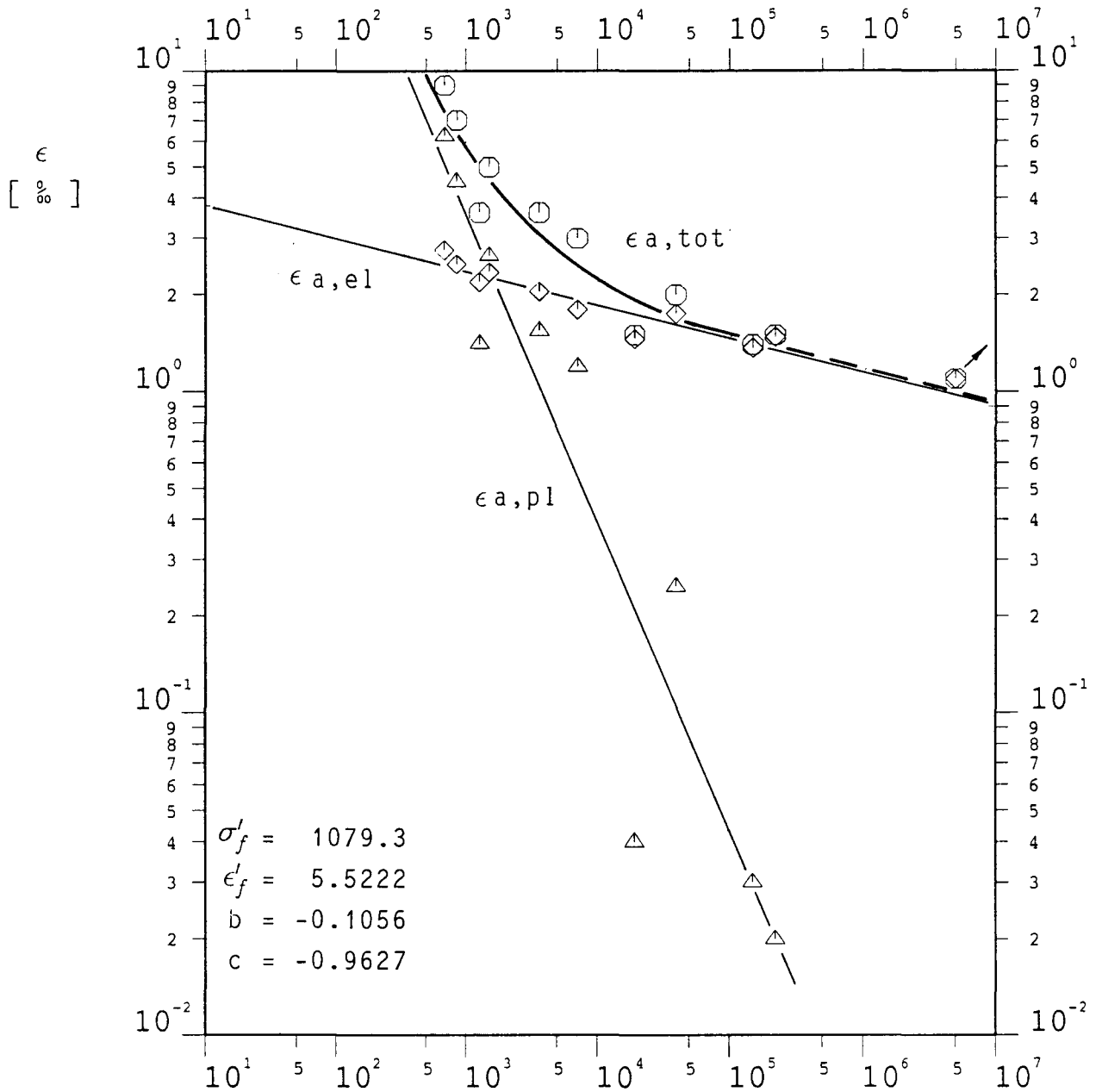


Abb. 15
Dehnungswöhlerlinie (Anriß) für den Stahl GL-D36 mit Brennschnitt, nachgearbeitet und Kanten gebrochen

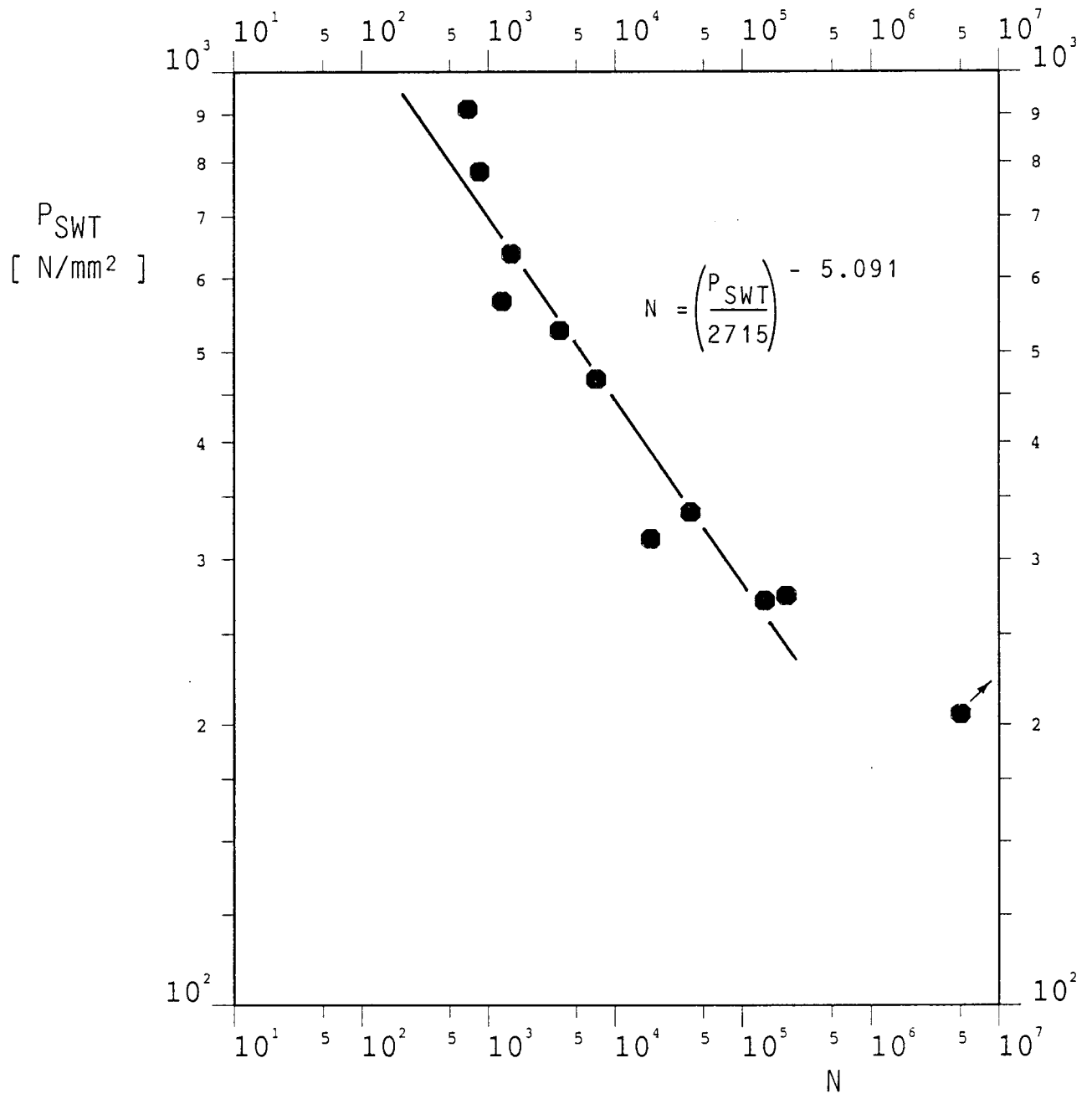


Abb. 16
Schädigungsparameter-Wöhlerlinie (Anriß) für den Stahl GL-D36
mit Brennschnitt, nachgearbeitet und Kanten gebrochen

