

KfK 4629
September 1989

Ein Kompressionsring zur Begrenzung von Hirnrissen in Laubbäumen

C. Mattheck, F. Walther, K. Keilen
Institut für Material- und Festkörperforschung

Kernforschungszentrum Karlsruhe



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Institut für Material- und Festkörperforschung

KfK 4629

Ein Kompressionsring zur Begrenzung
von Hirnrissen in Laubbäumen

C. Mattheck, F. Walther, K. Keilen*

*) Forstamt Landau

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE GMBH, KARLSRUHE

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

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
Postfach 3640, 7500 Karlsruhe 1

ISSN 0303-4003

EIN KOMPRESSIONSRING ZUR BEGRENZUNG VON HIRNRISSEN IN GEFÄLLTEN LAUBBÄUMEN

Zusammenfassung:

Insbesondere Laubbäume versagen nicht selten kurz nach dem Fällen durch lange radiale Risse, die von der Schnittfläche in den Stamm einlaufen. Die Entstehungsursache dieser Risse wird erklärt und eine symptomatische Methode zur Vermeidung der Reißinitiierung bzw. zur Begrenzung bereits aufgetretener Risse wird vorgeschlagen, rechnerisch bewertet und ihr Erfolg im Feldversuch nachgewiesen. Dabei kommt ein Kompressionsring zum Einsatz, dessen konische Form optimiert wurde und der in die Hirnfläche eingeschlagen wird. Er verbreitert sich in Einschlagrichtung, rafft beim Einschlagen Holz, komprimiert es und drückt dabei mögliche Risse zusammen, die somit an ihrer weiteren Ausbreitung behindert werden. Schließlich werden dem Forstmann praktische Hinweise für die Verwendung der Kompressionsringe gegeben.

COMPRESSION RING FOR STOPPING OF END CRACKS IN FELLED DECIDUOUS TREES

Summary:

Especially deciduous trees may fail after felling by formation of radial end cracks which run axially into the tree stem. The cause for this crack formation is described and a symptomatic method is proposed in order to avoid such crack initiation or to arrest already initiated cracks. The method is computersimulated by use of the Finite Element Method and practical success is demonstrated in a field test. The key is the use of a "compression ring" whose conical shape was optimized. It has to be hammered into the end face. Because of its conical shape it compresses the wood inside the ring and it is able to close present end cracks and by the way it limits further crack propagation. Finally some simple recommendations for the practical application of the compression rings are given to the foresters.

Entstehungsursachen der Hirnrisse

Bäume stehen, wie Abb.1 zeigt, auf ihrer Außenseite unter axialen Zug- in ihrem Inneren aber unter Druckspannungen. Denkt man sich nun einen Baum entlang eines Durchmessers längs aufgeschnitten (Abb.2), so werden infolge der in Abb.1 gezeigten Spannungen die zwei Baumhälften zu Biegebalken, die sich voneinander wegbiegen. Hat der Baum viel Reaktionsholz angelegt, das bei Laubbäumen als Zugholz [1,2] wirkt, um z.B. geneigte Stämme aufzurichten bis ihr Schwerpunkt wieder über der Mitte des Stammfußes ruht, so wirken zusätzliche Biegespannungen (Abb.3) und verwölben die Hirnfläche (Schnitt A-A') besonders längs jener Biegeachse, um die das reaktionsholzbedingte Biegemoment dreht, nämlich in etwa längs des kleineren Durchmessers. Säge man jetzt längs dieses kleinen Durchmessers, so würde eine besonders starke Neigung der Stammteile, sich voneinander wegzubiegen, auftreten. - Auch wenn man den bisher 'gedachten axialen Sägeschnitt' nicht ausführt, so bleibt doch die Neigung auch der nicht manuell getrennten Baumteile, sich voneinander zu separieren, was durch ein konvexes Verwölben der Hirnfläche eingeleitet wird. Bevorzugte Bruchorientierung ist der kleinere Durchmesser eben wegen der Wirkung des Zugholzes, wie einige Beispielfotos (Abb.4) belegen. Die Neigung axialer Baumteile, sich voneinander wegzubiegen, sieht man auch bei auf natürliche Weise angebrochenen Bäumen (Abb.5). Nach dieser qualitativen Beschreibung der Ursachen für die Hirnrisse sind die einzelnen Stadien der Hirnrißbildung wie folgt angeführt (Abb.6).

- Störung des axialen Kraftgleichgewichtes im Stamm durch Sägeschnitt
- Konvexe Verwölbung der Schnittfläche bevorzugt entlang des kleinen Durchmessers falls Zugholz vorhanden, d.h. falls der Stammquerschnitt oval ist
- Rißinitiierung etwa in der Mitte des kleineren Durchmessers bei Präsenz von Zugholz und Ausbreitung entlang desselben oder Rißinitiierung und Ausbreitung in der Stammitte entlang eines 'zufälligen' Durchmessers ohne Präsenz von Zugholz, d.h. bei etwa kreisrundem Querschnitt
- Rißarrest vor Erreichen der Stammpерipherie falls nicht genug elastische Energie im Stamm gespeichert ist oder alternativer vollständiger Riß, meist entlang des kleineren Durchmessers und axiales Einlaufen in den Stamm
- Bei hohen Wachstumsspannungen können sich die separierten Hälften nochmals teilen und einen meist in etwa kreuzförmigen Riß oder einen Tripelriß erzeugen (Abb.7). Letzteres ist häufiger bei etwa kreisrunden Baumstämmen, die keine eigentliche Vorzugsrichtung haben. Ovale Stämme mit viel Zugholz reißen dagegen meist in der Vorzugsrichtung des kleinen Durchmessers.

Wichtig ist, daß diese Hirnrisse teilweise sofort beim Fällen entstehen, vielleicht noch begünstigt durch vom Aufschlag induzierte Biegeschwingungen, teilweise aber auch erst nach Stunden oder Tagen. Für letztere '**verzögerte Rißbildung**' bietet sich eine mechanische Maßnahme an, die nach dem Fällen auf der Hirnfläche selbst ansetzt. Für erstere '**Spontanrisse**' muß vor dem Fällvorgang eine weniger 'symptomatische' als eher 'kausale', den Spannungszustand im Baum vor dem Fällen glättende Maßnahme getroffen werden.

Über die von den Autoren vorläufig hier favorisierten Methoden soll berichtet werden, wenn die aus der Literatur bekannten Methoden nachfolgend beschrieben und im Vergleich kritisch bewertet worden sind. In [1] wurde die Auswirkung neuer Fälltechniken auf die spontane Hirnrißbildung untersucht und erste Erfolge berichtet. Diese Arbeiten werden weitergeführt. Parallel dazu soll hier als kurzfristige Lösung eine neue symptomatische Methode zur Begrenzung von Hirnrissen vorgestellt werden.

2. Kritik am S-Haken

Die wohl bekannteste Gegenmaßnahme, die zur Verhinderung einer weiteren Rißbildung nach dem Fällen praktiziert wird, ist das Einschlagen von S-Haken (Abb.8). Obwohl sie natürlich eine gewisse Wirkung zeigen und enormes Aufweiten von Rissen insbesondere beim späteren Lagern durchaus begrenzen, müssen folgende Schwachpunkte des S-Hakens mit Kritik bedacht werden:

- Der S-Haken wird nur in einer Richtung voll wirksam. In andere Richtungen können sich durchaus Sekundärrisse ausbilden (Abb.9).
- Der S-Haken ist im Grunde eher zugweich, er läßt sich bei hinreichendem Zug "fingerhakenartig" aufbiegen und kann nie die Festigkeit einer geschlossenen Schleife erreichen.
- Der S-Haken ist naturgemäß nicht dazu geeignet (und wohl auch nicht dafür gedacht!), einen vorhandenen Riß wieder zu schließen, ihn zu komprimieren.
- Selbst bei wohlwollender Betrachtung wirkt der S-Haken eher als ein "Abstandshalter" der eine gewisse Rißöffnung fixiert (Abb.10) er würde aber dem Weiterwachsen des Risses besser entgegenwirken, wenn der vorhandene Riß wieder zusammengedrückt würde.

Es wurde daher nach einer besseren technischen Lösung gesucht, die diese Mängel nicht aufweist.

3. Der Kompressionsring: Idee und qualitative Beschreibung

Schon früher (siehe [5,6]) wurde versucht, Ringe aus Stahlblech in die Hirnfläche gefällter Bäume zu schlagen. Der Nutzen dieses Verfahrens wurde in einigen Versuchen auch nachgewiesen, wobei durch die nichtkonische Form, der Effekt ähnlich dem des S-Hakens ist. Der Autor berichtet auch von praktischen Versuchen, deren Erfolge vergleichbar mit denen des S-Hakens seien. Da sich ein Kreisring in alle diametralen Richtungen gleichartig verhält, geht dieser Gedanke bereits in die richtige Richtung, nämlich insofern, daß die einseitige Vorzugsrichtung des S-Hakens kein Problem mehr ist. Der ins Holz getriebene Ring ist durch seine innere "Holzfällung" auch durchaus querversteift und damit zugfest. Unbefriedigend ist, daß auch hier die Risse nur fixiert, nicht aber wieder geschlossen werden.

Abb.11 zeigt zwei wohl allseits befriedigende Lösungen. Diese unterscheiden sich nicht im Wirkprinzip, sondern nur in der technischen Realisierung. Die konische Form der Innenfläche des "Kompressionsringes" [7] rafft beim Einschlagen mehr Holz, als in dem sich zunehmend verengenden Ring eigentlich Platz findet. Das vom Ring umschlossene Holz wird komprimiert. Befindet sich nun ein Riß innerhalb des umschlossenen Bereiches, so wird dieser wieder zusammengedrückt (Abb.12). Aus der Bruchmechanik ist bekannt, daß dies die Neigung des Risses zu seiner weiteren Verlängerung in den Stamm hinein drastisch reduziert. Die Rißöffnung wird, im Gegensatz zum S-Haken nicht festgeschrieben, sie wird vielmehr deutlich reduziert und ein axiales Weiterlaufen des Risses wird denkbar unwahrscheinlich gemacht. Dem Forstmann, der lediglich an der praktischen Seite der Methode interessiert ist, wird geraten, erst bei Kapitel 6 weiterzulesen und die nachfolgende theoretische Quantifizierung und bruchmechanische Bewertung zu übergehen.

4. Finite Elemente Analyse der Spannungen im Holz

Wie auch in [2] wird auch hier ein gerader rotationssymmetrischer Stamm mit kreisförmigem Querschnitt ohne Reaktionsholz den Berechnungen zu Grunde gelegt. Es wird dann weiter vereinfacht und nur ein Längsschnitt durch diesen Stamm betrachtet. Die Verteilung der Wachstumsspannungen im ungefllten aufrechten Baum werden entsprechend den bei Kbler [4] angegebenen Beziehungen im Rahmen der hier beschriebenen Finite-Elemente (FEM) Analyse fiktiv als Wärme­spannungen dem Baum eingep­rügt. Der Verlauf dieser Wachstumsspannungen ist in Abb. 13 zu sehen. Dieses ebene Modell entspricht nicht exakt den Vorgaben von Kbler, was aber für die Betrachtung der wesentlichen Mechanismen nur von untergeordneter Bedeutung sein dürfte. Das isotrop angenommene Material hat einen Elastizitätsmodul von $E = 11200 \text{ N/mm}^2$ und eine Querkontraktionszahl von $\nu = 0,26$ (Materialwerte der Buche nach Archer [3]). Die untersuchte FEM-Struktur ist mit den entsprechenden Randbedingungen in Abb.14 dargestellt.

Als erster Referenzzustand gilt der ungefüllte Baum, dessen Längsspannungsverteilung in Abb.15 zu sehen ist. Wenn nun der Stamm gefllt wird, werden die Längsspannungen frei und es kommt zur Verformung der Hirnfläche. In Abb.16a ist diese Verformung mit einem starken Vergrößerungsfaktor ($s=50$) dargestellt. Die auftretende Längsspannungsverteilung ist in Abb.16b zu sehen. Abb.16c zeigt die zur Stammitte hin stark ansteigenden Querspannungen, deren Verlauf entlang einer Linie an der Hirnfläche von $r=0$ bis $r=r_a$ in Abb.16d verdeutlicht wird. Die im äußeren Bereich auftretenden axialen Zugspannungen werden also nach dem Fällen zur Mitte der Hirnfläche umgelenkt, wo sie als die eigentlich riverursachenden Zugspannungen anzusehen sind.

Wird nun das Einschlagen des Kompressionsringes computersimuliert, was durch die Option "prescribed displacements" im verwendeten FEM-Programm ABAQUS [6] geschieht, so werden diesen Zugspannungen starke Druckspannungen innerhalb des vom Ring umschlossenen Bereichs überlagert. Abb.17a und b zeigen wieder die Verteilung der Längsspannungen und der Querspannungen. Der Verlauf der Querspannungen an der Oberfläche ist wiederum in Abb. 17c dargestellt (von $r = 0$ bis $r = r_a$). Im Ringinneren liegen nunmehr am Ort der ehemals riverursachenden Zug- enorm hohe Druckspannungen vor, die jeden vorhandenen Riß wieder schließen.

Der Effekt dieses simplen mechanischen Bauteiles ist spektakulär! Wenn man die Abbildungen Abb.16d und Abb.17c miteinander vergleicht, sieht man deutlich, daß die für die Rißbildung in der Stammitte verantwortlichen Zugspannungen in Querrichtung innerhalb des Kompressionsringes in entsprechende Druckspannungen umgewandelt werden.

Nachdem diese enorm positiven Auswirkungen des Kompressionsringes auf die Spannungen im Bereich der Hirnfläche rechnerisch aufgezeigt wurden, soll nachfolgend im Rahmen einer bruchmechanischen Analyse die Auswirkung des Kompressionsrings auf einen bereits mit einem Riß behafteten Stamm untersucht werden.

5. Bruchmechanische Bewertung der Auswirkungen des Kompressionsrings auf einen bereits gerissenen Stamm

Es wird unterstellt, daß direkt nach dem Fällvorgang, also noch vor dem Einschlagen des Kompressionsringes, bereits ein Riß axial ein Stück in den Stamm eingelaufen ist (die angenommene Rißlänge entspricht dem Durchmesser des Stammes). Erst danach wird der Kompressionsring eingeschlagen, und es werden dann die Auswirkungen dieser Maßnahme auf die Neigung des Risses zu einer weiteren Verlängerung untersucht.

