

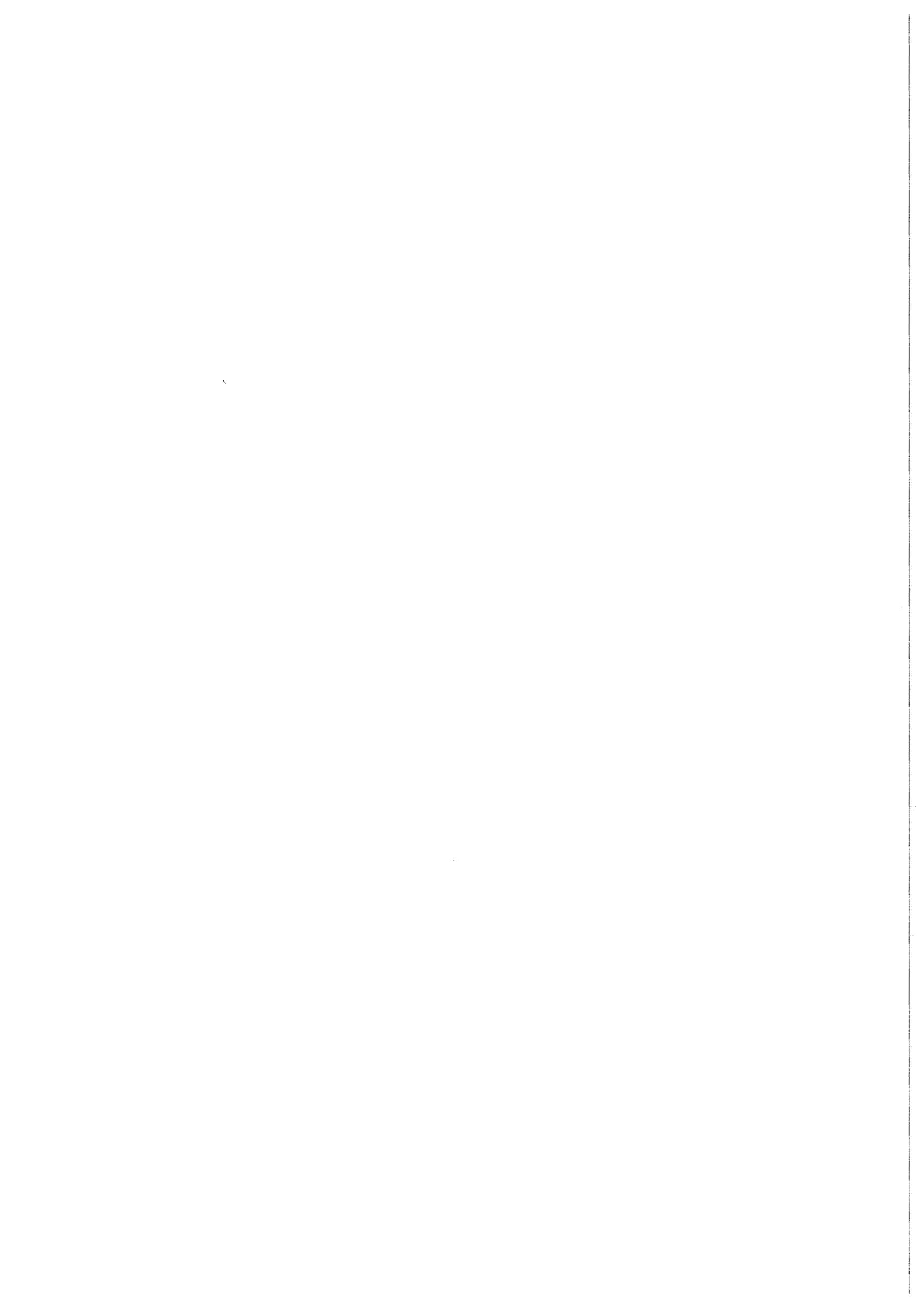
KfK 4557
April 1989

Hirnrisse in Laubbäumen

**Ihre Entstehung und Wege
zu ihrer Vermeidung**

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

Kernforschungszentrum Karlsruhe



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE
Institut für Material- und Festkörperforschung