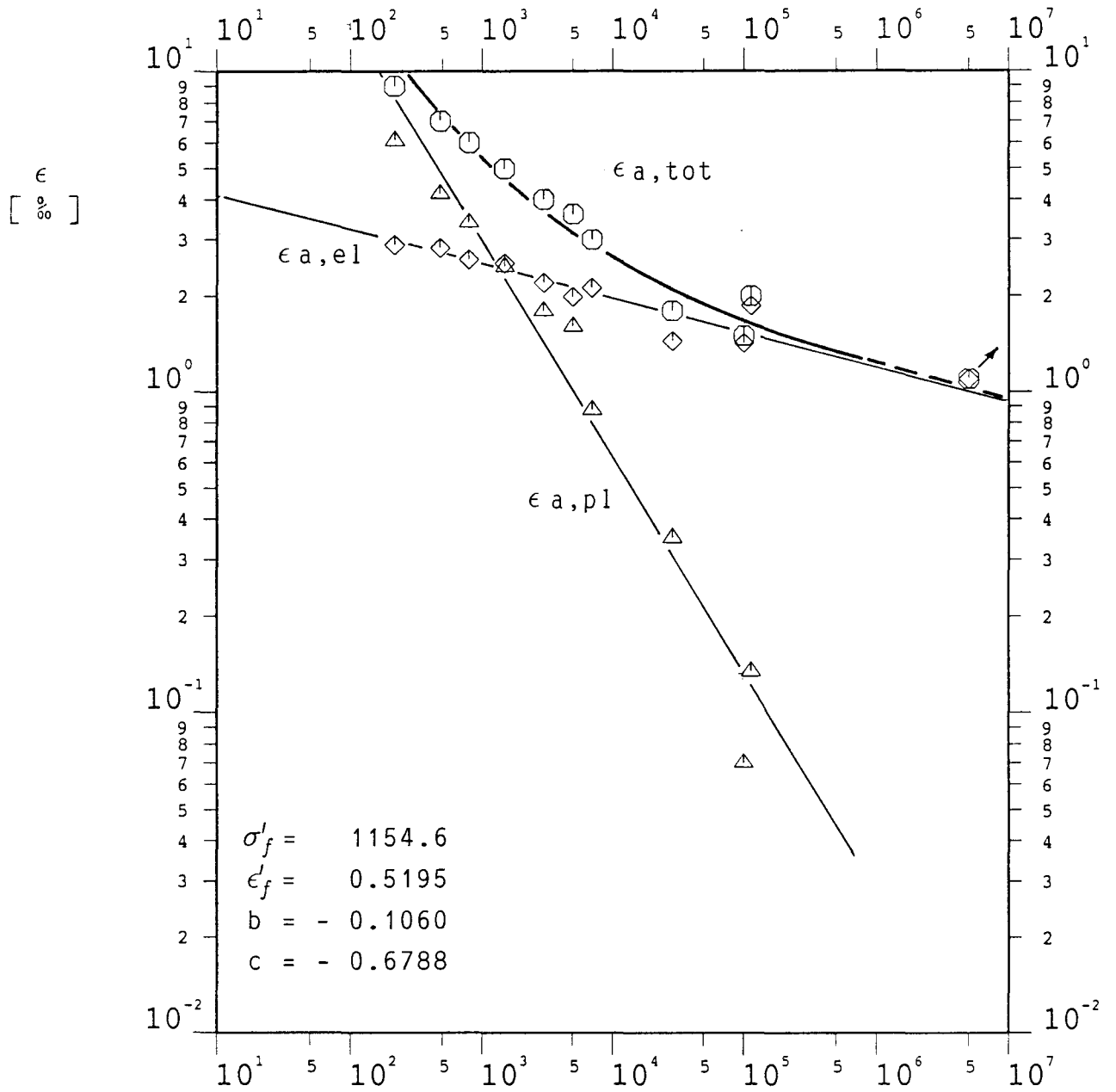


Abb. 17
Dehnungswöhlerlinie (Anriß) für den Stahl GL-D36 mit
Unterwasser-Plasma-Schnitt

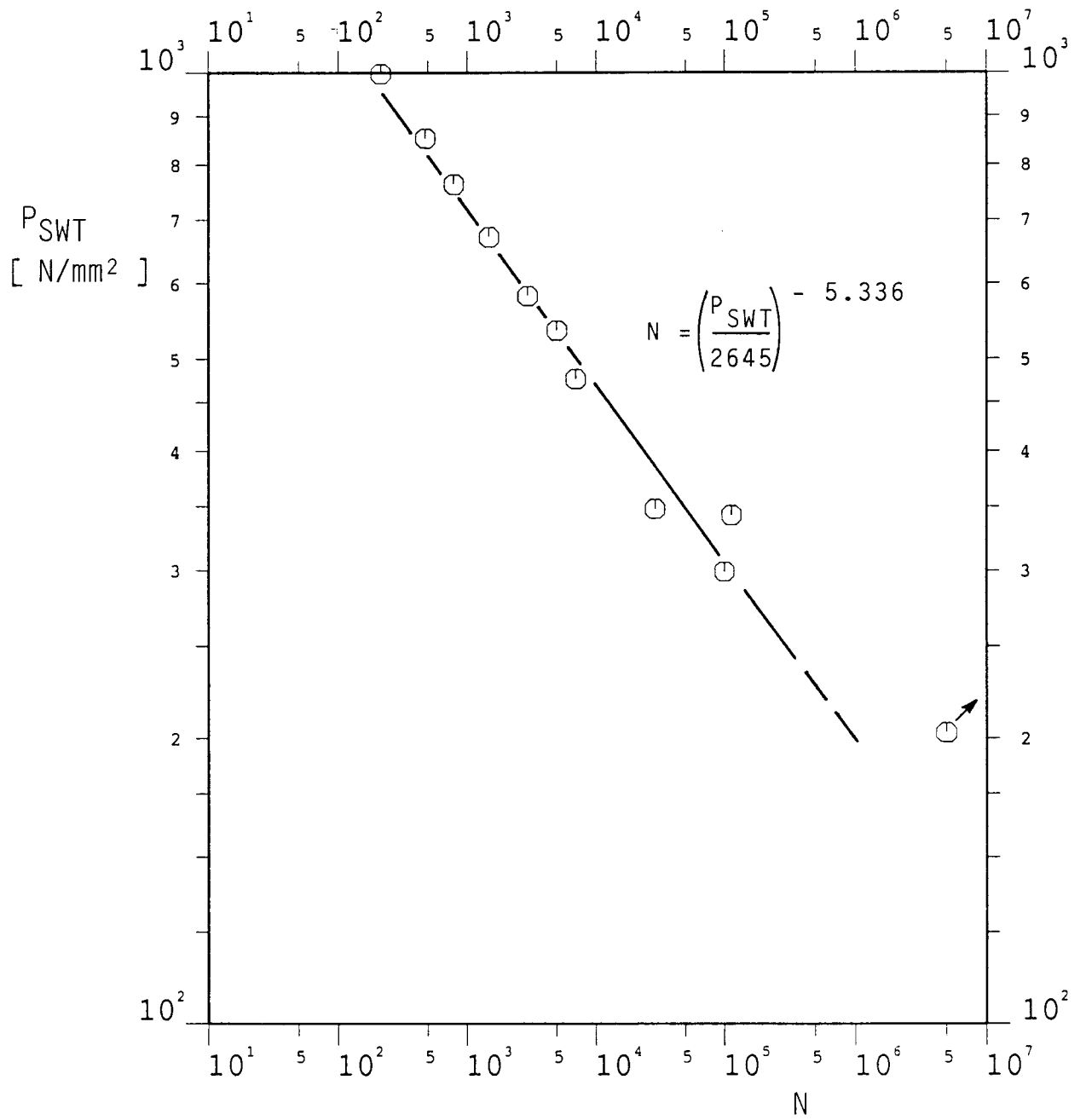


Abb. 18
Schädigungsparameter-Wöhlerlinie für den Stahl GL-D36 mit
Unterwasser-Plasma-Schnitt