Ein Maß für eine potentielle Rißverlängerung ist dabei der Spannungintensitätsfaktor "K", welcher aus dem durch das FEM-Programm ABAQUS berechneten Wert des "J-Integrals" gewonnen werden kann. Das J-Integral wurde daher für den Zustand vor und nach dem Einschlagen des Kompressionsringes berechnet. Physikalisch ist das J-Integral in elastischen Materialien praktisch jene Energie, die freigesetzt wird, wenn die Rißlänge sich um ein kleines Stück vergrößert. Man nennt es daher auch "Energiefreisetzungsrate". Viel freigesetzte Energie pro Rißfortschritt bedeutet daher eine hohe Bereitschaft des Risses, sich weiter zu verlängern.

Um den Riß im Stamm auf möglichst einfache Art und Weise darstellen zu können, wird wiederum (siehe auch [2]) nur ein Längsschnitt durch den Stamm betrachtet, der näherungsweise als "ebener Verzerrungszustand" beschrieben wird. Die Struktur mit dem bereits vorhandenen Riß (Rißlänge $l = 2r_a$) ist in Abb.18 dargestellt. Dabei ist links die unverformte Struktur mit den entsprechenden Randbedingungen und rechts die durch die aufgebrachten Wachstumsspannungen bereits verformte Struktur zu sehen. Zur Verdeutlichung der Rißaufweitung sind die Verschiebungen zehnfach überhöht dargestellt.

Die Abb.19a,b zeigen wiederum die Längsspannungsverteilung und die Hauptnormalspannungstrajektorien (Kraftfluß). Deutlich ist dabei zu sehen, daß die Umlenkung der axialen Zugspannungen im Bereich der Rißspitze erfolgt, was zu einer Spannungsüberhöhung in diesem Bereich führt, die eine weitere Rißverlängerung begünstigt.

Nach dem Einschlagen des Kompressionsringes wird die Rißöffnung wieder geschlossen (siehe auch Abb.12) und die Umlenkung der axialen Zugspannungen erfolgt nicht mehr allein am Ort der Rißspitze, sondern auch über den Kompressionsring, was zu einer Reduktion der ursprünglichen Werte für das J-Integral auf 0,1% führt. Die Abb.20a,b zeigen wiederum die Längsspannungsverteilung, sowie die Hauptnormalspannungstrajektorien (Kraftfluß). In der Abb.21 ist die durch das Einschlagen des Kompressionsrings aufgebrachte Verschiebung dargestellt. Um diese deutlicher sichtbar zu machen, wurde dazu ein kleiner Ausschnitt des Baumes herausgehoben.

Der Kompressionsring stellt also auch bei bereits angerissenen Stämmen eine sinnvolle Maßnahme zur Verhinderung einer weiteren Rißverlängerung dar. Um diese Effekte auch in ihrer praktischen Anwendung zu überprüfen, wurden nunmehr praktische Versuche durchgeführt.

6. Beschreibung der Handhabung und Felderprobung

Für die Einschlagversuche wurden aus einem Rotbuchenbestand im Pfälzer Wald mehrere Stämme ausgewählt. Dabei wurden sowohl auf der Seite des Fällschnittes als auch der des Trennschnittes, welcher Stamm und Krone trennt, in die jeweilige Hirnfläche ein Kompressionsring eingeschlagen.

Der Ablauf des Einschlagvorgangs selbst ist in Abb.22a verdeutlicht. Der Kompressionsring wird zentriert auf die Markhöhle angesetzt, auf einer Seite halb versenkt und danach vollständig in die Hirnfläche eingeschlagen. Bei unrunder Schnittflächen (siehe Abb.22b) ist darauf zu achten, daß der Ringmittelpunkt mit der Markhöhle des Stammes übereinstimmt. Insgesamt wurden 20 Ringe im Versuch verwendet und in die Stämme eingeschlagen, wobei einige schon Risse aufwiesen, die durch die Kompressionswirkung beim Einschlagen des Ringes dann auch wieder geschlossen wurden (siehe Abb.23). In der Abb.24 sind einige Beispiele von Hirnflächen ohne bereits vorhandenen Riß aufgeführt. Bei allen Stämmen traten nach dem Einschlagen des Kompressionsringes keine weiteren Risse auf, bzw. die bereits vorhandenen Risse wurden in ihrer weiteren Ausbreitung behindert.

Die Ringe verbleiben, ebenfalls wie die herkömmlichen S-Haken, im Stamm bis zur endgültigen Weiterverarbeitung im Sägewerk.

7. Schlußfolgerungen

Für das Fällen von Bäumen lassen sich aus dieser Arbeit folgende Erfahrungen ableiten:

- Der Fällvorgang stellt eine Störung des axialen Eigenspannungszustandes des Stammes dar, die sich in der Entstehung von rißverursachenden Zugspannungen in Umfangsrichtung auf der neuen freien Oberfläche des Stammes niederschlägt.
- Diese Zugspannungen lassen sich durch das Einschlagen eines Kompressionsringes (siehe auch Abb.11,12,23) gravierend reduzieren bzw. im Bereich innerhalb des Ringes auch in entsprechende Druckspannungen umwandeln. Die Neigung zur Hirnrißbildung läßt sich so stark reduzieren bzw. sogar ausschließen.
- Auch bereits vorhandene Risse werden durch den Kompressionsring in ihrer Tendenz, sich weiter zu verlängern, stark behindert.

Der Kompressionsring ist als denkbar einfachstes technisches Hilfsmittel zur Vermeidung von Hirnrissen in Bäumen von geradezu spektakulärem Erfolg und wird für die Anwendung in der Praxis uneingeschränkt empfohlen.

8. Dank

Die Autoren danken dem Forstinspektoranwärter Jörg Sigmund für die Mitbetreuung der Feldversuche und für die Erprobung der Prototypen der zweiten Generation.

Literatur

- [1] C. Mattheck
Warum sie wachsen, wie sie wachsen - die Mechanik der Bäume
KfK-Bericht Nr.4486,1988
- [2] C. Mattheck, F. Walther, K.Keilen
Hirnrisse in Laubbäumen
KfK-Bericht Nr.4557,1989
- [3] R. Archer
Growth stresses in trees
Springer Verlag 1986
- [4] H. Kübler
Growth stresses in trees and related wood properties
Forestry Abstracts 48 (1987) 131-189
- [5] W. Liese
Der Schutz des Buchenstammholzes
Holz-Zentralblatt, Ausgabe vom 21.01.1958
- [6] H. Mayer-Wegelin, E. Mammen
Spannungen und Spannungsrisse im Buchenstammholz
Allg. Forst- und Jagdzeitung 1954 S.287-297
- [7] C. Mattheck, K.Keilen
Klammerelement für gefällte Bäume
Gebrauchsmuster-Schrift 1989

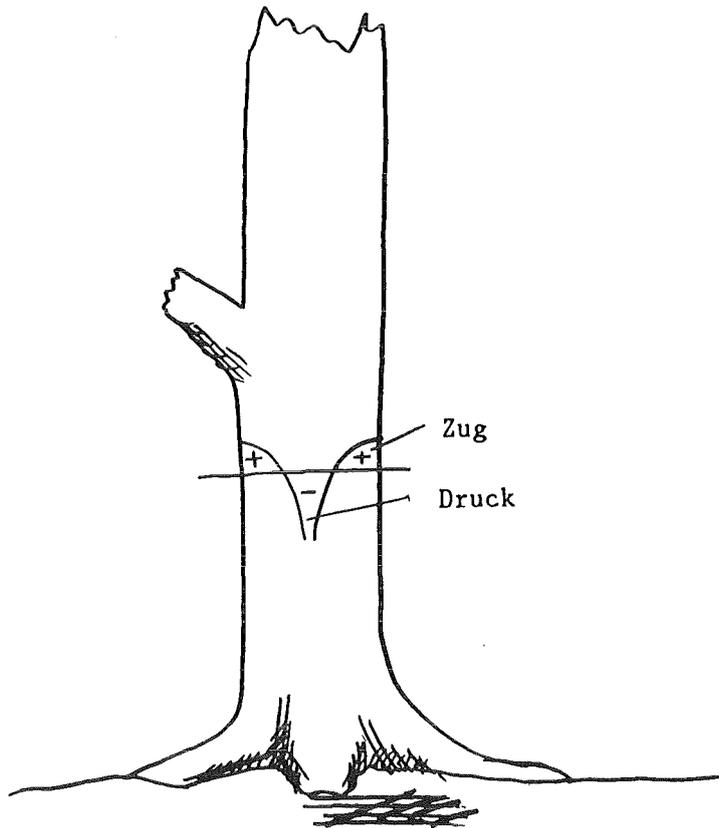


Abb.1 Äußere Zug- und innere Druckspannungen auch beim aufrechstehenden Baum

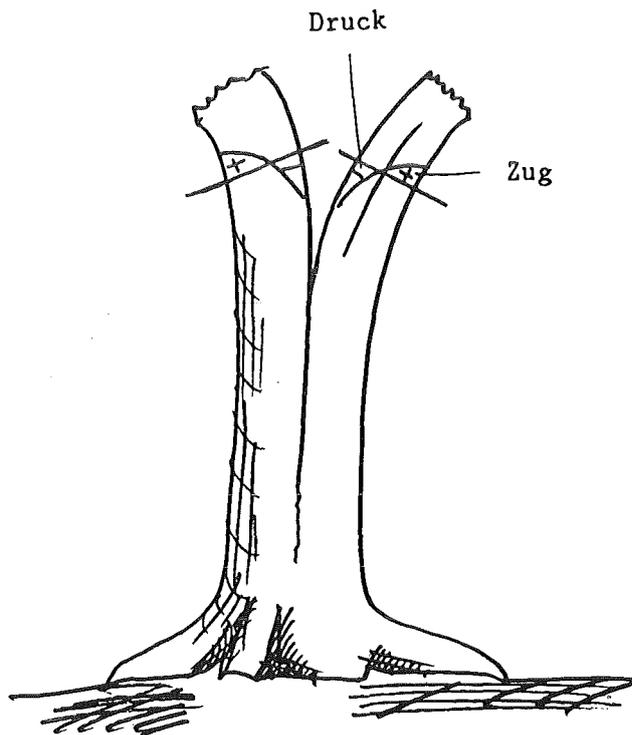


Abb.2 Voneinanderwegbiegen zweier durch Längsschnitt getrennter Baumhälften

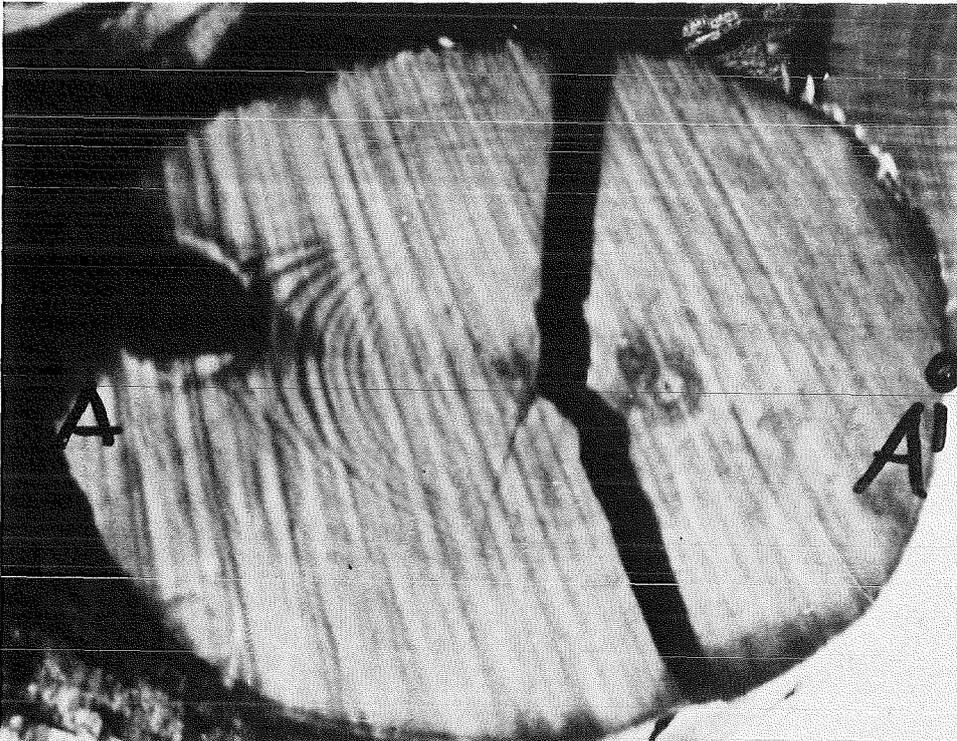
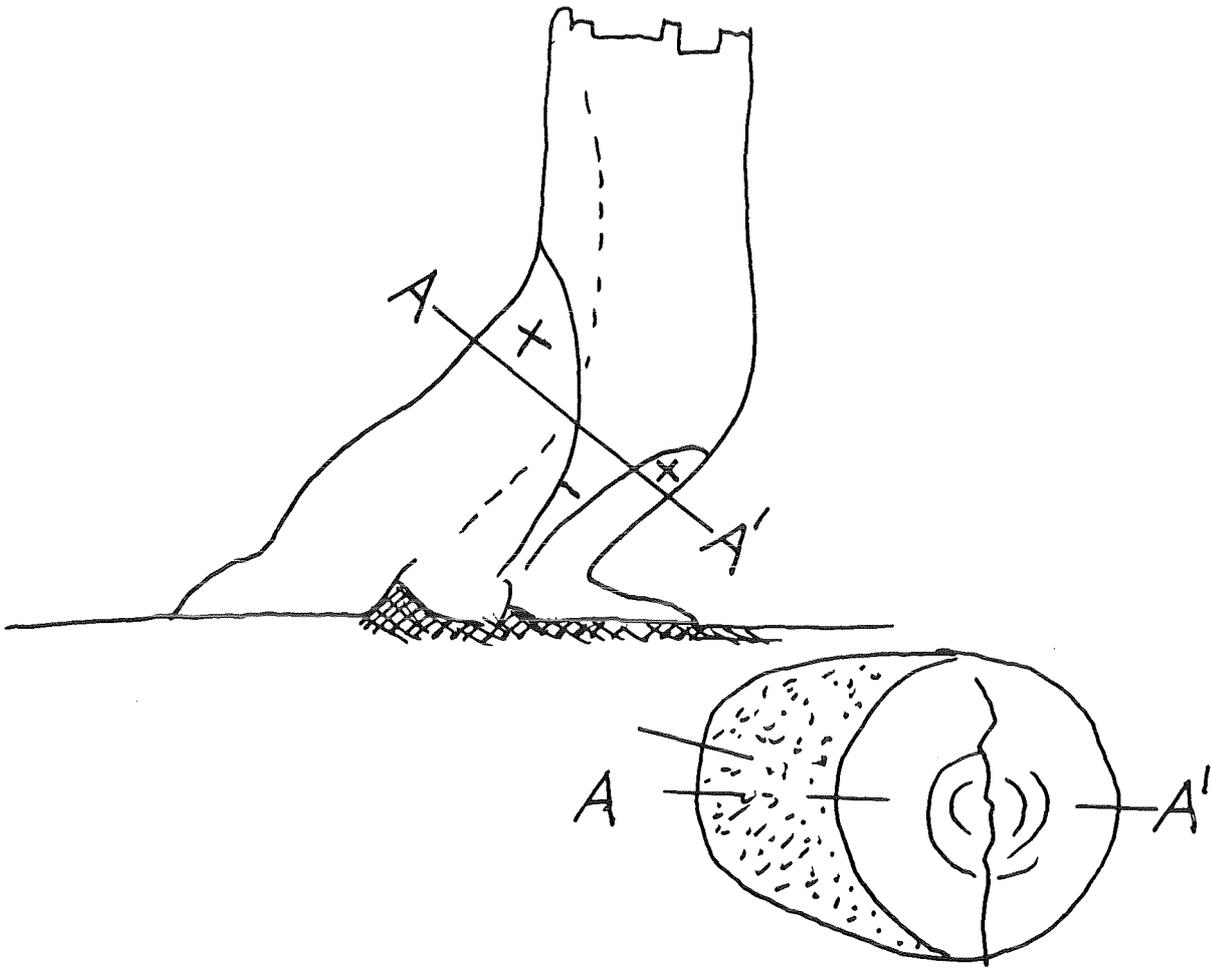
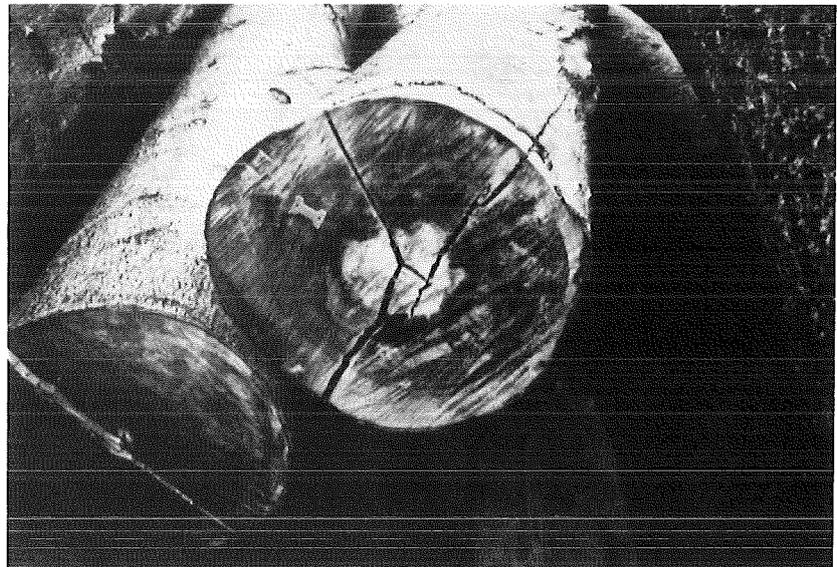