KfK 4557

**HIRNRISSE IN LAUBBÄUMEN -
IHRE ENTSTEHUNG UND WEGE ZU IHRER VERMEIDUNG**

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

HIRNRISSE IN LAUBBÄUMEN - IHRE ENTSTEHUNG UND WEGE ZU IHRER VERMEIDUNG

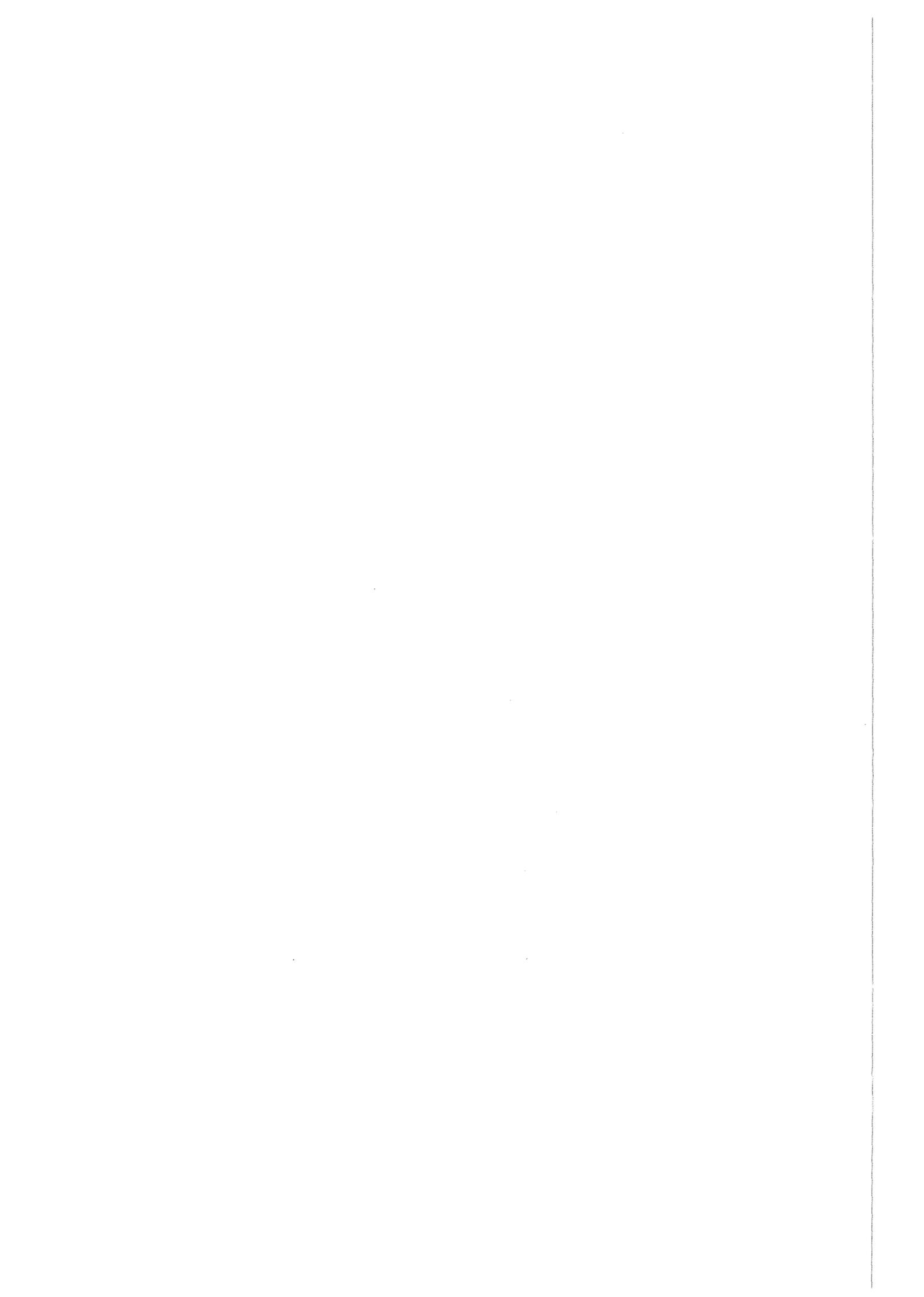
Zusammenfassung:

Nach dem Fällen treten gelegentlich radiale Risse auf der Stirnfläche des gefällten Stammes auf, die sehr weit axial einlaufen können. Manchmal stoppen sie vor Erreichen der Rinde, manchmal spalten sie den Stamm in zwei Hälften. Bei nichtkreisförmigen Stämmen bilden sich Risse meist entlang des kleineren Durchmessers. Dies kann durch die zusätzlichen Biegespannungen des vorhandenen Reaktionsholzes erklärt werden. Bereits vorhandene Methoden, die diese Risse vermeiden sollen, werden beschrieben und miteinander verglichen. Eine neue Methode wird vorgeschlagen, rechnerisch bewertet und die ersten Resultate einer Felderprobung werden berichtet.

END SPLITTING IN DECIDUOUS TREES - ITS FORMATION AND WAYS TO AVOID IT

Summary:

After cross cutting radially directed cracks occasionally occur at the end face of the log. Sometimes they stop before reaching the circumference of the stem, sometimes they split the stem into two halves. If the stem is noncircular, most frequently the cracks are directed along the smaller diameter of the stem. This may be explained by the presence of reaction wood and its additional bending stresses. Preventive methods already tried to avoid these cracks are described and compared. A new method is proposed, investigated by computer analysis and first experimental results are reported.



Einleitung

Holz ist ein wertvoller, natürlicher Rohstoff. Sein unvergleichliches Aussehen hat es seit jeher zu einem 'lebenden' Element in der menschlichen Umgebung gemacht. Umso bedauerlicher ist es, wenn ein Baum, der zur Ausbildung viele Jahre benötigt, durch **Hirnrisse** entwertet und in seinen Verarbeitungsmöglichkeiten eingeschränkt wird. Hirnrisse sind dabei radiale Risse in der Hirnfläche (Stirnfläche) des gefällten Baumes (Abb.4).

Diese Studie untersucht daher die Ursache der Hirnrißbildung und versucht Wege zu deren Vermeidung zu zeigen.

Was sind 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] 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. Sägte 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.7).

- 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 alternativ 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.6.). 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.

Die einzelnen Stufen sind in Abb.7 noch einmal vereinfacht gezeichnet. 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.

Maßnahmen zum Hirnrißausschluß aus der Literatur und der Praxis

Die wohl bekannteste Maßnahme in der Praxis ist das Einschlagen von S-Haken (Abb.8), dem, wie die Abbildungen schon zeigen, kein rechter Erfolg beschieden sein kann. Man schlägt ihn ein, wenn ein erster Riß sich zeigt, um diesen zu stoppen. Dies gelingt wohl zumeist nur, wenn der Riß erst noch ein Stück gelaufen ist. Die runden Enden des Hakens verleihen ihm wegen möglicher Aufweitung und Längung nur eine begrenzte Zugfestigkeit. Eine Kompression im Sinne eines Aufeinanderpressens der Rißufer wäre wünschenswert. Selbst unter optimalen Bedingungen wirkt der S-Haken bestenfalls als 'Abstandhalter' mit begrenzter Rißstoppwirkung. Sind die Wachstumsspannungen hoch, kann es auch oder vielleicht sogar infolge des S-Hakens zur Bildung von Sekundärrissen kommen, die manchmal auch in Richtung der S-Haken-Längsachse zeigen können. Ein weiterer Nachteil des S-Hakens besteht also darin, daß er den Riß nur in einer Richtung begrenzt.