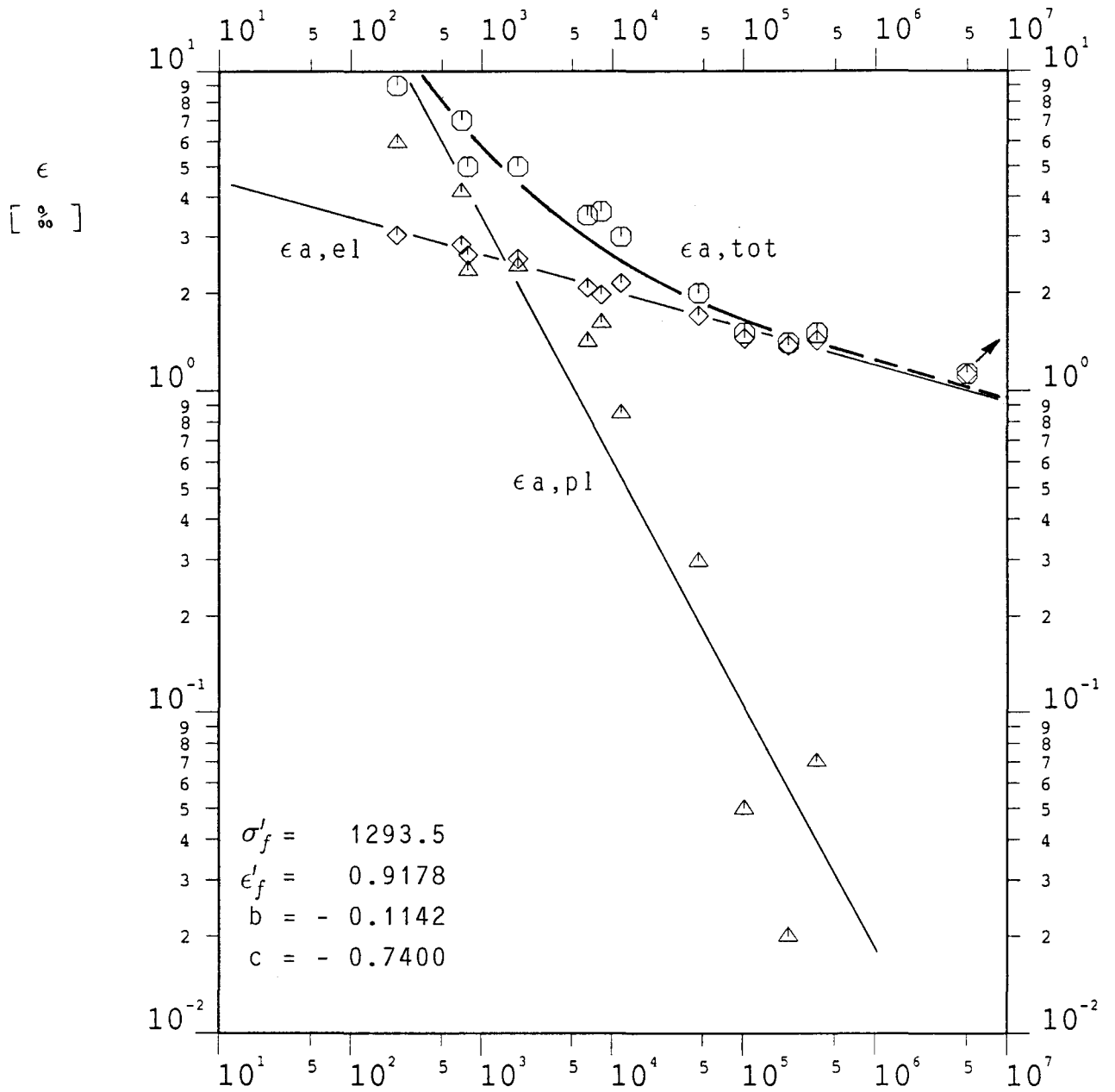


Abb. 19
Dehnungswöhlerlinie (Anriß) für den Stahl GL-D36 mit
Unterwasser-Plasma-Schnitt, nachgearbeitet und Kanten ge-
brochen

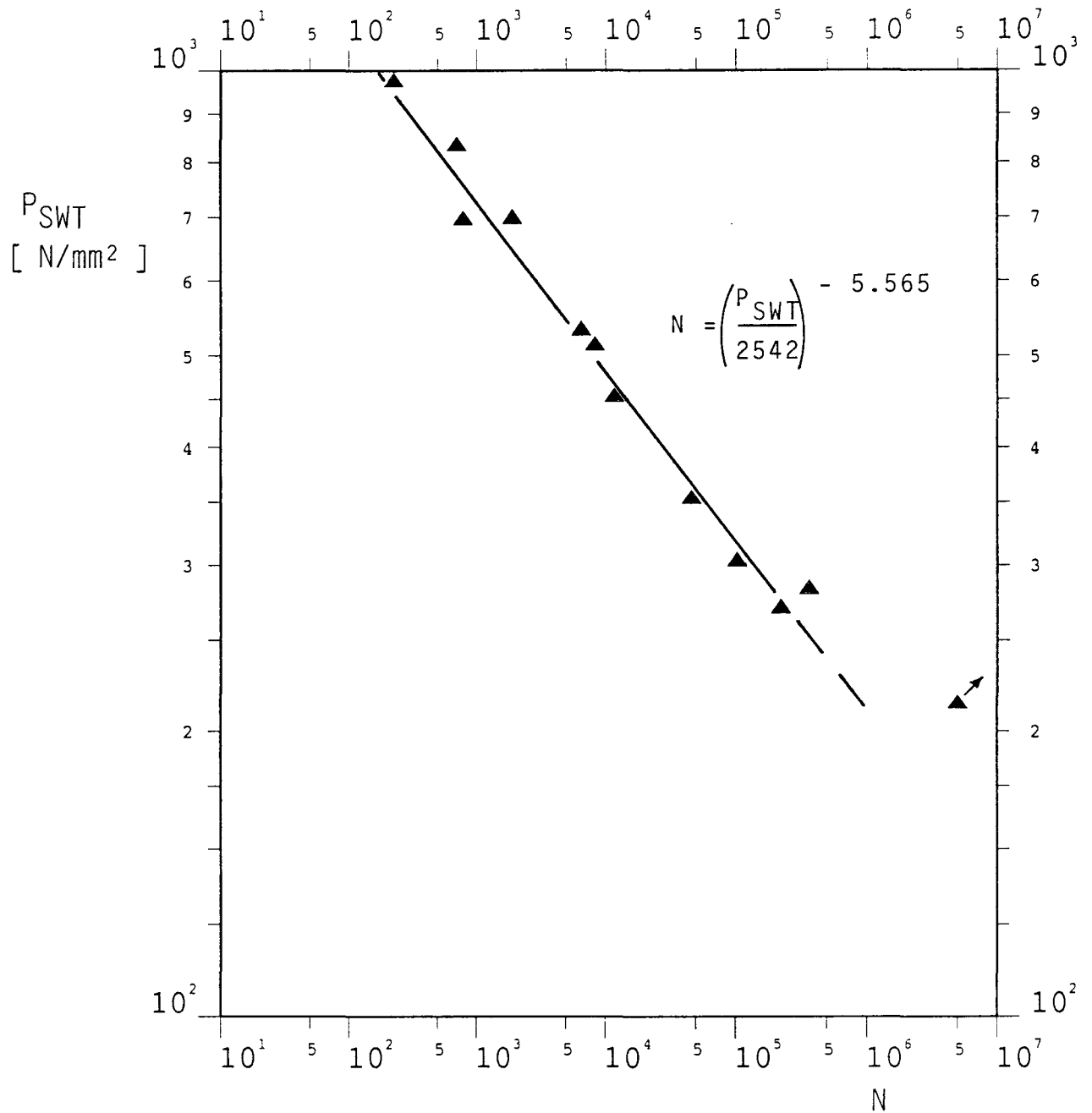


Abb. 20
Schädigungsparameter-Wöhlerlinie (Anriß) für den Stahl GL-D36
mit Unterwasser-Plasma-Schnitt, nachgearbeitet und Kanten ge-
brochen