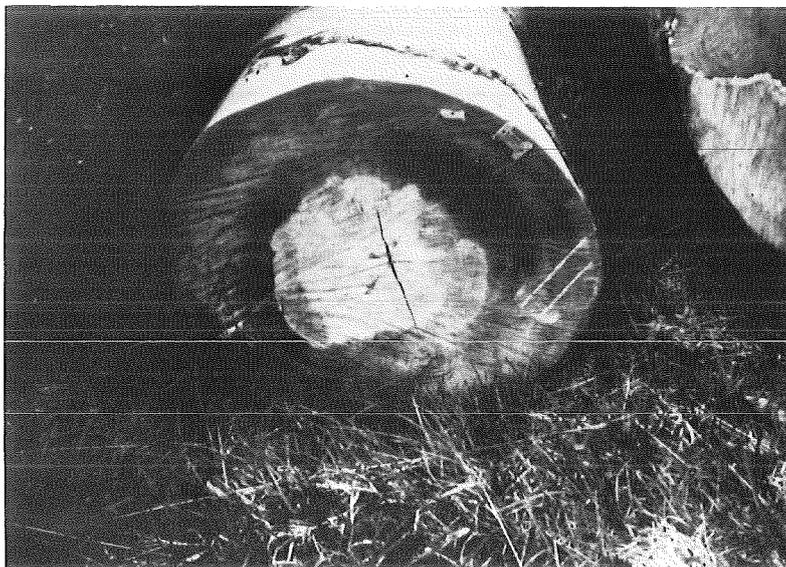
Abb.3 Zusätzliche Biegespannungen bei Präsenz von Zugholz bewirken Bruch längs des kleineren Durchmessers



a)



b)



c)

Abb.4a-c Bruch entlang des kleineren Durchmessers bei Präsenz von Zugholz

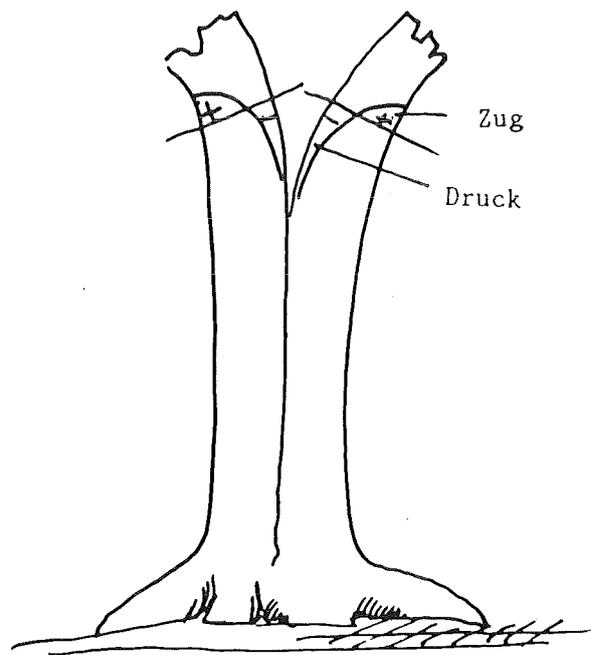
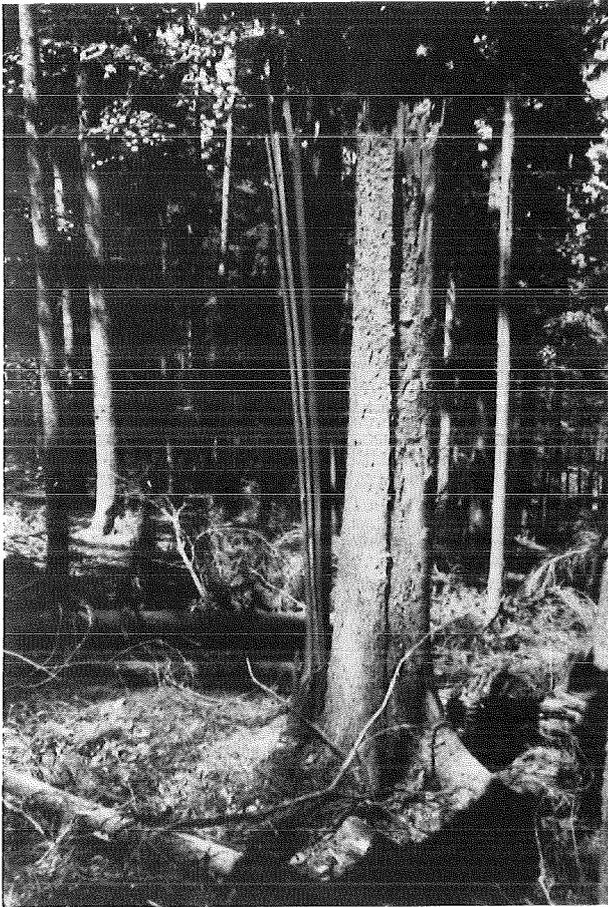


Abb.5 Neigung der Längsschäfte sich auch bei natürlicher Baumtrennung voneinander wegzubiegen

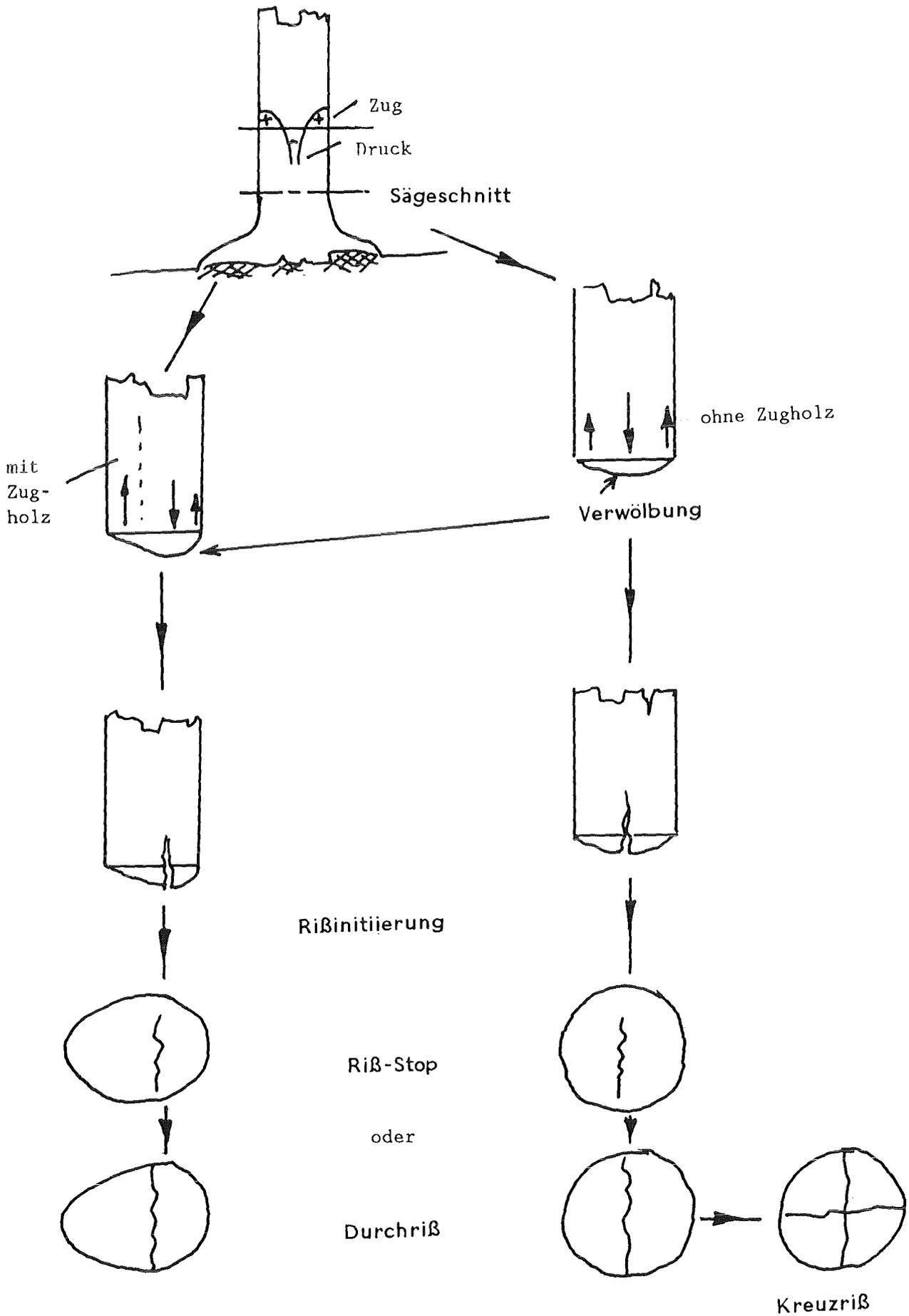
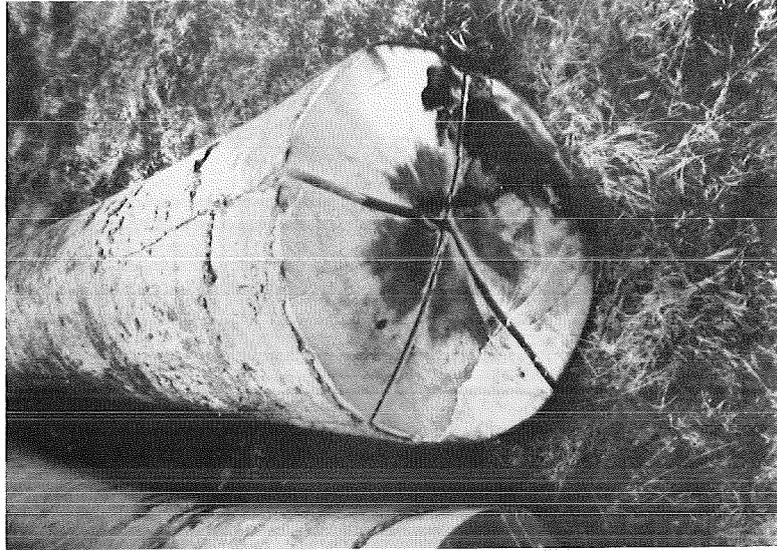
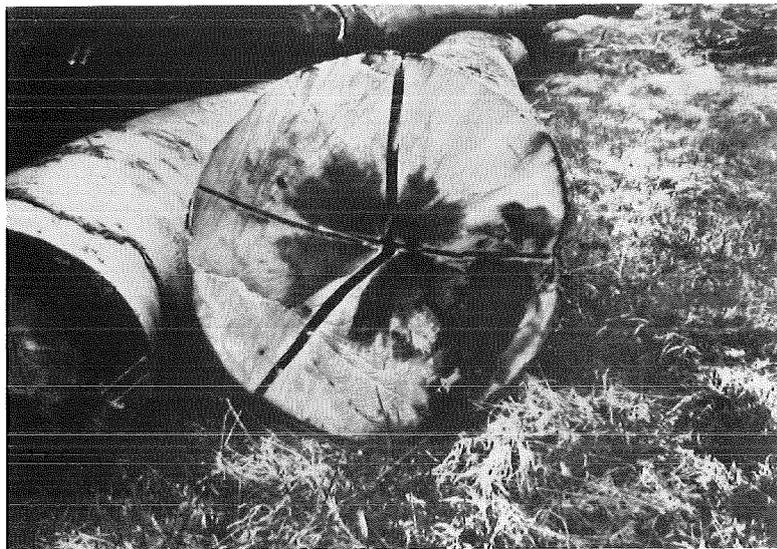