Zwei weitere Methoden werden in [2,3] beschrieben und in einer Doktorarbeit [7] numerisch bewertet. Die Methode des Kompressionsbandes besteht in der Anbringung eines Kompressionsbandes aus Stahl, das vor dem Fällen um den Baum gelegt und oberhalb des Sägeschnittes mit einem Gewindebolzen festgezogen wird (Abb.9). Diese Methode ist teuer, bewirkt aber im Unterschied zum S-Haken eine echte Kompression. Nach [7] vermag sie die für die Rißbildung verantwortlichen Umfangsspannungen um ca. 15% zu reduzieren, was den erheblichen Aufwand fraglich macht, zumal nach wie vor erhebliche Längsspannungen die Hirnfläche verwölben.

Etwas origineller ist schon die auch in [2] zitierte Idee, den äußeren zugbelasteten Stammbereich in Form einer Ringkerbe oberhalb des Fällschnittes zu zertrennen, um die spätere konvexe Verwölbung der Hirnfläche zumindest gravierend zu reduzieren (Abb.10 nach [1]). Theoretische Rechnungen nach [7] zeigen jedoch, daß die Verwölbung der Hirnfläche nach erfolgtem Fällschnitt sich nur geringfügig mindert und die rißinitiierenden Umfangsspannungen ebenfalls nur um ca. 15% abgebaut werden. Die Ursachen liegen, wie später

noch anhand eigener FEM-Ergebnisse detailliert beschrieben werden soll, darin, daß einmal die Zugspannungen um die Kerbe umgelenkt werden und zum anderen auch ohne jegliche periphere Zugspannung alleine die enormen Druckspannungsgradienten im mittleren Stammbereich eine konvexe Ausstülpung (Verwölbung) der Hirnfläche bewirken. Letztere werden durch Zertrennung des peripheren Zugringes erst recht nicht abgebaut. Außerdem wäre eine auch nur mäßig tiefe voll umlaufende Kerbe ein Sicherheitsrisiko für die Holzfäller. In [3] sind noch Ringkerben erwähnt, die als Kreiskerbe in die Hirnfläche eingearbeitet wurden, aber auch nichts brachten, was nicht weiter verfolgt werden soll. Die vollständige Vermeidung der Hirnrisse dürfte wegen der individuellen Entartung der Bäume wohl auch nicht möglich sein. Eine weitgehende Reduzierung konnte durch die nachfolgend beschriebene Methode bewirkt werden.

Der Entlastungsstechnschnitt - Wirkungsprinzip, FEM-Optimierung und Felderprobung

Wirkungsprinzip

Abb.11 zeigt noch einmal den Mechanismus der Entstehung von Hirnrissen: Das im Stamminnern befindliche Druckholz schiebt die Markhöhle nach außen, der periphere Teil der Schnittfläche wird dagegen von den dort wirkenden axialen Zugspannungen nach innen gezogen, was zu einer Verwölbung der Hirnfläche führt. Die Tatsache, daß die Risse fast immer im Zentrum des Druckes entstehen, spricht allein schon für die Signifikanz des Druckbereichs. Die Idee ist nun, diesen Druckstrang durch einen sogenannten "Entlastungsstechnschnitt" oberhalb des eigentlichen Fällschnittes zu durchtrennen. Dieser Stechnschnitt wird dann nach Entfernen des Sägeblattes vom axialen Druck etwas zusammengedrückt, was man gelegentlich mit bloßem Auge sehen kann. Dadurch erfolgt, was auch rechnerisch noch nachgewiesen wird, ein gravierender Abbau der Umfangsspannungen, die auf der Oberfläche des Fällschnittes wirken und für die Hirnrissbildung verantwortlich sind. Es stellt sich dabei sofort die Frage, in welcher Höhe über dem Fällschnitt der Entlastungsstechnschnitt zu plazieren ist, um einen maximalen Abbau der bruchauslösenden Umfangsspannungen zu bewirken. Dies soll in nachfolgender ausführlicher Finite-Elemente Analyse ermittelt werden, wobei vorerst allerdings nur die Eigenspannungen des Baumes, d.h. seine Wachstumsspannungen zugrunde gelegt werden und noch nicht die beim Fällvorgang eingeleiteten Lasten, z.B. das Biegemoment der Bruchleiste oder die dynamischen Biegeschwingungen beim Aufschlag. Diese Einschränkung wird später noch diskutiert werden.