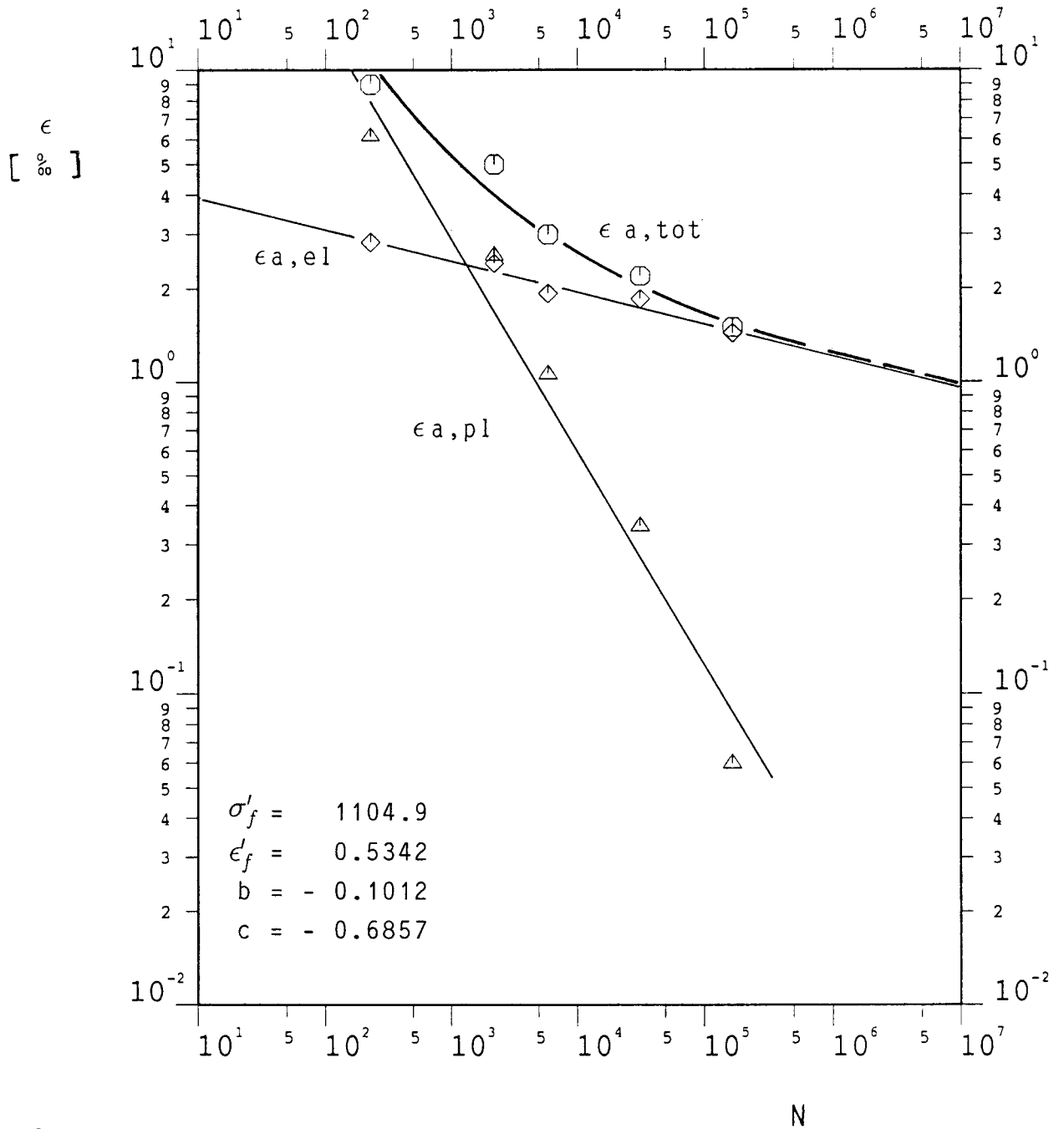


Abb. 21
Dehnungswöhlerlinie (Anriß) für den Stahl GL-D36 , gestanz

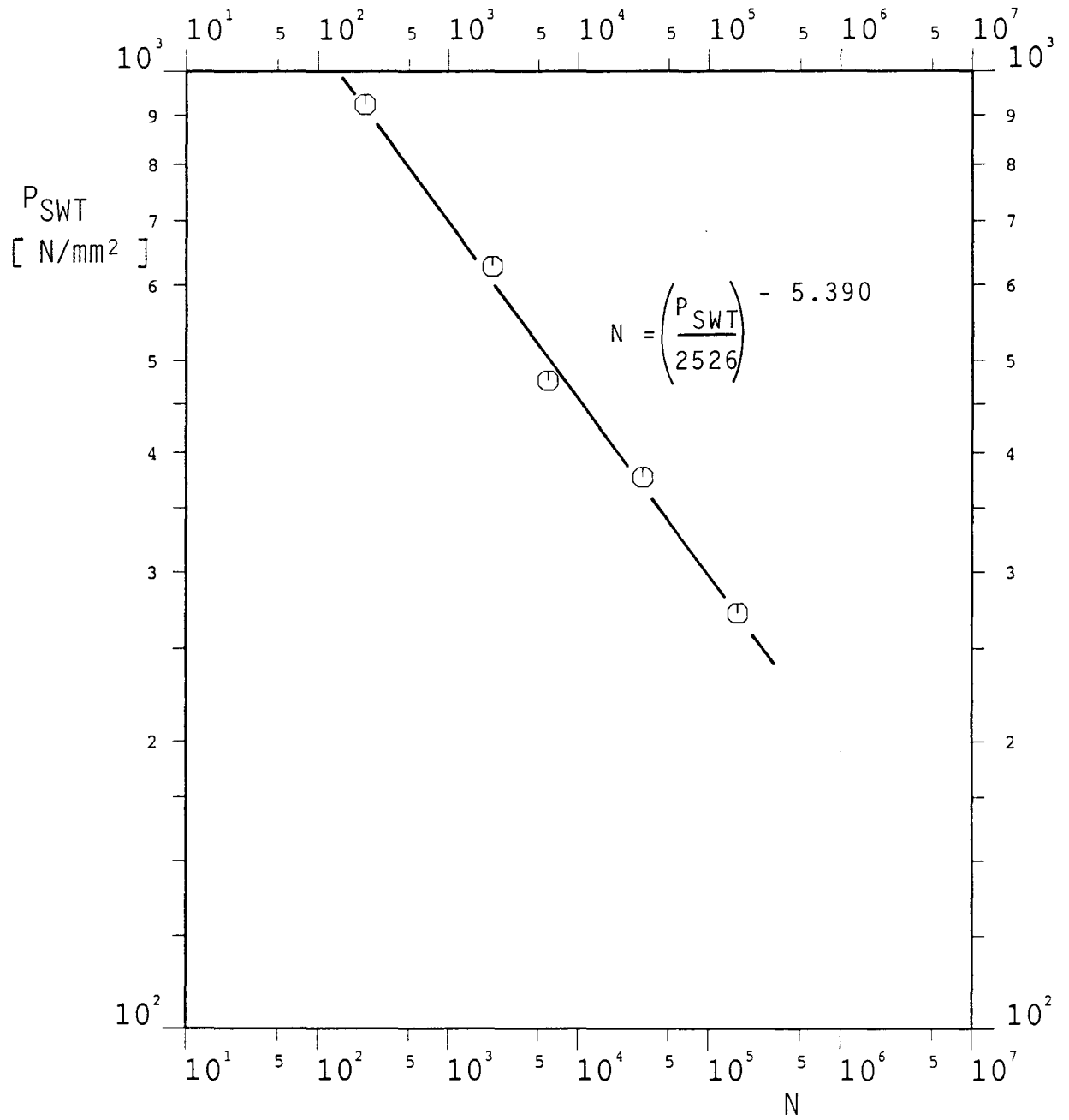


Abb. 22
Schädigungsparameter-Wöhlerlinie für den Stahl GL-D36, gestanzte

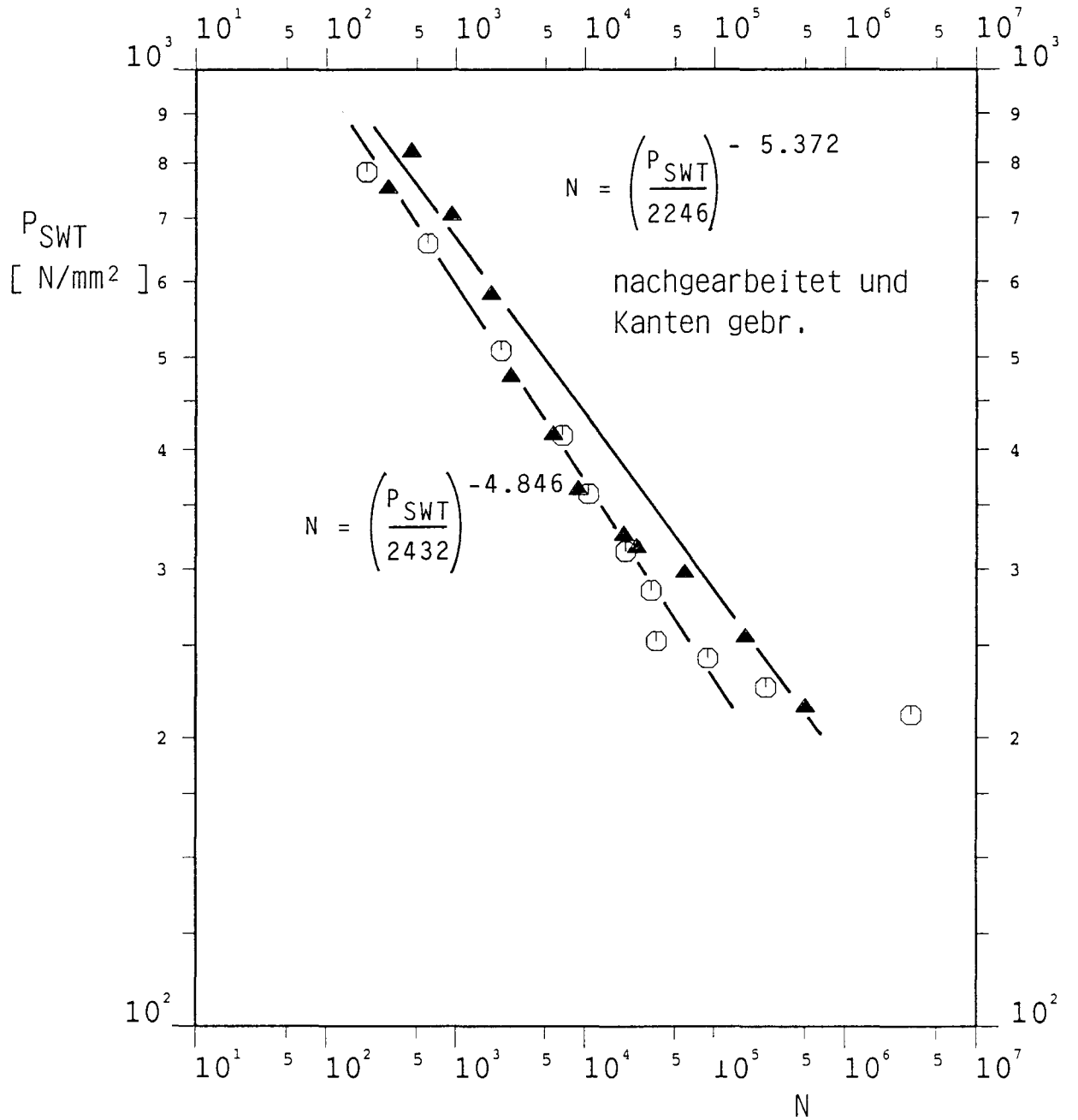


Abb.23