Abb.6 Schema der Hirnrißbildung in Teilstufen

a)



b)



c)

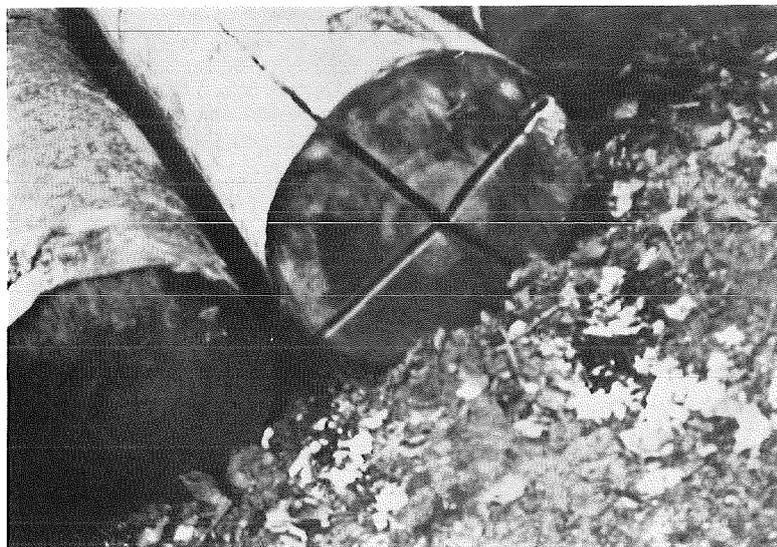


Abb.7a-c Kreuzförmige Risse entstehen meist bei etwa runden Stämmen

Abb.8a,b S-Haken sind nur begrenzt effizient und wirken eher als
'Abstandhalter' ohne Rißkompression



Abb. 8b



Y-Riß als Alternative zum Kreuzriß



Abb.9 Ausbildung von Sekundärrissen nach dem Einschlagen des S-Hakens

Abb.10 S-Haken wirken eher als "Abstandshalter". Der bereits vorhandene Riß wird nicht verändert.



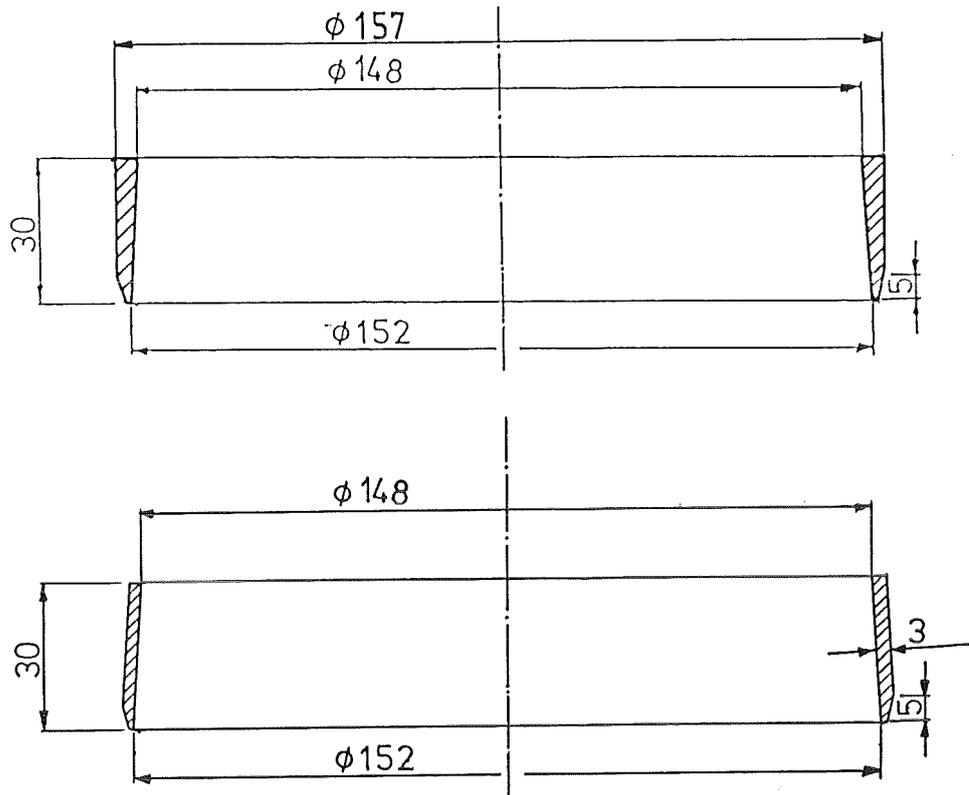


Abb.11 Charakteristische Maße des Kompressionsrings

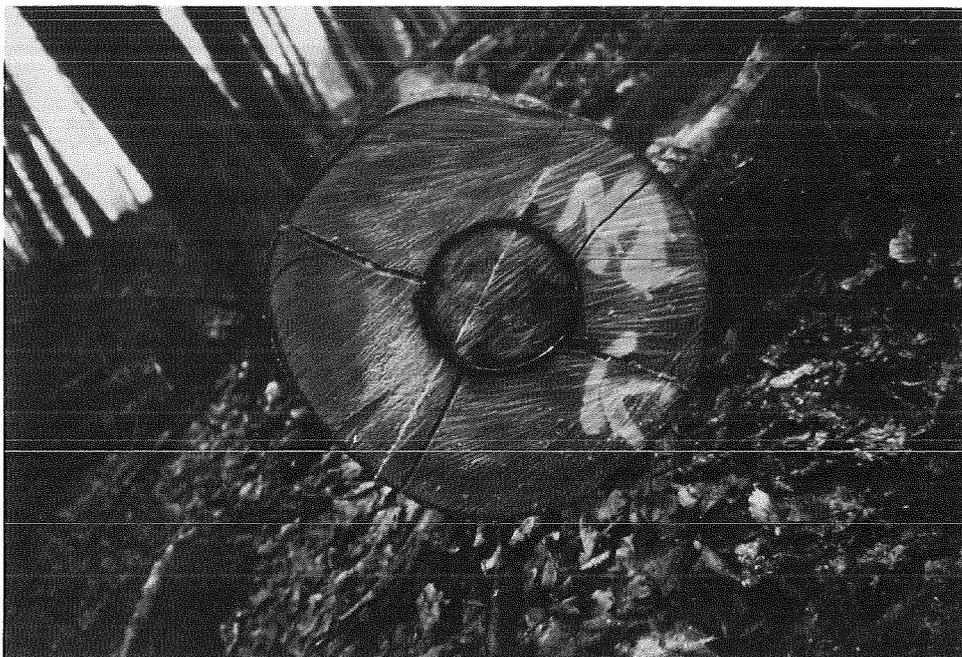


Abb.12 Bereits vorhandene Risse werden innerhalb des Kompressionsrings wieder zusammengedrückt

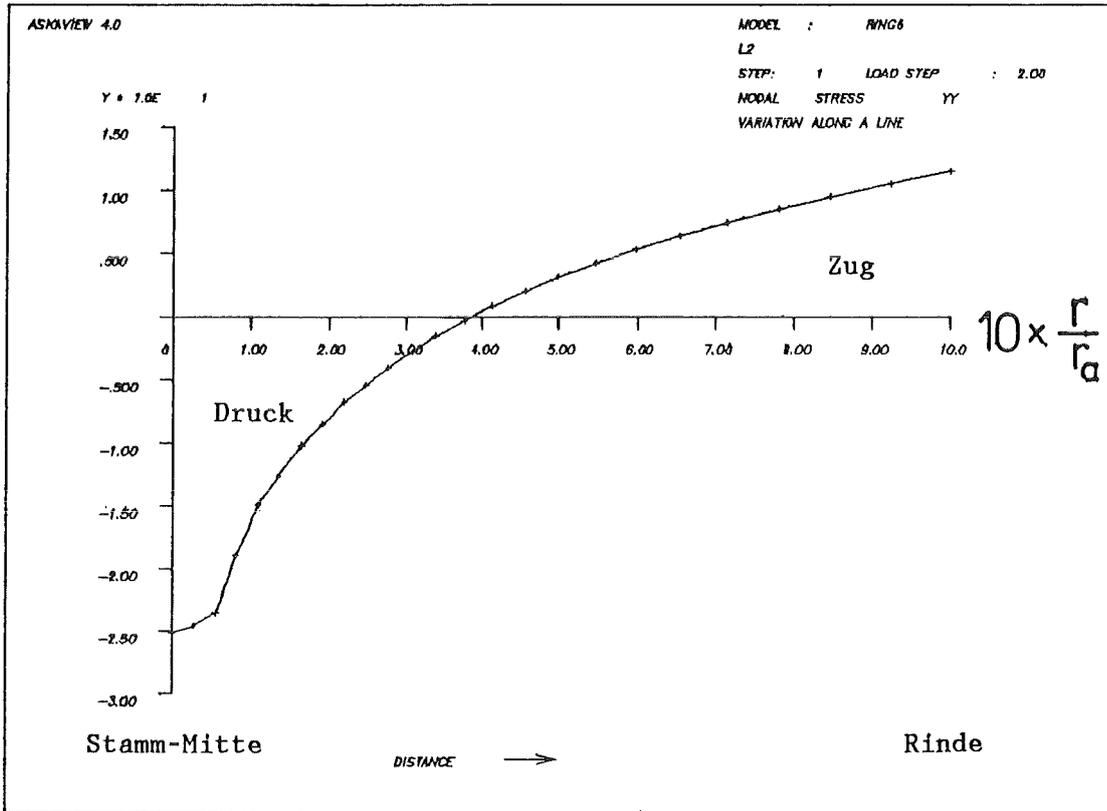


Abb.13 Durch Thermospannungen aufgebrachte Eigenspannungsverteilung in axialer Richtung (nach Kübler [4])