Finite-Elemente Optimierung

Wegen der zahlreichen zu variierenden Parameter wird zunächst nur ein gerader rotationssymmetrischer Stamm ohne Reaktionsholz und mit idealem Kreisquerschnitt zu Grunde gelegt. Zur weiteren Vereinfachung wird nur ein Längsschnitt durch diesen Stamm betrachtet, der in guter Näherung als "ebener Verzerrungszustand" für eine erste Optimierung beschrieben werden kann. Durch Aufprägung einer geeigneten Temperaturverteilung wurden die von

Kübler [3] angegebenen Wachstumsspannungen gleichsam als "Wärmespannungen" aufgebracht, was aber nur als Vehikel zur Simulation der Wachstumsspannungen anzusehen ist, da es für die Auswertung ohne Belang ist, wie die Wachstumsspannungen der Struktur eingepreßt werden. Die Axialspannungen sind in Abb.12 für den noch nicht abgesägten Stamm gezeigt. Die mäßigen Zugspannungen sind ebenso zu sehen, wie die erheblich höheren Druckspannungen in der Baummitte. Die von Kübler angegebene Singularität der Druckspannungen in der Stammitte wurde aus physikalischen Gründen (Plastizität) sinnvoll abgeschnitten, ohne den richtungsweisenden Charakter seiner Ergebnisse [3] in Frage stellen zu wollen. Alle Spannungswerte sind in Nmm^{-2} angegeben. Das isotrop angenommene Material hat einen Elastizitätsmodul von $E=11200 \text{ Nmm}^{-2}$ und eine Querkontraktionszahl von $\nu=0.26$ (Materialwerte der Buche nach [2]). In Abb.13 sind übersichtsweise alle berechneten Geometrien angegeben. Als Referenzgeometrie soll der Fall A gelten, der den einfachen Fällschnitt darstellen soll. B ist eine Kombination aus einfachem Stechschnitt in der Fällkerbe und schräger Durchtrennung des Haltebandes. Dies ist in Fall E erstmalig kombiniert mit dem Entlastungsstechschnitt, der im Vergleich mit A die bruchauslösenden Spannungen auf ca. 35% am Ort M reduziert. **Beim einfachen Fällschnitt ergibt der Entlastungsstechschnitt allein (Fall F) eine Reduktion der Spannungen auf ca. 57%.** Im Vergleich dazu bewirken zwei übereinander plazierte Stechschnitte (Fall G), gemessen am zusätzlichen Aufwand, keine wesentliche Spannungsverringerung. Ein etwas höher über dem Fällschnitt plazierter Entlastungsschnitt (Fall H) wirkt weniger spannungsmindernd (Reduktion auf 71%), lohnt aber immer noch den Aufwand im Vergleich mit der S-Haken-Methode (Abb.8), dem Ringschnitt (Abb.10) oder dem Außenband (Abb.9). In den Fällen I und K wurden noch weitere Variationen gerechnet, um die Parameterstudie zu vervollständigen. Abb.14 zeigt die weiteren FEM-Ergebnisse in selbsterklärender Form. Aus den Berechnungen mit Entlastungsstechschnitt wurde dabei der Fall H ausgewählt, der sich aus nachfolgend noch erläuterten Erfahrungen heraus, als für die Praxis am sinnvollsten herausstellte. Abb.14a) zeigt die verwendete FEM-Struktur, die für die berechneten Fälle jeweils entsprechend modifiziert wurde. Sehr interessant ist noch Abb.14e), bei der die Verformung des Entlastungsstechschnittes durch die freiwerdenden Druckspannungen deutlich zu sehen sind. **Wesentliches Ergebnis der Studie ist, daß durch die Führung eines Entlastungsstechschnittes die bruchauslösenden Spannungen gravierend abgebaut werden können.** Besonderer Vorteil der Methode ist, daß sie nicht, wie zum Beispiel die S-Haken-Methode, erst nach dem Fällen ansetzt, sondern bereits vor Ausführung des eigentlichen Fällschnittes angewendet wird.