Vergleich der P_{SWT} -Linien
Stahl GL-A24 mit Brennschnitt

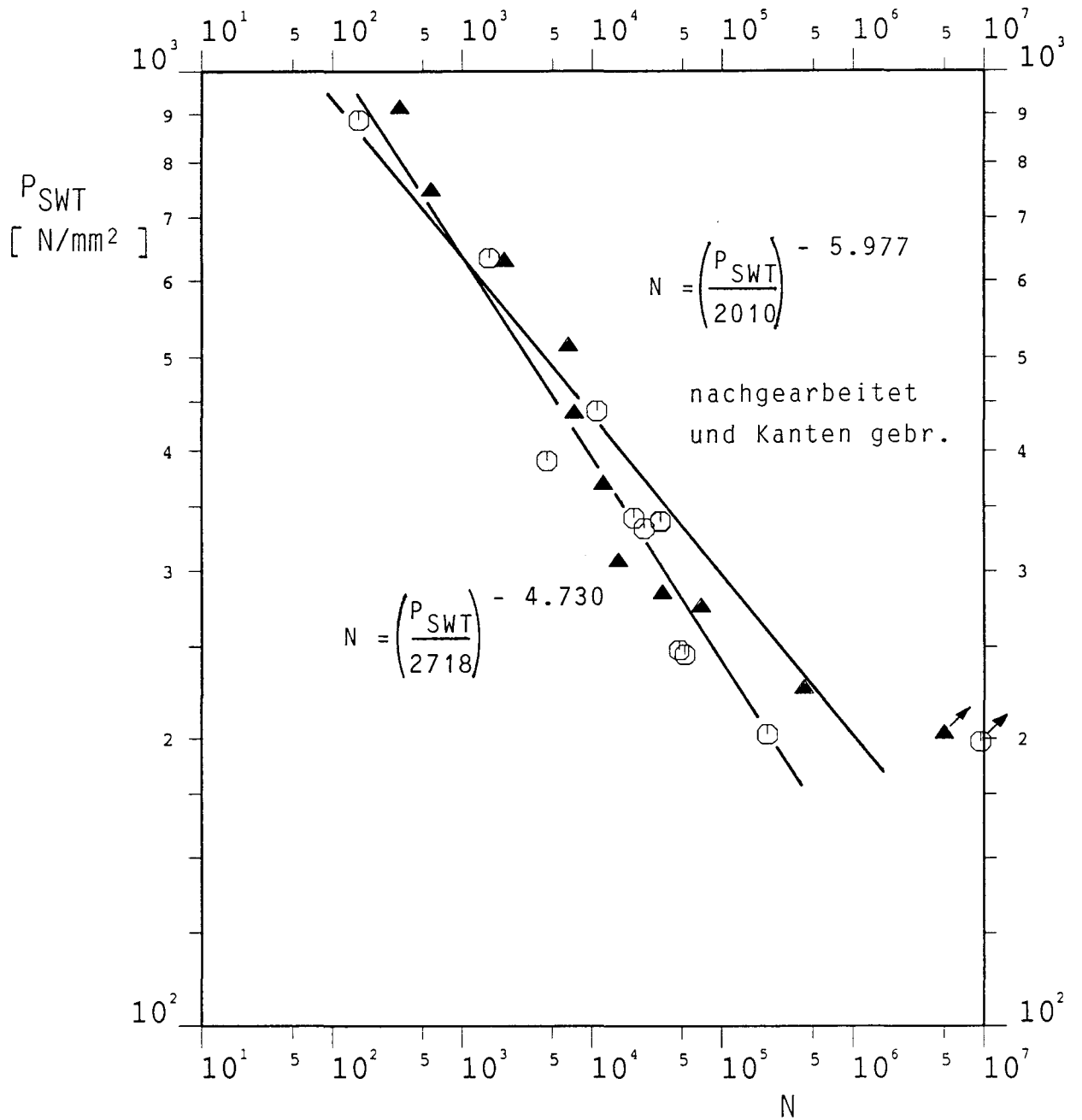


Abb. 24
Vergleich der P_{SWT}-Linien
Stahl GL-A24 mit Unterwasser-Plasma-Schnitt

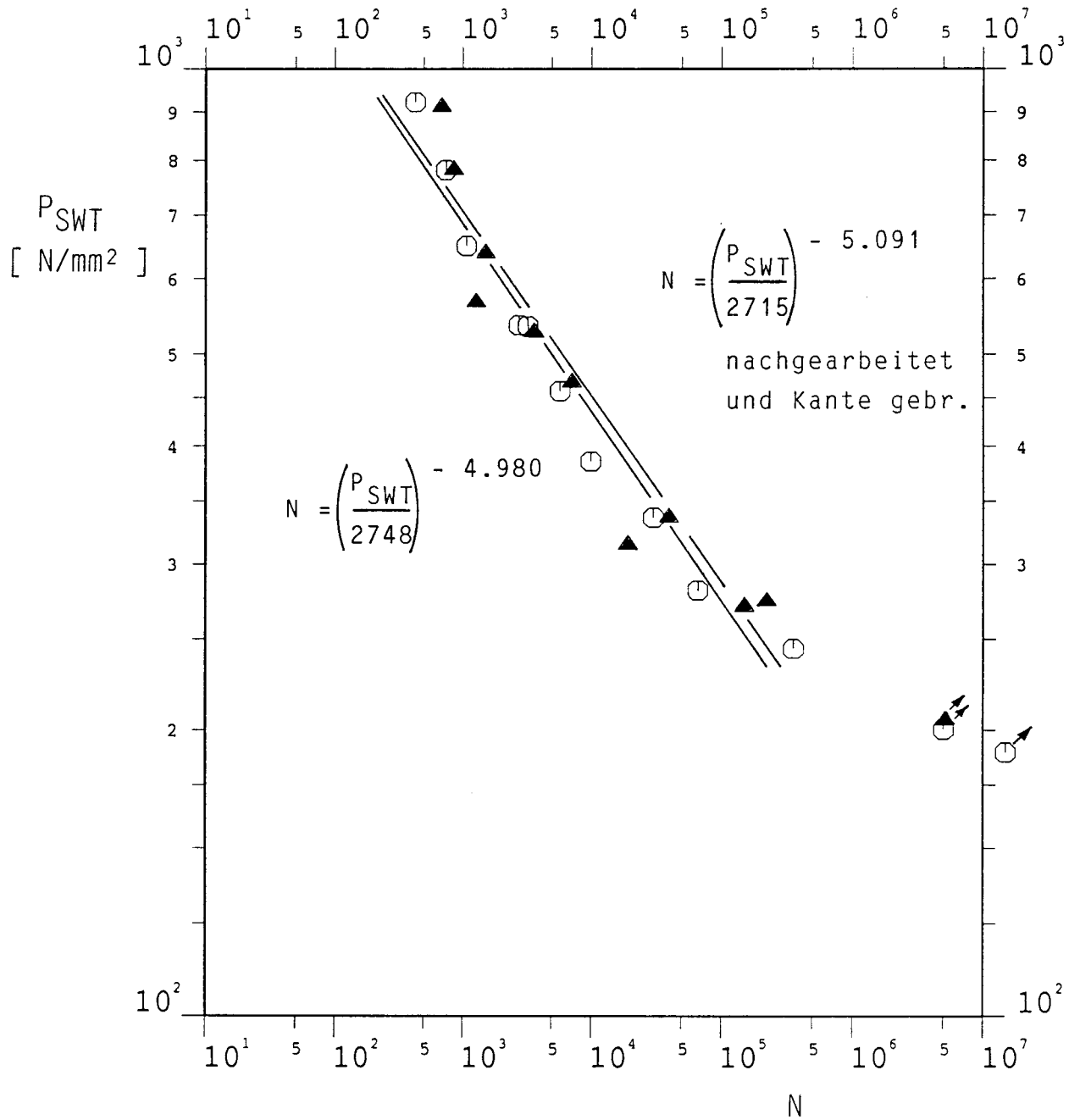


Abb. 25
Vergleich der P_{SWT} -Linien
Stahl GL-D36 mit Brennschnitt