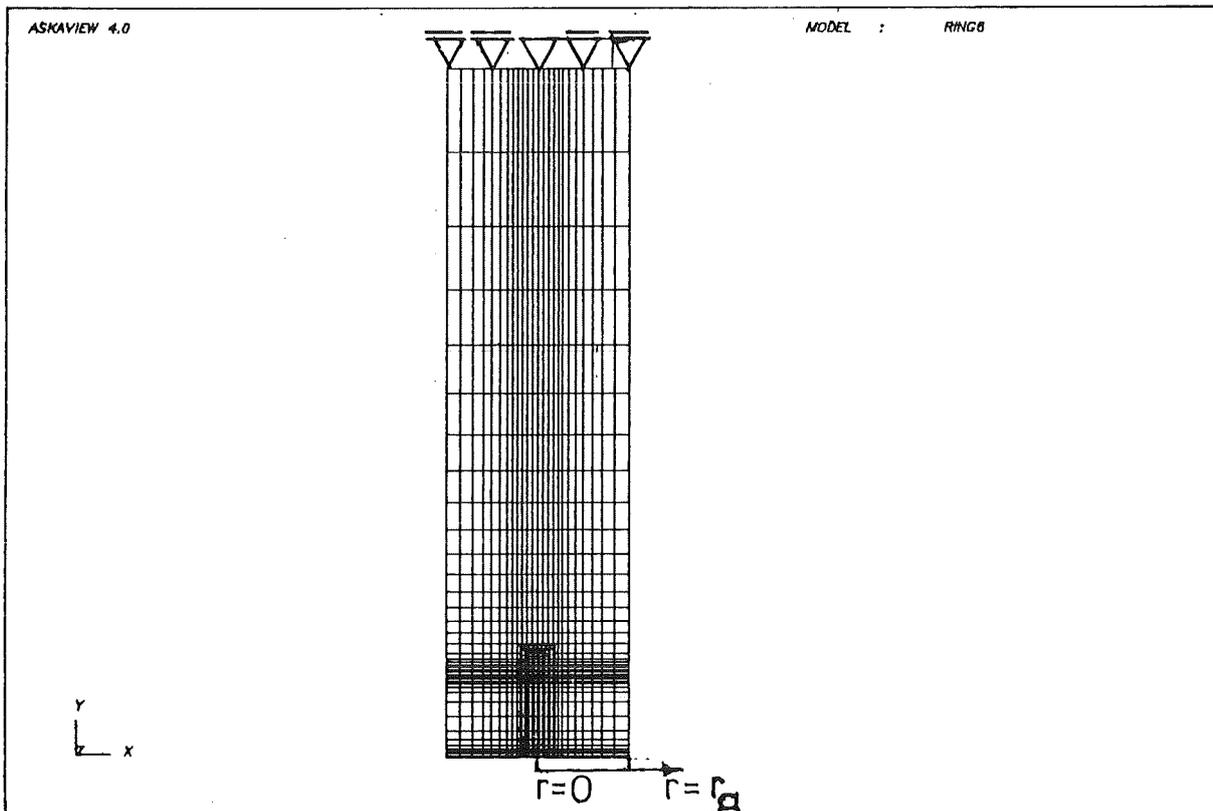


Abb.14 Finite-Element Struktur mit Randbedingungen

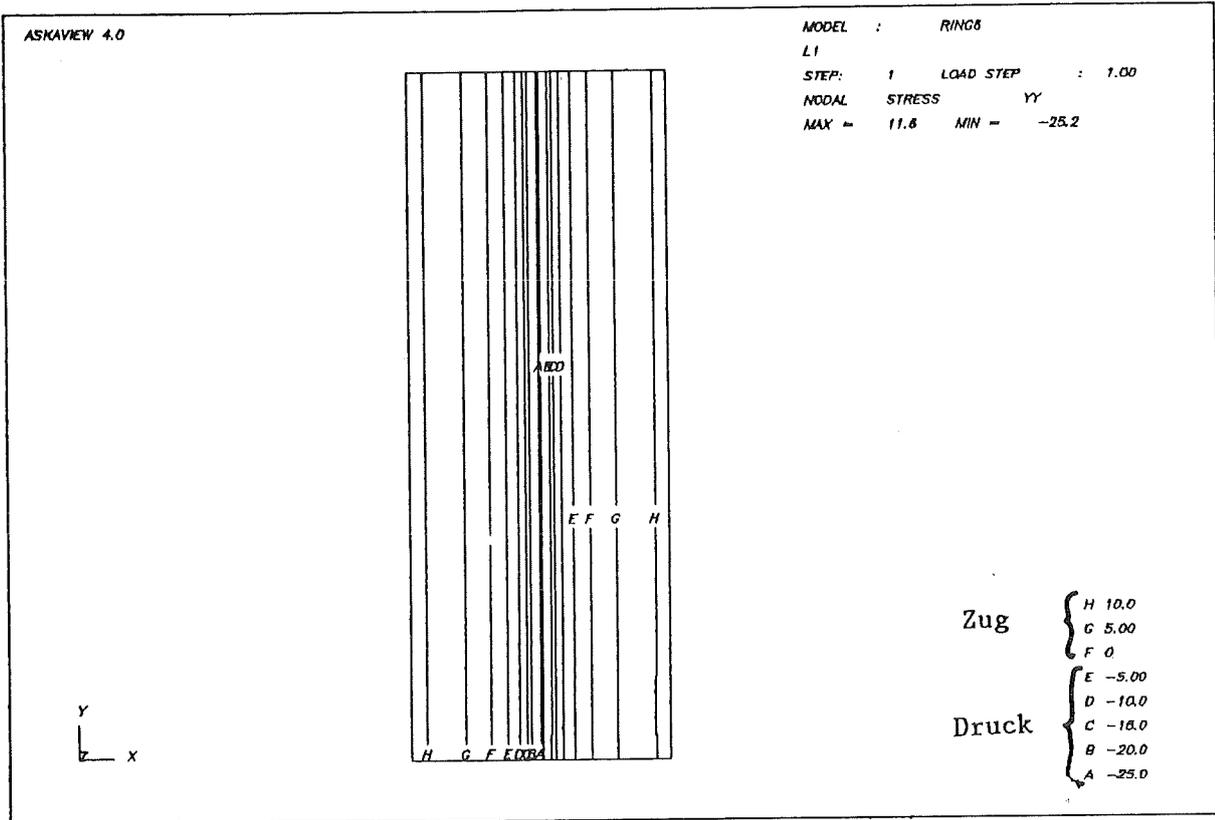


Abb.15 Längsspannungsverteilung des ungefällten Stammes

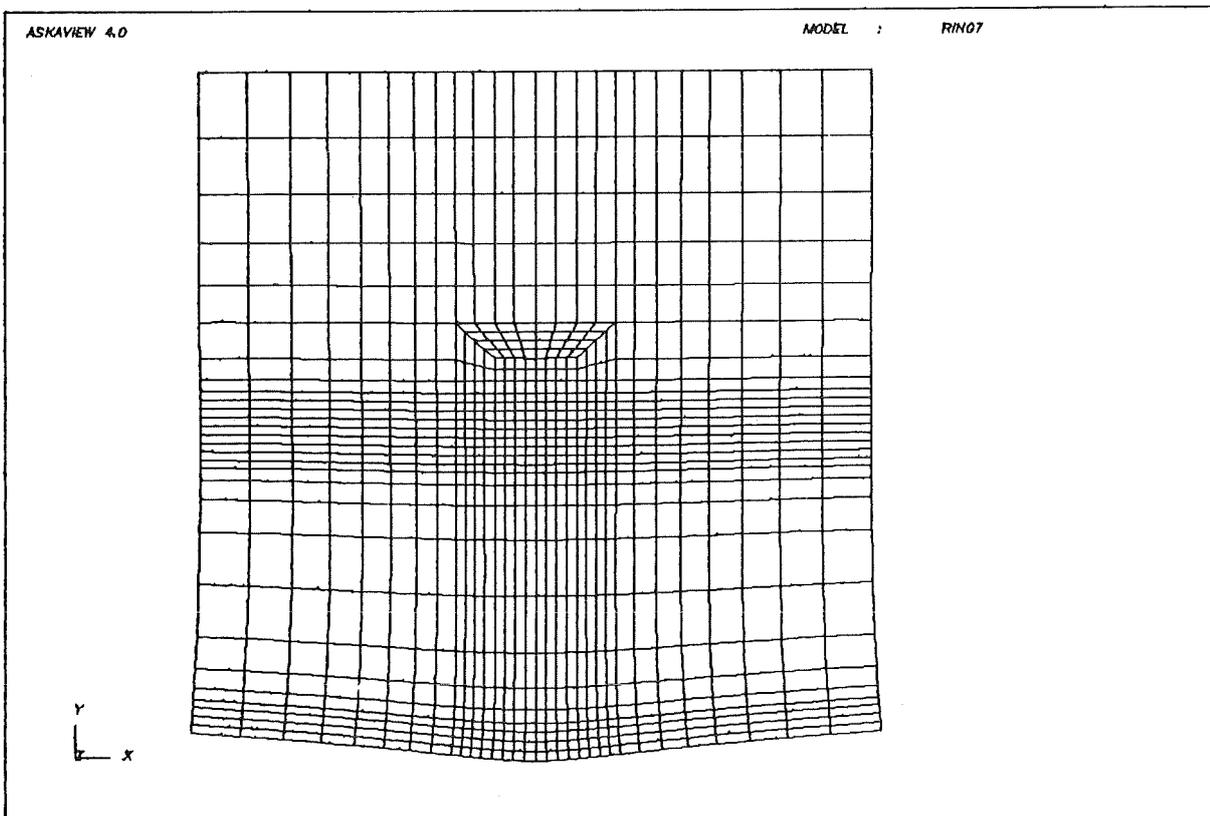


Abb.16a Verformung der Hirnfläche nach dem Fällen
(Vergrößerungsfaktor 50)