Die **praktische Wirkungsweise** besteht nun aus zwei Effekten:

- Wie die in Abb.13 übersichtsweise gezeigten Berechnungsergebnisse ausweisen, bewirkt der Entlastungsstechschnitt einen Abbau der bruchauslösenden Spannungen. Damit wird die Zahl und die Größe der gebildeten Risse reduziert.
- Sollten sich dennoch Risse auf der Fläche des Fällschnittes bilden, so können diese stammeinwärts laufen und in der Ebene des Entlastungsstechschnittes gestoppt werden (Abb.15). Nur in seltenen Fällen ist eine Reißneubildung am Entlastungsstechschnitt zu erwarten, weil sowohl der

Entlastungsstechschnitt selbst als auch der Rißfortschritt von der Fällschnittoberfläche zum Entlastungsstechschnitt eine Entlastung des Stammes bewirken. Nur bei enorm hohen Eigenspannungen ist die erforderliche Neuinitiiierung von Rissen an der Oberseite des Entlastungsstechschnittes denkbar, was eine Seltenheit sein dürfte.

Felderprobung

Die praktische Überprüfung der berechneten Ergebnisse sollte nun an Buchen vorgenommen werden, die ja sowohl besonders anfällig für die Rißbildung sind, als auch vom forstwirtschaftlichen Wert betrachtet, einen gewissen Aufwand bei der Verarbeitung rechtfertigen (siehe auch [4], [5], [6]).

In einem 160 Jahre alten Rotbuchenbestand im Eußertal (Pfälzer Wald) wurden zunächst 20 Buchen, davon 5 nach der herkömmlichen Methode, gefällt. Diese 5 Stämme zeigten, bis auf einen, sofort nach dem Fällen einen vom Zentrum der Schnittfläche ausgehenden und sich weiter verlängernden Hirnriß. Damit sollte das normale Fällverhalten dieses speziellen Bestandes untersucht und dokumentiert werden (Der Standort spielt bei der Neigung zur Hirnrißbildung ebenfalls eine gewisse Rolle!).

Der Fällvorgang mit Entlastungsstechschnitt erfolgte anfangs mit für Belastung durch Eigenspannungen allein optimierten Abstand zwischen Fällkerbe und Stechschnitt ($h = 0.1D$). Der Fällschnitt wurde, bedingt durch die unterschiedliche Baumneigung in zwei Varianten durchgeführt:

- Einfacher Fällschnitt nach der Plazierung der Fällkerbe (Abb.16a)
- Plazierung der Fällkerbe, Stechschnitt über der Fällkerbe in Stammitte und nachfolgende Trennung des Haltebandes (Abb.16b)

Der gesamte Ablauf des Fällvorganges mit Stechschnitt und Entlastungsstechschnitt ist in Abb.17 dargestellt. In Abb.18 sind die einzelnen Abläufe des Fällvorganges an ausgewählten Fotos leicht nachzuvollziehen. Abb.19.a-e zeigen zunächst die Stirnflächen der traditionell gefällten Bäume und deren Hirnrisse. Zur Verdeutlichung sind die Rißspitzen nachträglich gekennzeichnet.