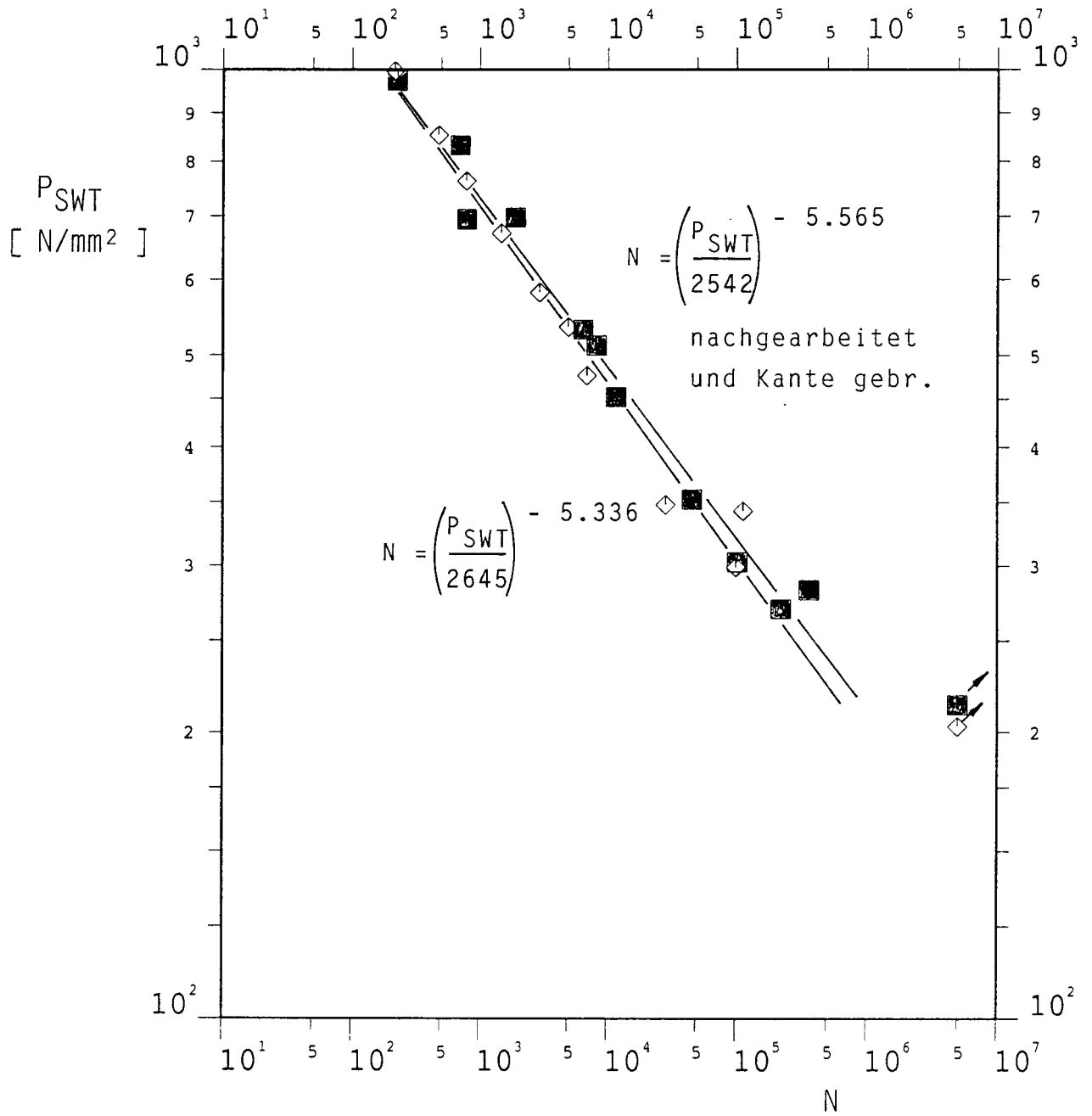


Abb. 26
Vergleich der P_{SWT} -Linien
Stahl GL-D36 mit Unterwasser-Plasma-Schnitt

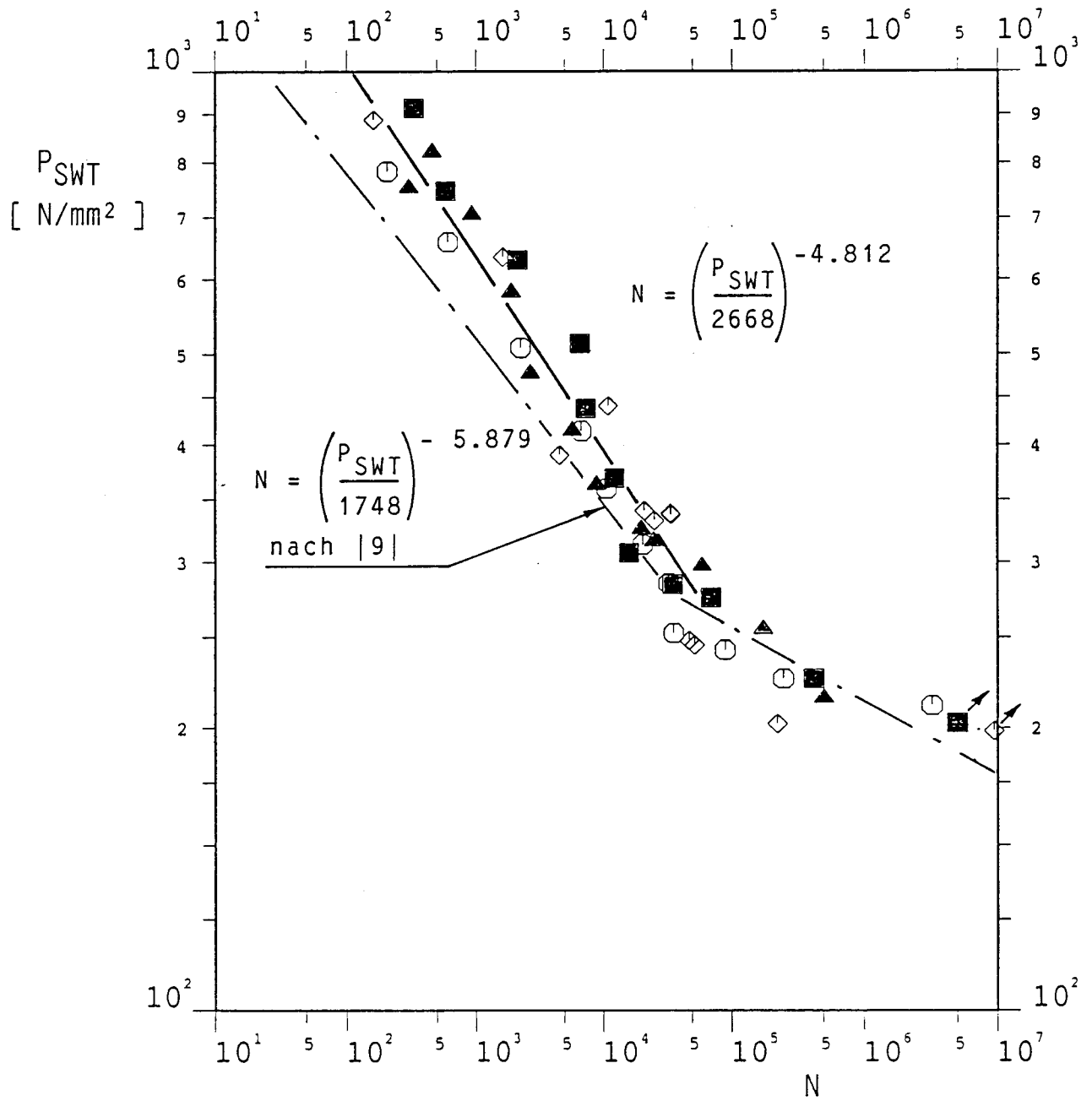


Abb. 27

P_{SWT} - Linie für den Stahl GL-A24 mit thermischen Trennschnitten, wie belassen und nachgearbeitet