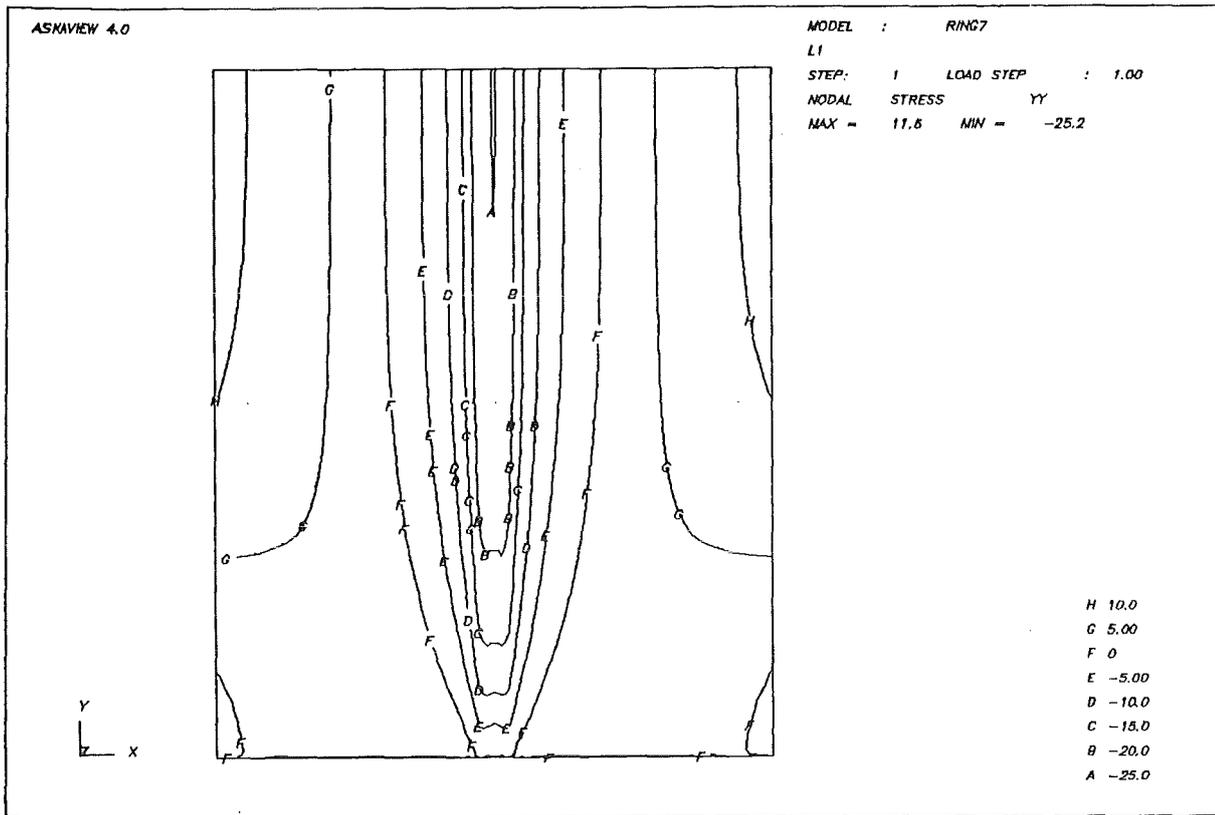


Abb.16b Längsspannungsverteilung des gefällten Stammes

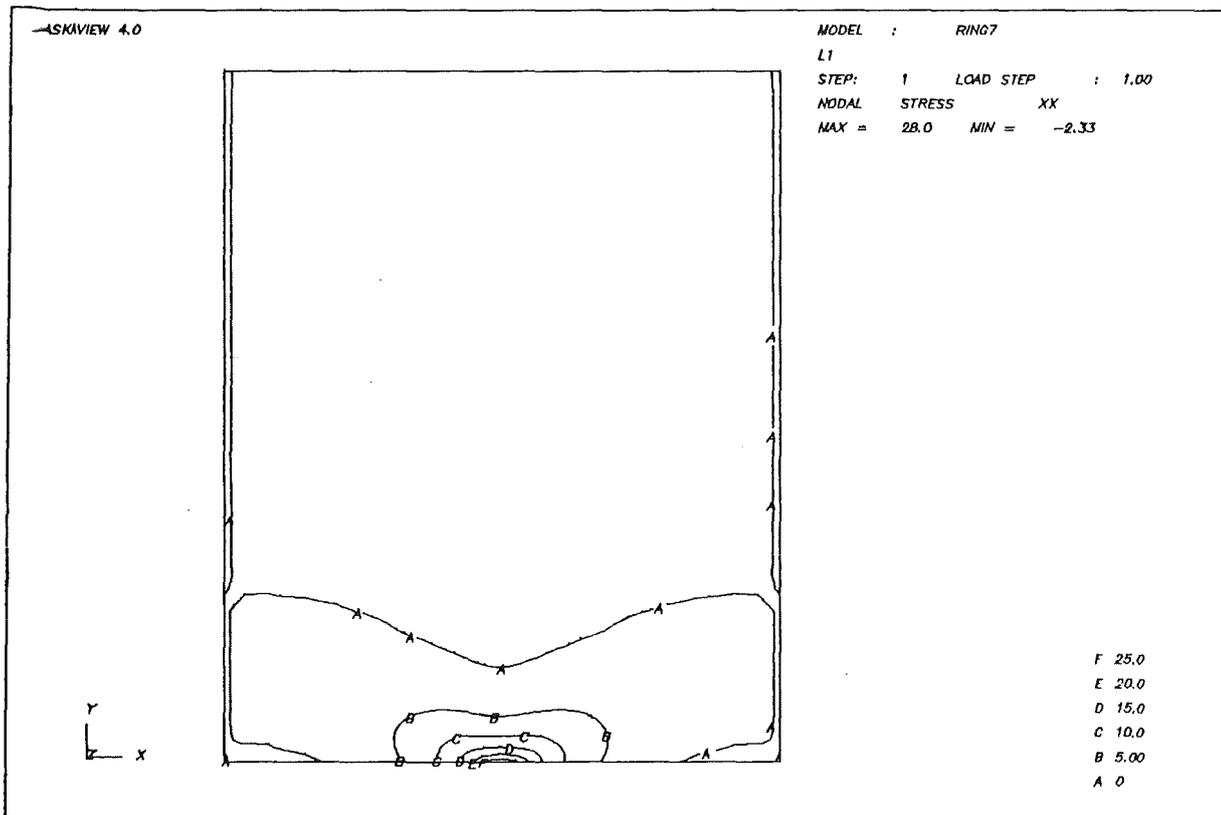


Abb.16c Querspannungsverteilung des gefällten Stammes

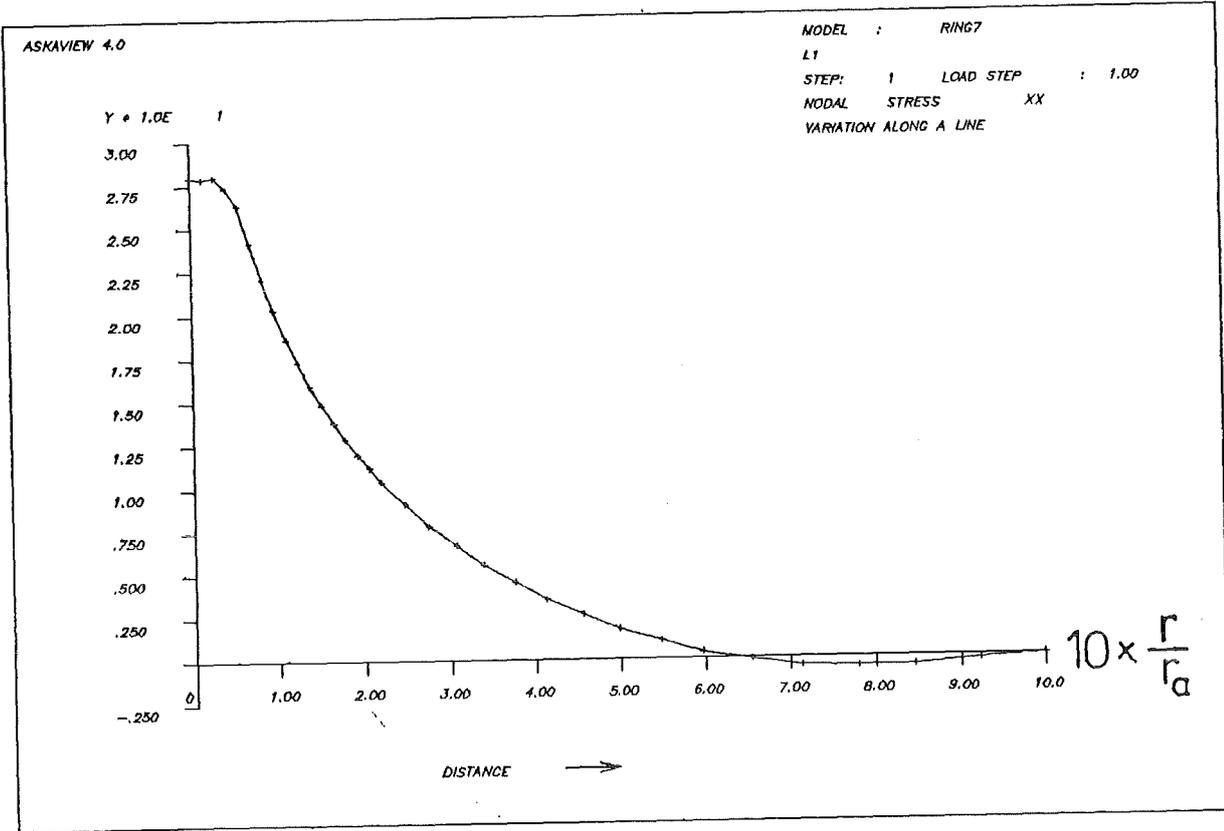


Abb.16d Verlauf der Querspannungen an der Hirnfläche

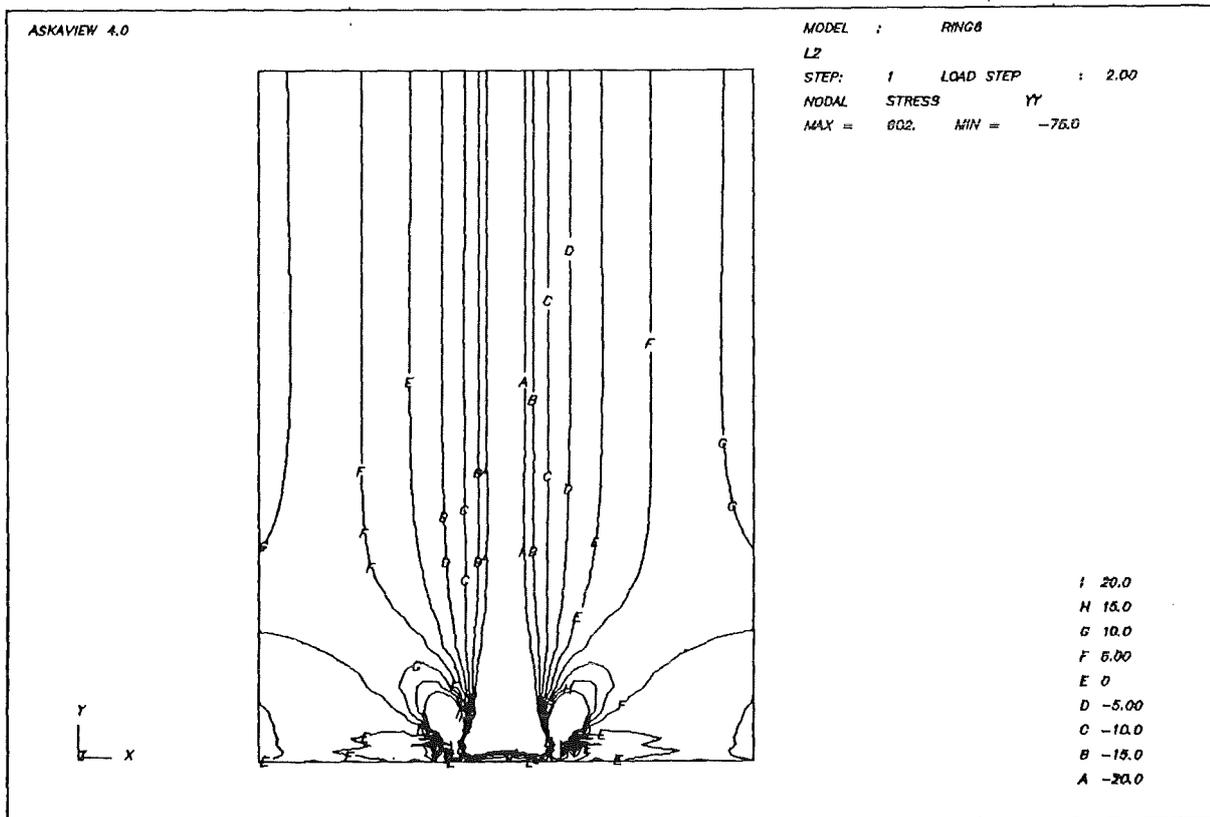


Abb.17a Verteilung der Längsspannungen nach dem Einschlagen des Kompressionsringes

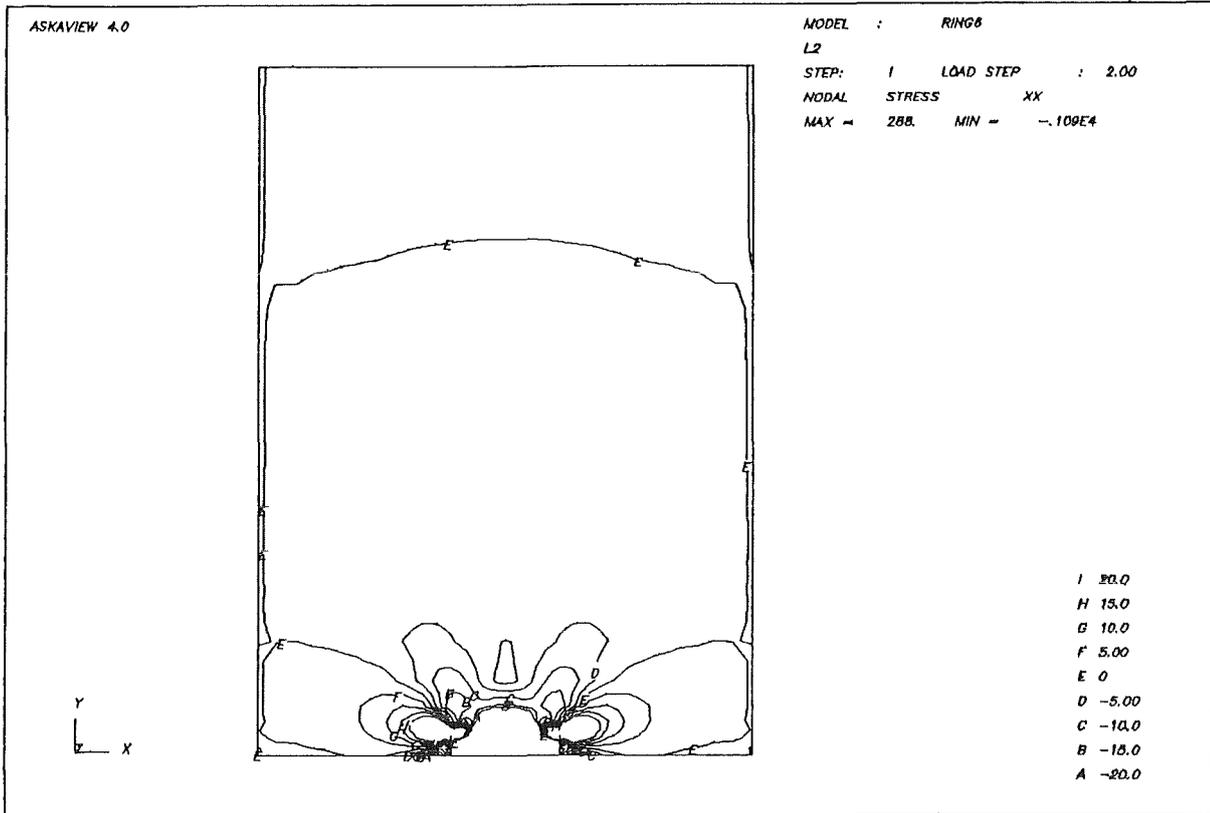


Abb.17b Verteilung der Querspannungen nach dem Einschlagen des Kompressionsringes

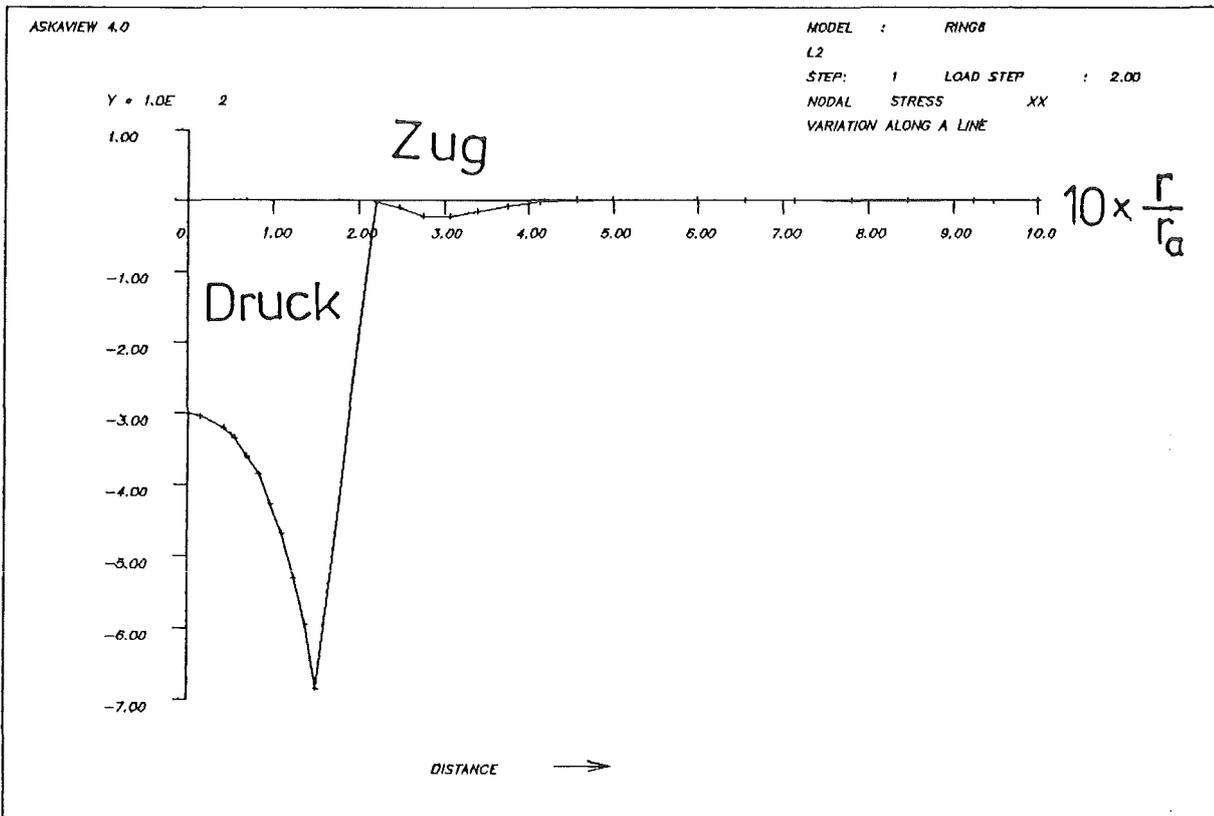


Abb.17c Verlauf der Querspannungen an der Hirnfläche nach dem Einschlagen des Kompressionsringes

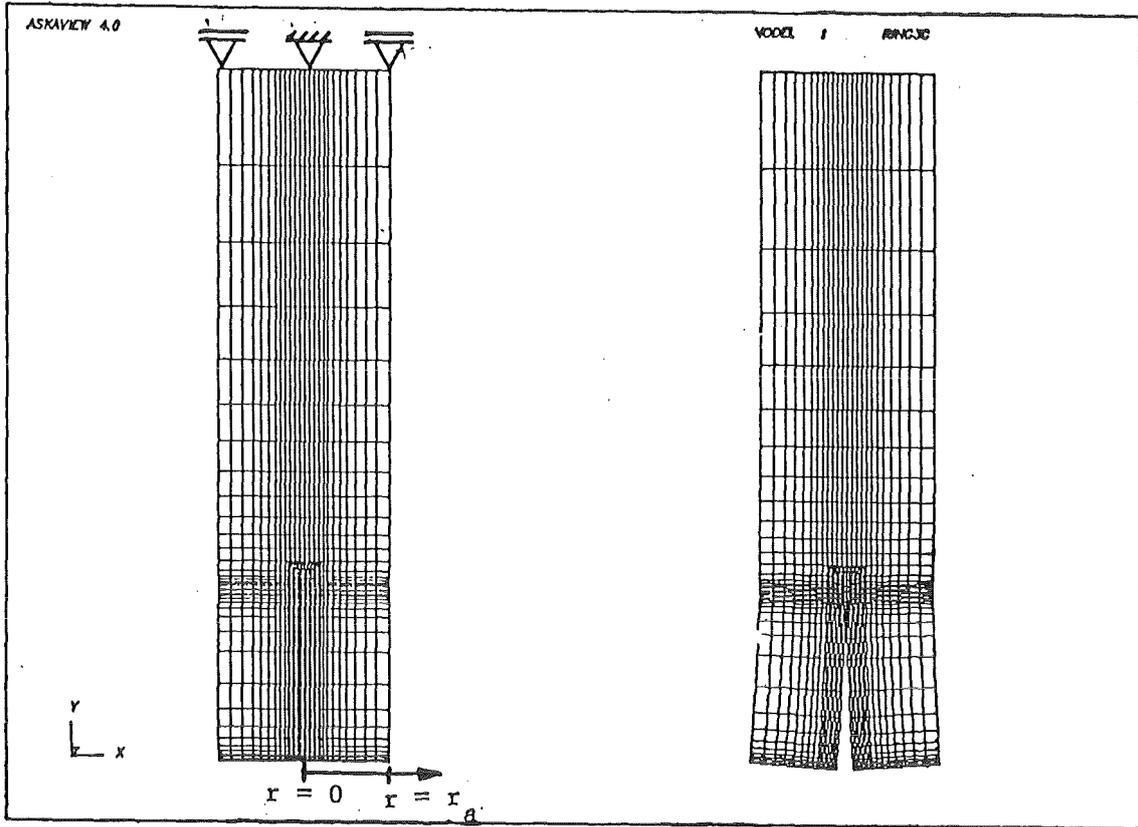


Abb.18 Struktur mit bereits vorhandenem Riß (links unverformte Struktur mit Randbedingungen, rechts die durch die freiwerdenden Eigenspannungen schon verformte Struktur.