In den Abbildungen 20a-f) sind Aufnahmen von den Schnittflächen der mit Entlastungsstechschnitt gefällten Bäume zu sehen. Es sind vorwiegend Ergebnisse des zweiten Fälltages. Die linke Aufnahme zeigt den Zustand der Schnittfläche unmittelbar nach der Fällung. Nach 14 Tagen wurden die Schnittflächen noch einmal photographiert, um die Veränderung der Risse nach der Lagerung mit zu erfassen. Danach wurde in der Höhe des Entlastungsstechschnittes die darunter befindliche Holzscheibe abgetrennt (siehe auch Abb.21). Bei den Stämmen, die entweder überhaupt nicht angerissen waren bzw. bei denen der Riß auf Höhe des Entlastungsstechschnittes gestoppt war, machten sich sofort knisternde und kackende Geräusche bemerkbar und es traten neue Risse an der Schnittfläche auf. Deren Ausbreitung über den gesamten Querschnitt konnte mit bloßem Auge verfolgt werden. Die Zeit reichte nicht einmal dazu aus, die unzerstörte Schnittfläche aufzunehmen. Der zeitliche Ablauf ist in Abb.22a-c) verdeutlicht; die Aufnahmen zeigen die Entstehung der Risse im Abstand von jeweils etwa einer Minute. Bei Abb.20a-f) ist die neue Stirnfläche auf der jeweils rechten Aufnahme zu sehen. Die Ausdehnung

der entstehenden Risse war in den meisten Fällen sogar wesentlich größer als zuvor. **Die im Rahmen dieser Arbeit vorgeschlagene Technik des Entlastungsstechschnittes war also sehr wohl dazu geeignet, Hirnrisse in diesen Fällen gänzlich zu vermeiden oder wenigstens weitgehend auf die Endscheibe zu begrenzen.**

Dies zeigt auch Abb.23: Der auf der Stirnfläche entstandene Riß setzte sich bis zum Entlastungsstechschnitt fort, war dort aber bereits so klein, daß ein weiteres Aufgehen des Risses über den Entlastungsstechschnitt hinaus sehr wahrscheinlich nicht erfolgt ist. Die Rißausbreitung setzte sich erst dann fort, als durch Entfernen der Endscheibe derie Zustand eines konventionell gefällten Stammes wiederhergestellt wurde. Erst als durch Entfernen der Endscheibe die Schnittfläche wieder in einen der traditionellen Fällmethode entsprechenden mechanischen Zustand versetzt wurde, verhielt sich diese auch erwartungsgemäß und bildete die dort häufigen Hirnrisse aus. Diese Art der Überprüfung bietet sich vor allem deshalb an, da, bedingt durch die individuellen Stammformen, ein Vergleich mit anderen Bäumen nur bedingte Aussagen über die speziellen Fällmethoden liefert. Somit ist abgesichert, daß Besonderheiten (Jahrringverlauf, Einschlüsse, Beschädigungen etc.) die Ergebnisse nicht verfälschen.

Die Abbildungen (Abb.24 a-f) zeigen die trotz der Anwendung der Methode aufgetretenen Rißbildungen, die vorwiegend am ersten der zwei Versuchstage auftraten. Keiner der beobachteten Risse ist im eigentlichen Sinne durch das Freiwerden der Wachstumsspannungen initiiert worden. Vielmehr nehmen die Risse eher im Bereich der Bruchleiste ihren Ausgang, was bedeutet, daß die beim Beginn des Kippvorganges in den Stamm über die Bruchleiste eingeleiteten Biegemomente die Schadensursache sind. **Wir wollen diese beim Fällvorgang auftretenden Risse daher nicht "Hirnrisse", sondern vielmehr "Fällrisse" nennen.**

Es zeigte sich, daß der rechnerisch optimierte Abstand zwischen Fällschnitt und Entlastungsstechschnitt nicht ausreichte, eben weil die Biegemomente der Bruchleiste in diese Optimierung nicht einbezogen waren. Um diesen Mangel abzustellen, wurde bereits während der Feldexperimente beschlossen, ab dem zweiten Tag den Entlastungsstechschnitt höher zu plazieren (ca. 15 - 20 cm über dem Fällschnitt) und das fächerförmige Drehen der Säge etwas zu verringern. Außerdem wurde festgestellt, daß bei Stämmen mit geringerem Durchmesser (kleiner als 60 cm) durch zweiseitiges Einstechen die Verbindung zwischen Stamm und Endscheibe nicht ausreichend war. Dadurch kam es beim Fällen gelegentlich ebenfalls zu Ausbrüchen. Diese Stämme wurden daher nur noch von einer Seite mit einem Stechschnitt versehen. Diese Modifikation ist auch deshalb sinnvoll, da bei Stämmen geringeren Durchmessers ein einseitig vorgenommener Stechschnitt ausreichend ist, um den Druckstrang im Stammzentrum zu durchtrennen. Außerdem kann dadurch der zusätzliche Aufwand beim Fällen vermindert werden.