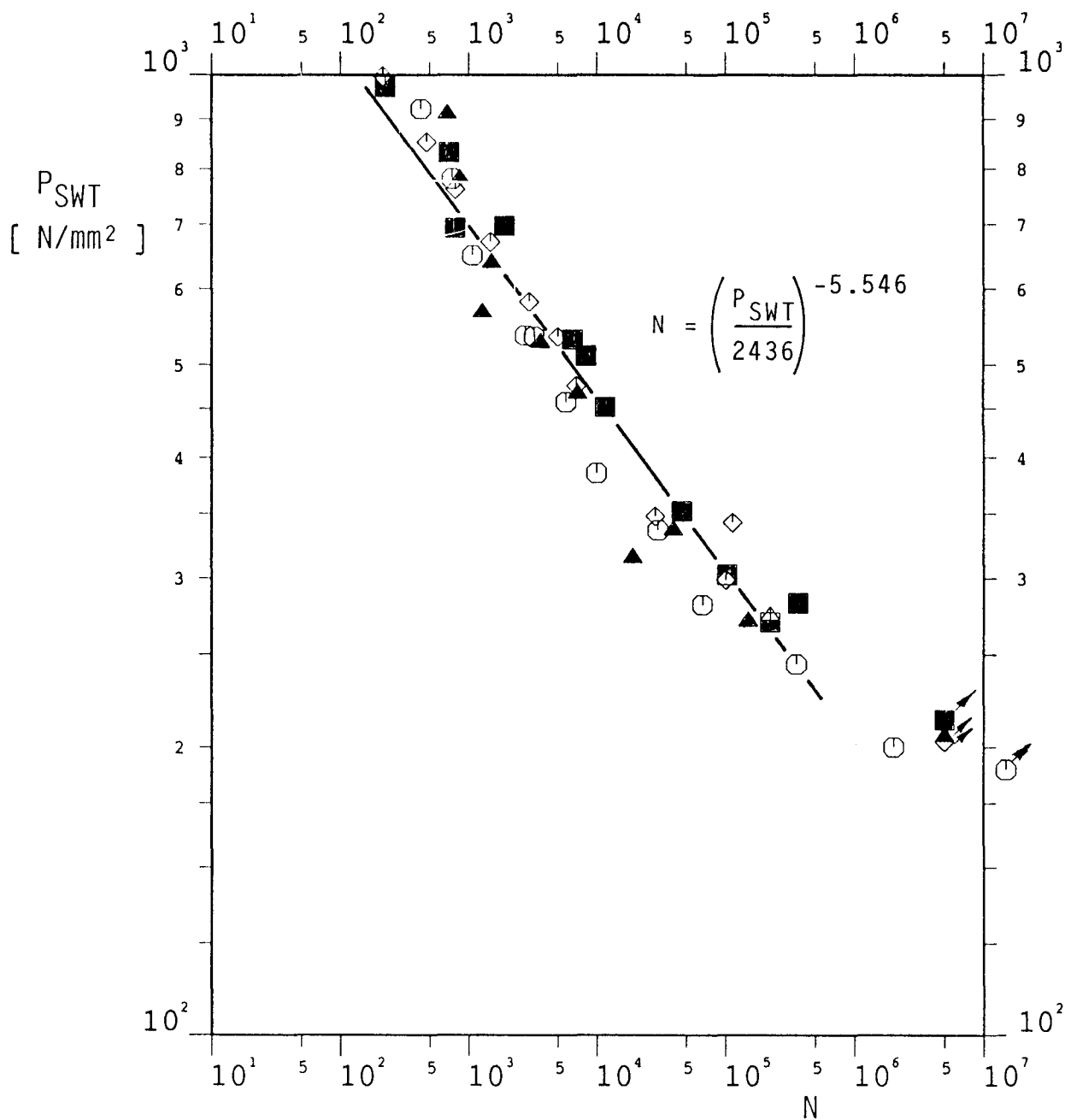


Abb. 28

P_{SWT} - Linie für den Stahl GL-D36 mit thermischen Trennschnitten, wie belassen und nachgearbeitet

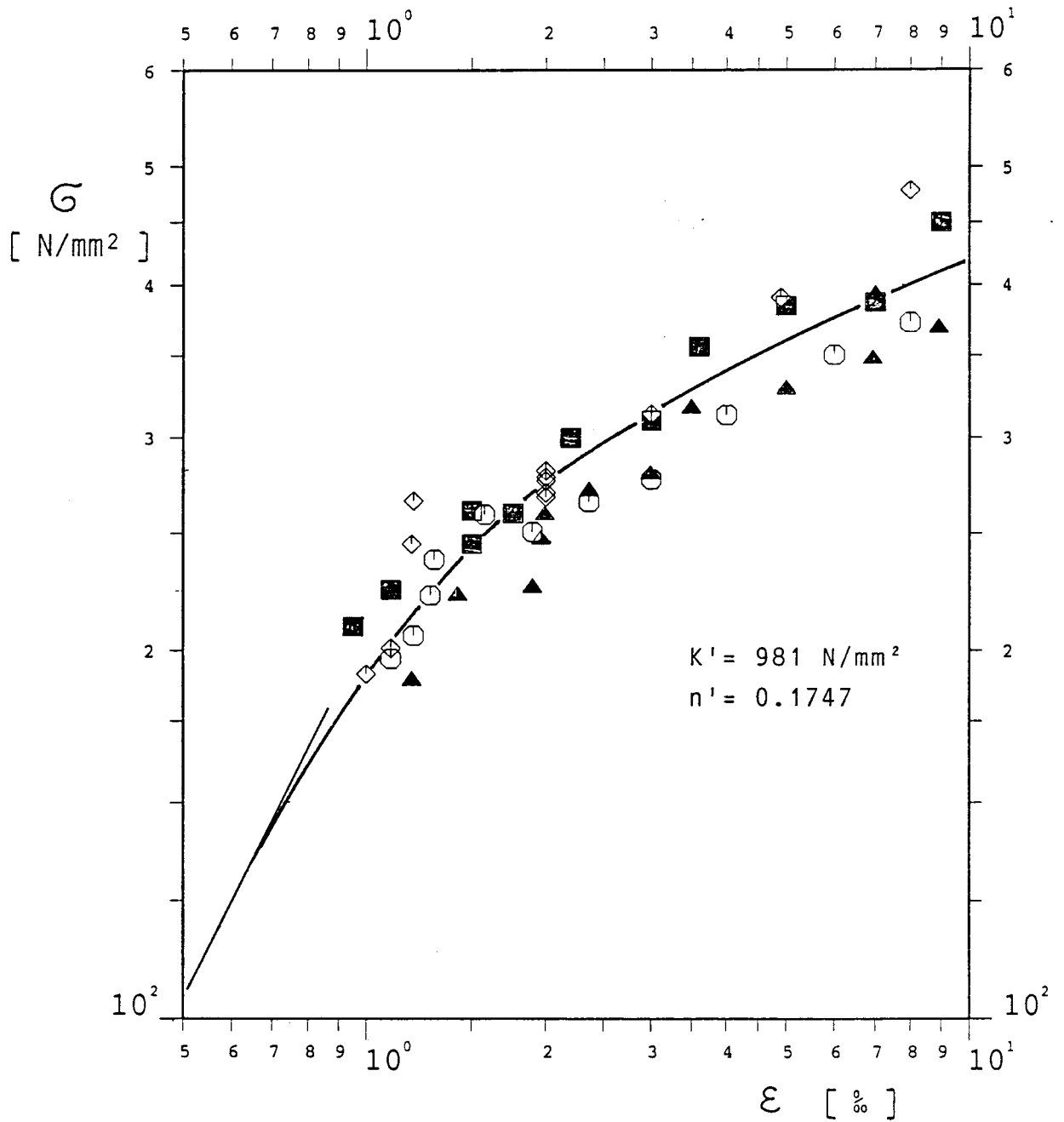


Abb. 30

Zyklisches Spannungs-Dehnungs-Diagramm für den Stahl GL-A24 mit thermischen Trennschnitten

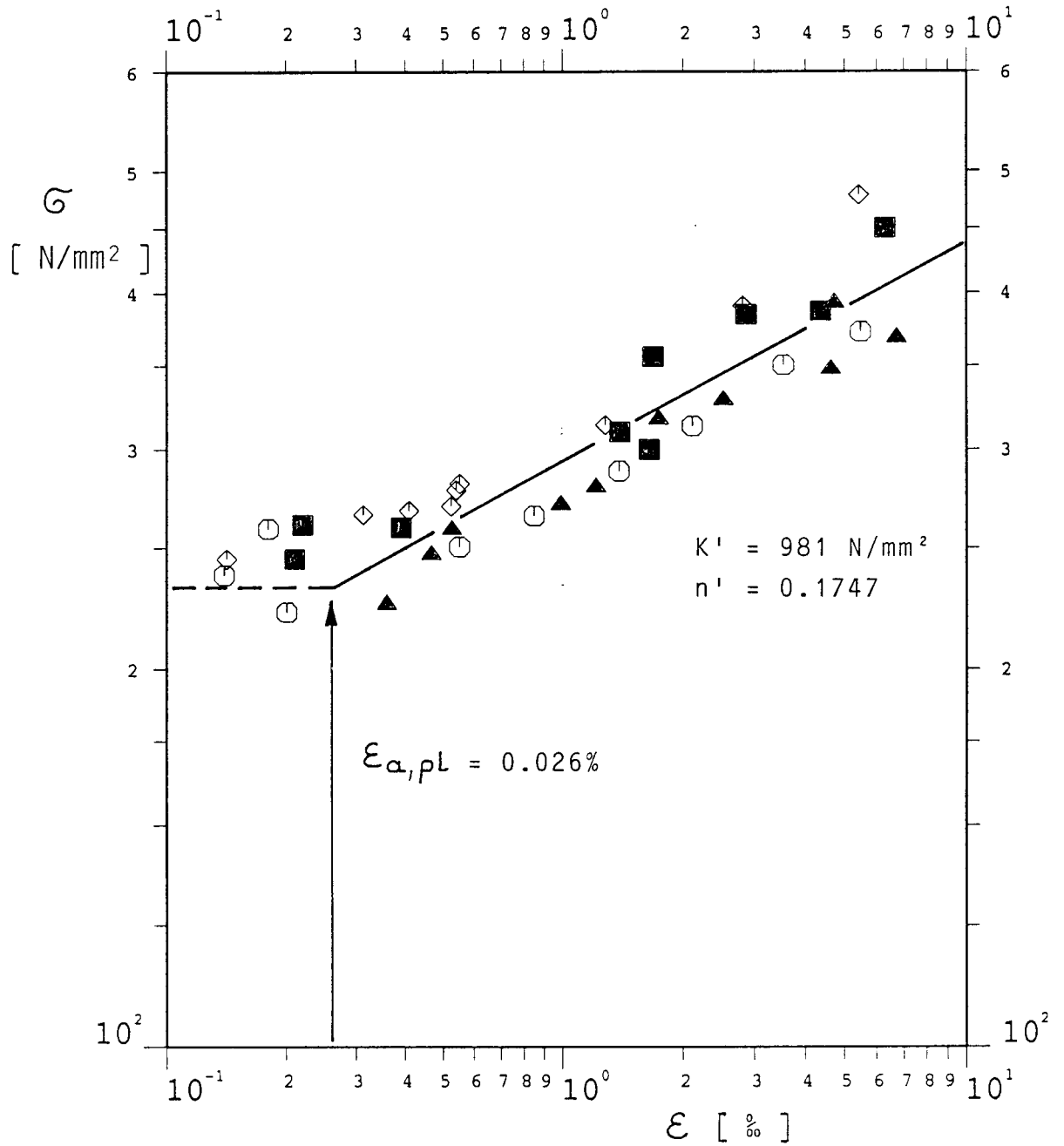


Abb. 29

Zyklisches σ - $\epsilon_{\alpha,pl}$ - Diagramm für den Stahl GL-A24 mit thermischen Trennschnitten