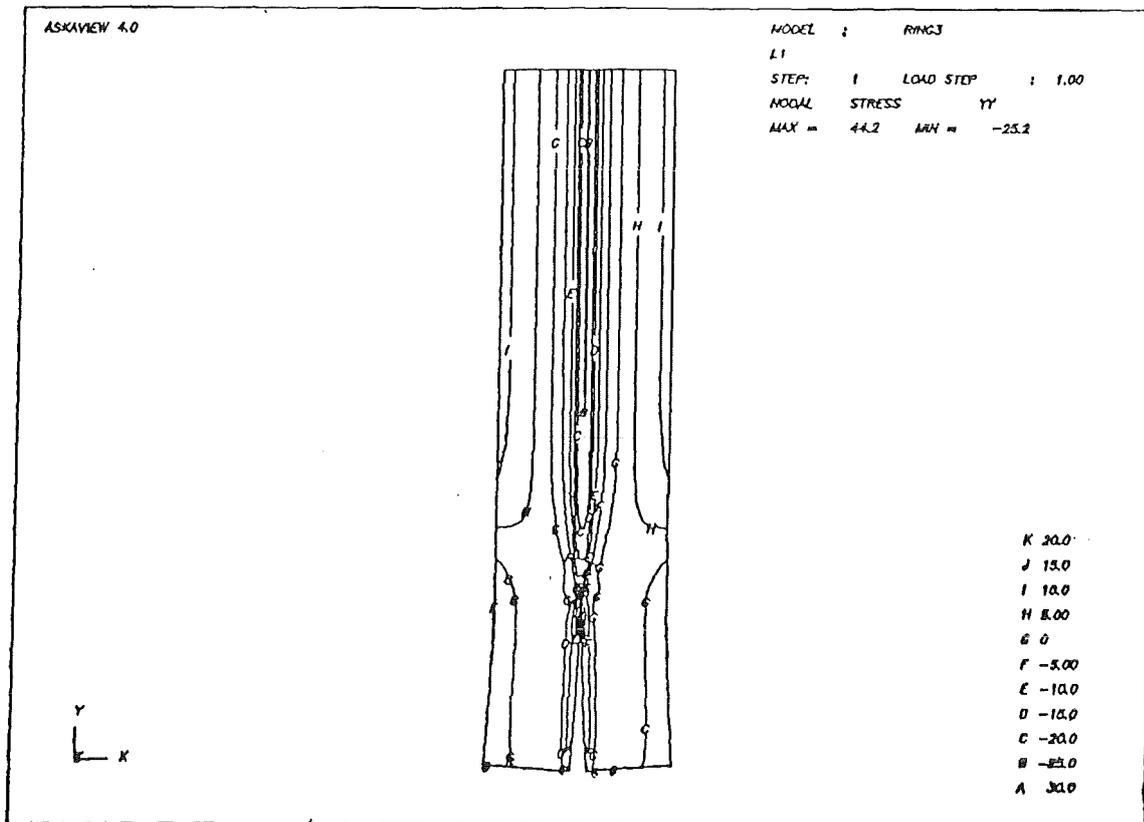


Abb.19a Axialspannungsverteilung des gefällten Stammes bei vorhandenem Hirnriß

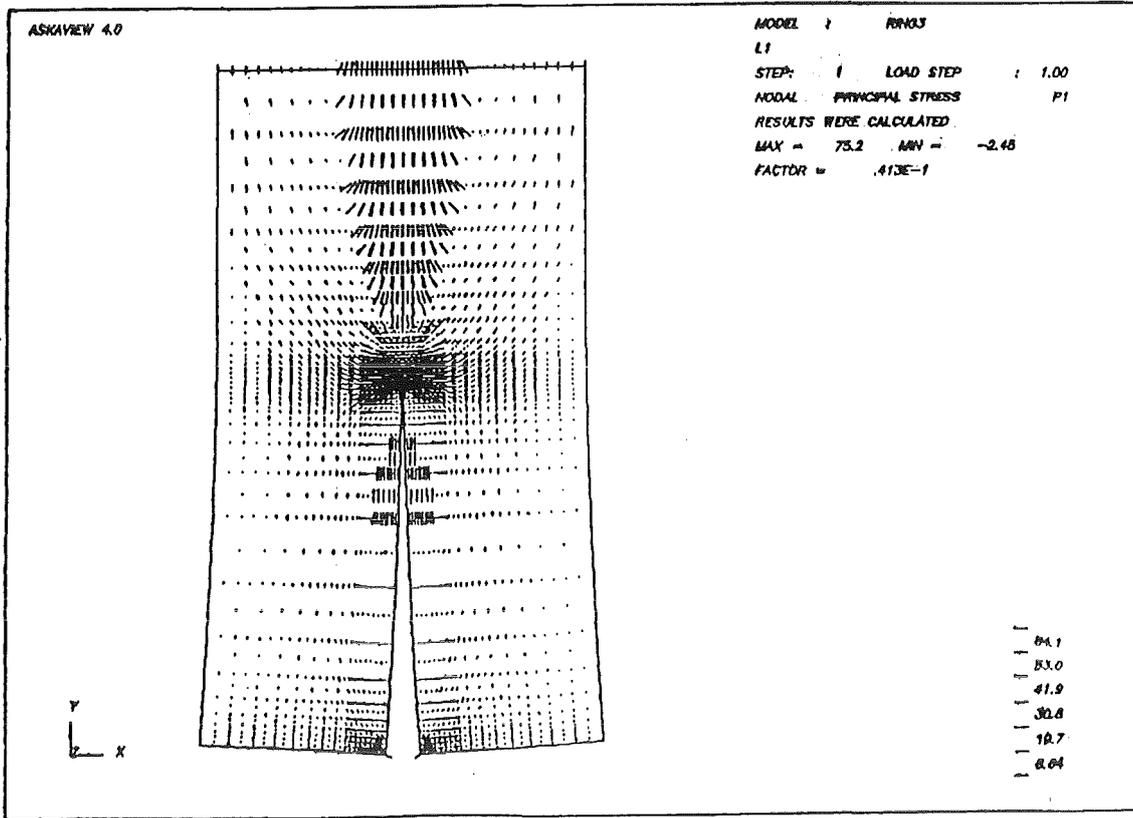


Abb.19b Hauptnormalspannungstrajektorien (Kraftfluß) des gefällten Stammes mit vorhandenem Hirnriß

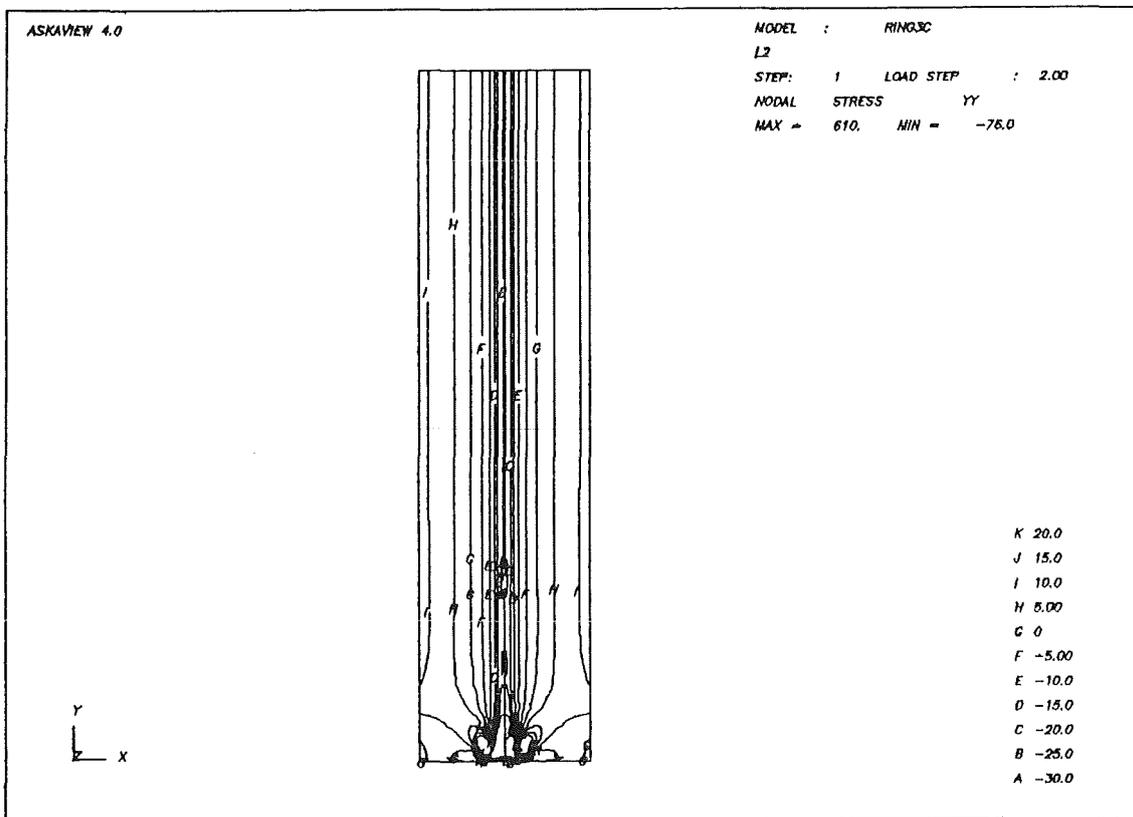


Abb.20a Axialspannungsverteilung des gefällten Stammes nach dem Einschlagen des Kompressionsringes (mit vorhandenem Hirnriß)

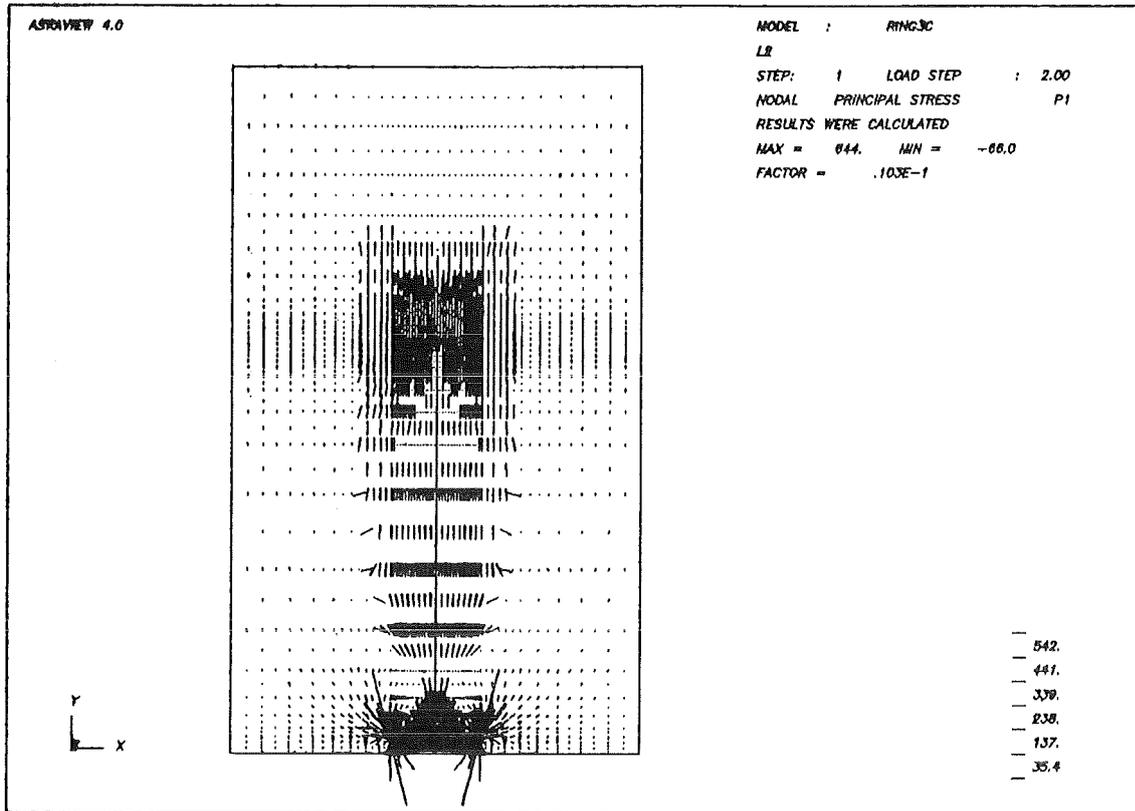


Abb.20b Hauptnormalspannungstrajektorien (Kraftfluß) des gefällten Stammes nach dem Einschlagen des Kompressionsringes (mit vorhandenem Hirnriß)

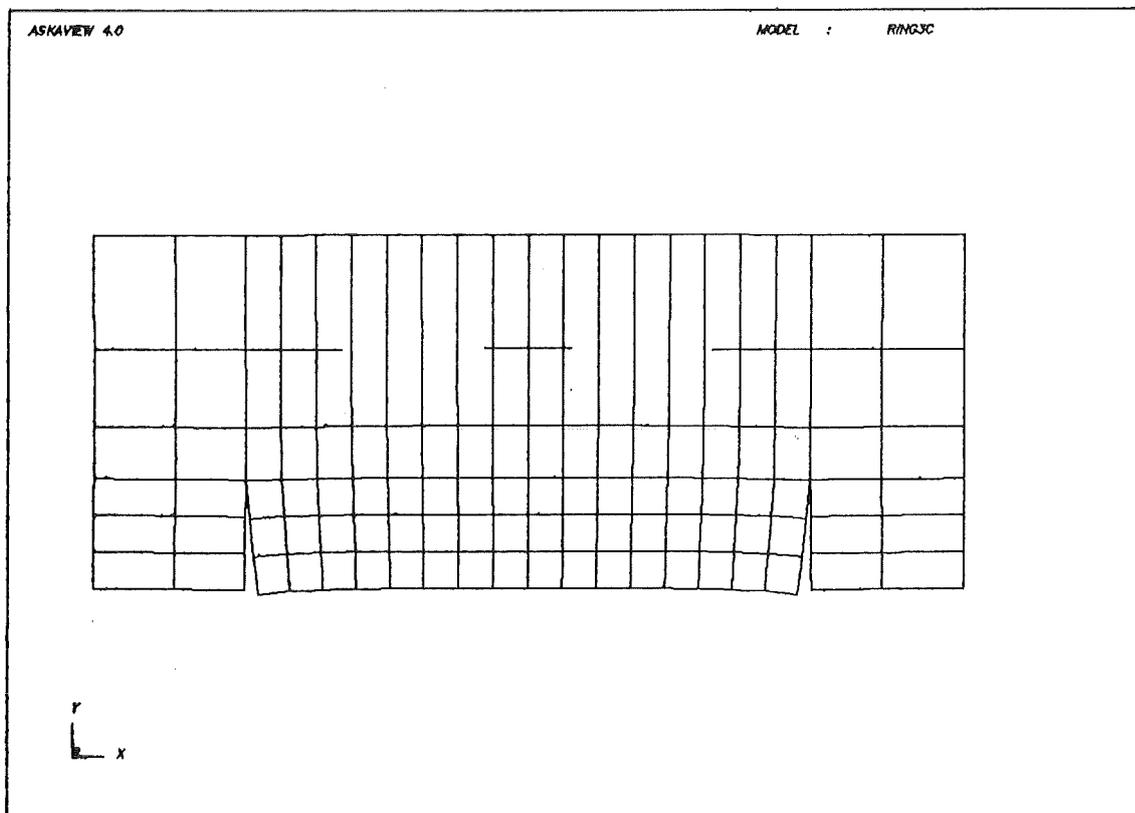
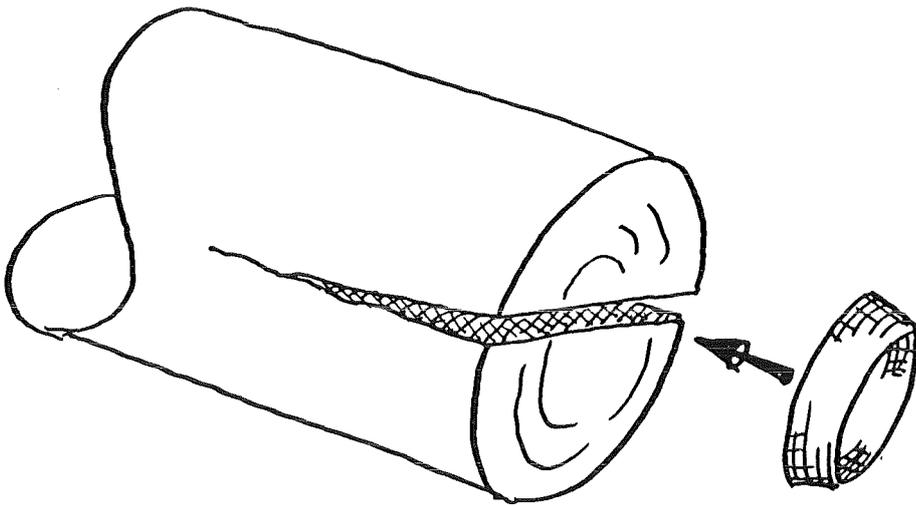
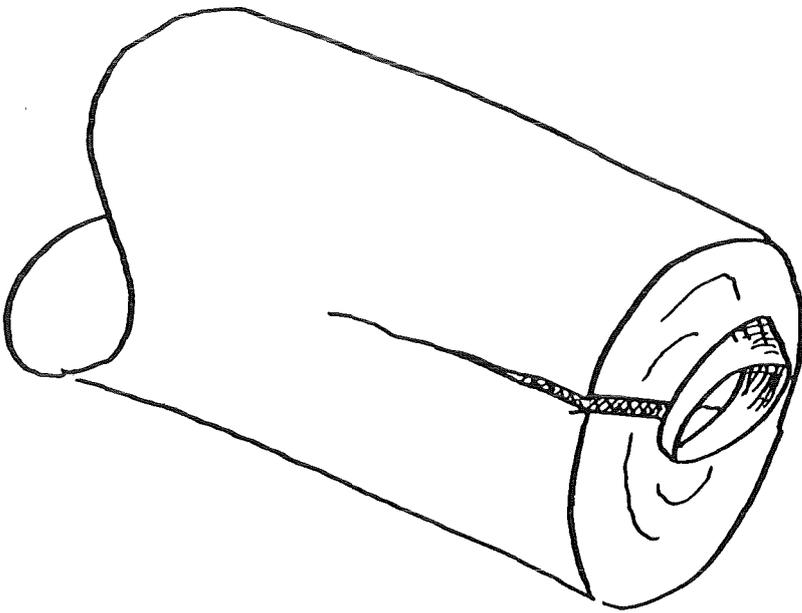


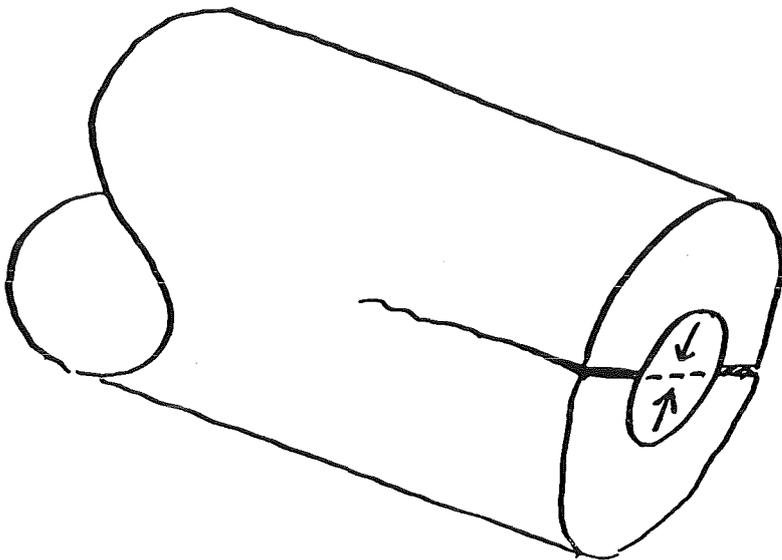
Abb.21 Kompression der Hirnfläche durch das Einschlagen des Rings



Markhöhlenzentrum
in Ringmitte



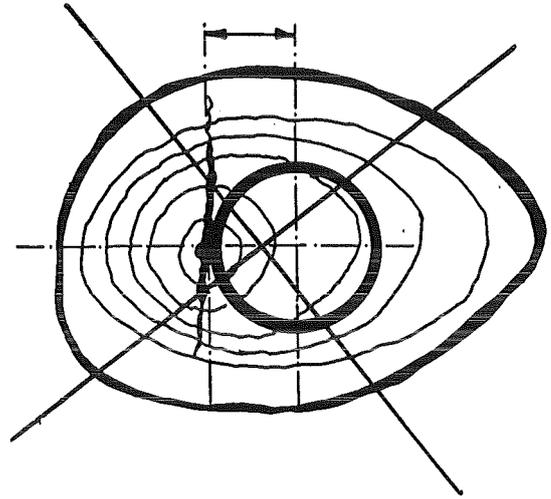
Zuerst die untere Seite
halb einschlagen, dann
langsam von unten nach
oben arbeitend, den ge-
samten Ring einschlagen.



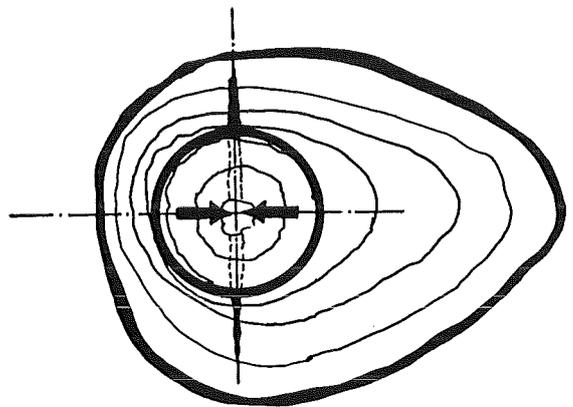
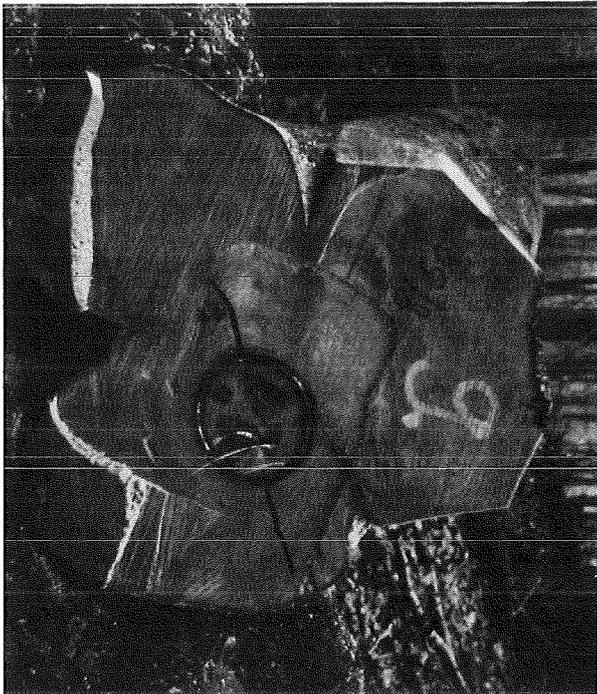
Der Riß im Inneren
des eingeschlagenen
Ringes wird völlig
geschlossen

Abb.22a Handhabung des Kompressionsringes

ACHTUNG BEI UNRUNDEN STÄMMEN:



FALSCH: Ringmitte nicht im Markzentrum



RICHTIG: Ringmitte im Markzentrum

Abb.22b Positionierung bei unrunden Stämmen

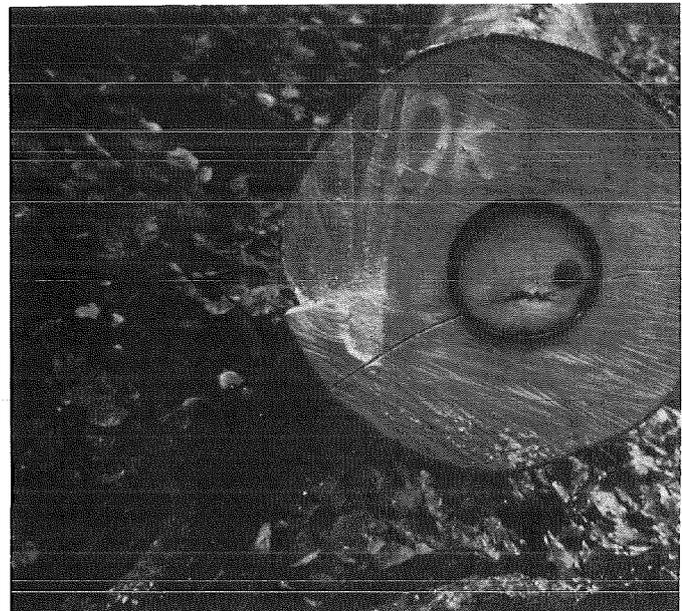
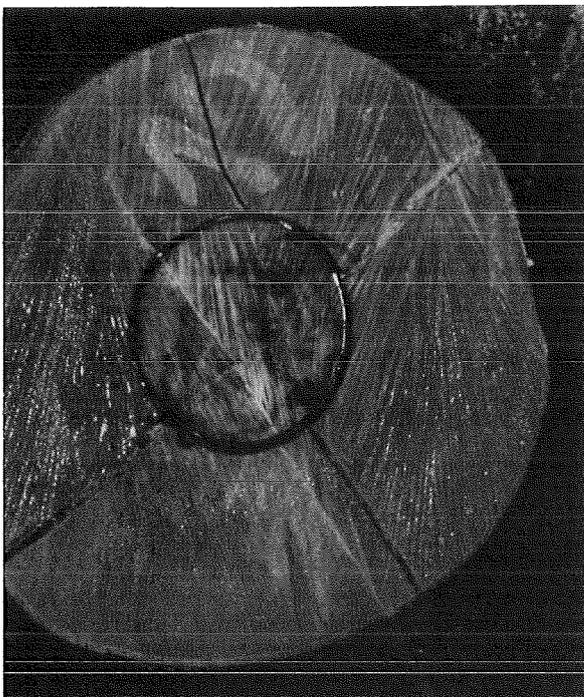
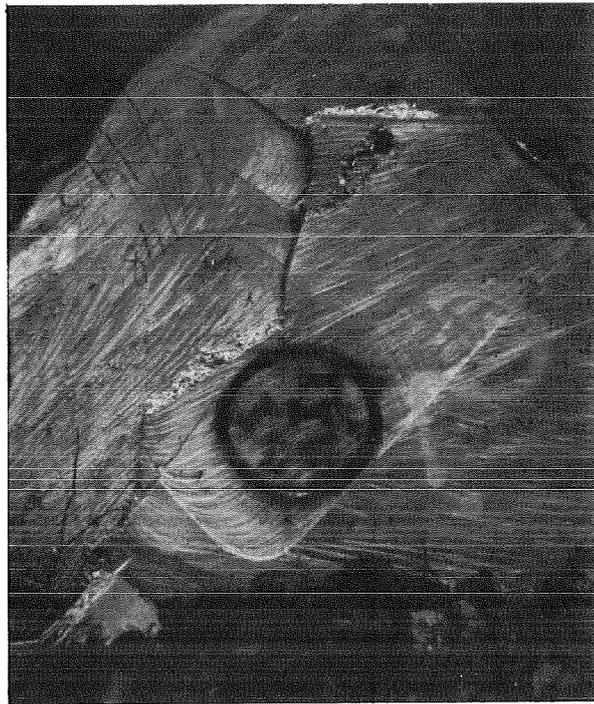


Abb.23 Eingeschlagene Kompressionsringe verengen die bereits vorhandenen Hirnrisse

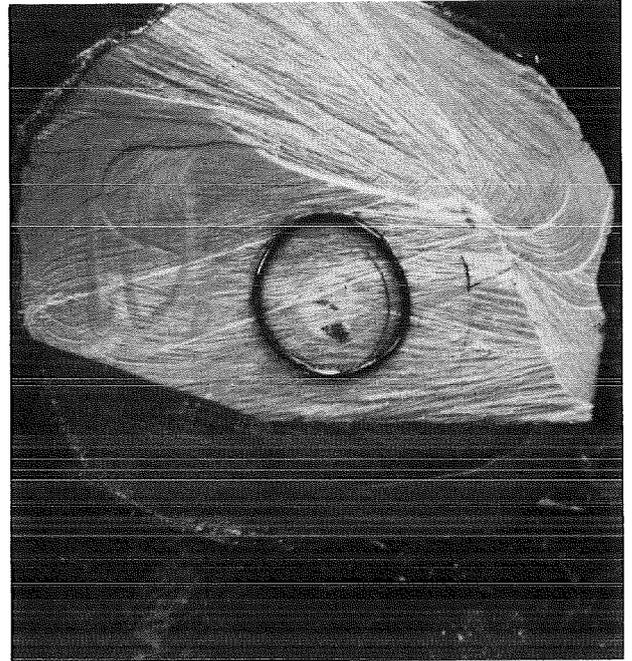


Abb.24 Eingeschlagene Kompressionsringe verhindern bei noch nicht angerissenen Stämmen jegliche Rißbildung