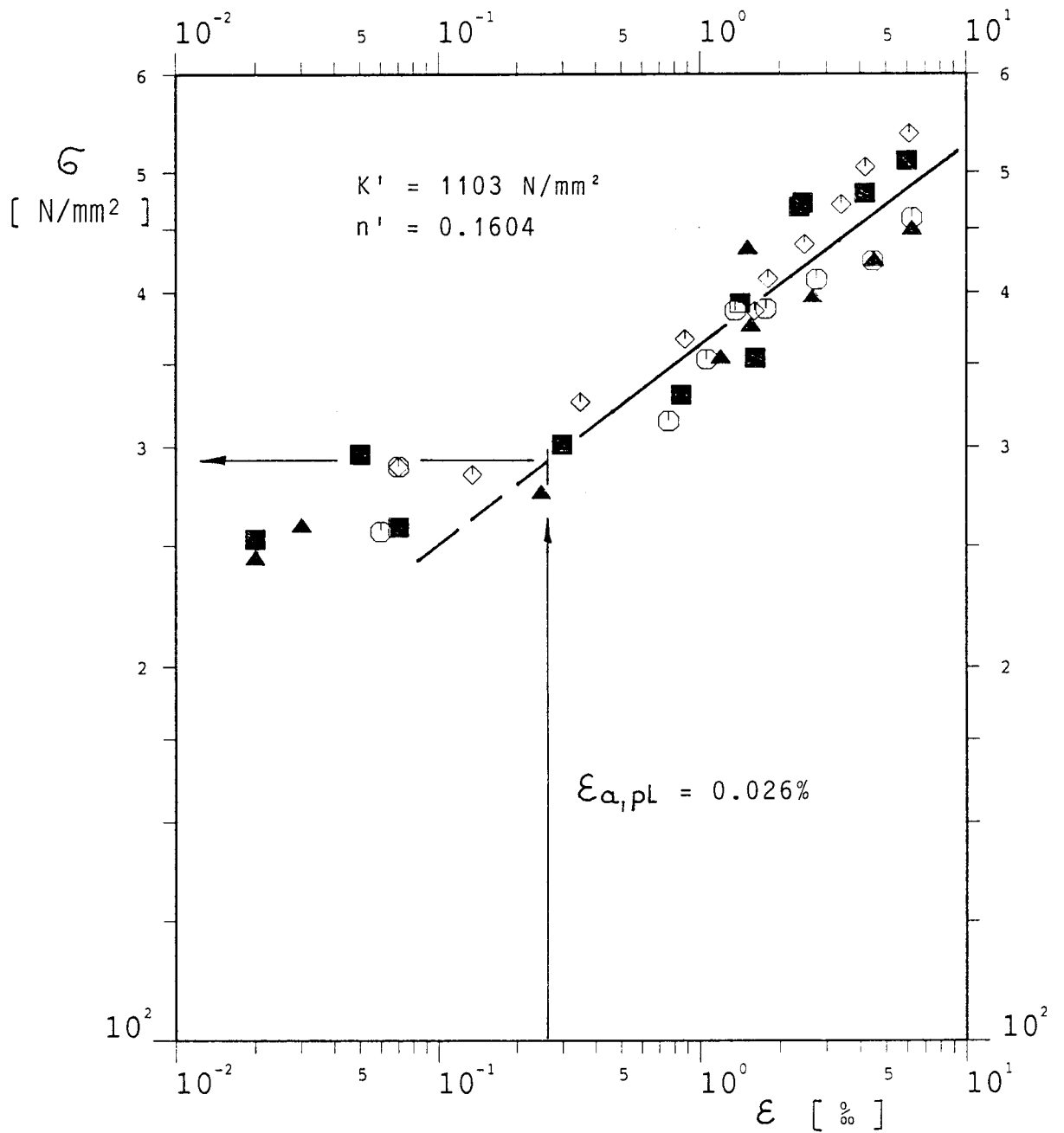


Abb. 31

Zyklisches σ - $\epsilon_{a,pl}$ - Diagramm für den Stahl GL-D36 mit thermischen Trennschnitten

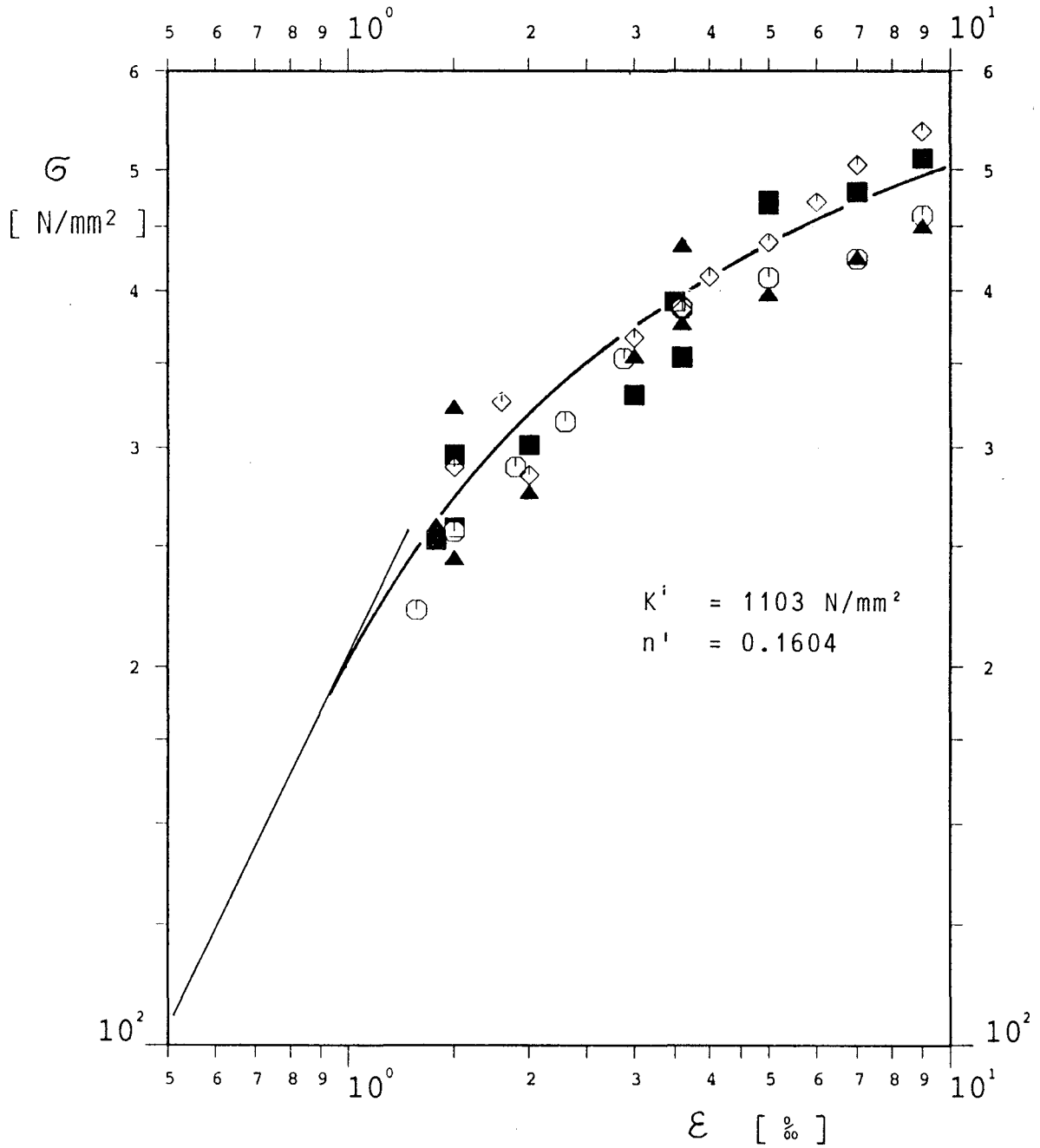


Abb. 32
Zyklisches Spannungs-Dehnungs-Diagramm für den Stahl
GL-D36 mit thermischen Trennschnitten