Dies führte zu den vorher beschriebenen besseren Resultaten. Die zuvor aufgetretenen Ausrisse von Teilen der Scheibe zwischen Fäll- und Stechschnitt (siehe Abb.24c) traten nicht mehr auf.

Ein weiteres Ergebnis der Fällversuche war, daß die in Abb.16b) gezeigte Fällmethode mit Stechschnitt wesentliche weniger Fällrisse entstehen läßt, als die einfache Methode mit Rundschnitt. **Es wird daher aus diesen mechanischen Überlegungen heraus empfohlen, diesen Stechschnitt (Abb.16b)**

auch bei aufrecht stehenden und nicht nur bei hangabwärts geneigten Bäumen (sogenannten "Hängern") anzuwenden. Leider ist aus fälltechnischen Gründen bei hangaufwärts geneigten "Rückhängern" vom Einsatz dieser Methode abzusehen.

Schlußfolgerungen

Die wesentlichen Resultate dieser Arbeit lassen sich in folgenden Empfehlungen für das Fällen von Laubbäumen zusammenfassen:

- Weitgehend durch Wachstumsspannungen verursachte **Hirnrisse** lassen sich gravierend **reduzieren** oder zumindest auf den kleinen Bereich einer Endscheibe begrenzen, wenn vor der Fällung ca. 15 - 20 cm über dem Fällschnitt ein **Entlastungsstechschnitt** ins Herz des Baumes geführt wird (Abb.17), der den Druckstrang unterbricht.
- **Fällrisse** lassen sich **reduzieren**, indem in **Fällebene** ein **Stechschnitt** mit nachfolgender Trennung des Haltebandes geführt wird.
- Die **Kombination beider Schnitte** sollte, unter Berücksichtigung der Sicherheitsbestimmungen, weitestgehend praktiziert werden.
- Diese Techniken sind dem S-Haken-Verfahren weitgehend überlegen.

Ausblick

Bis zum Herbst 1989 sollen im Kernforschungszentrum Optimierungsrechnungen erstellt werden, die auch den bislang rechnerisch nicht beachteten Biegemomenten der Bruchleiste Rechnung tragen.

Das angestrebte Ergebnis ist die Definition von allseits optimierten Platzierungsvorschriften und Dimensionen für Fällkerbe, Stechschnitt und Entlastungsstechschnitt. Diese verfeinerten Ergebnisse wären in weiteren Versuchen zu erproben. **Schon jetzt kann man die Methode des Entlastungsstechschnittes als erfolgreich bezeichnen.**

Dank

Die Säge- und Fällarbeiten wurden in dankenswerter Weise von Herrn Fick durchgeführt und von Herrn Sigmund mit betreut.

Literatur

- [1] C. Mattheck
Warum sie wachsen, wie sie wachsen, die Mechanik der Bäume
KfK-Bericht Nr.4486,1986

- [2] R. Archer
Growth stresses in trees
Springer Verlag 1986

- [3] H. Kübler
Growth stresses in trees and related wood properties
Forestry Abstracts 48 (1987) 131-189

- [4] W. Liese
Der Schutz des Buchenstammholzes
Holz-Zentralblatt, Ausgabe vom 21.01.1958

- [5] H. Mayer-Wegelin, E. Mammen
Spannungen und Spannungsrisse im Buchenstammholz
Allg. Forst- und Jagdzeitung 1954 S.287-297

- [6] H. Mayer-Wegelin
Spannungen und Spannungsrisse im Holz des stehenden und
gefällten Stammes
Mitt. der österr. Gesellschaft für Holzforschung 7/1955

- [7] V. Wilhelmy-von Wolff
Residual stresses in wood and their effect on crack development
Thesis, University of Wisconsin 1972

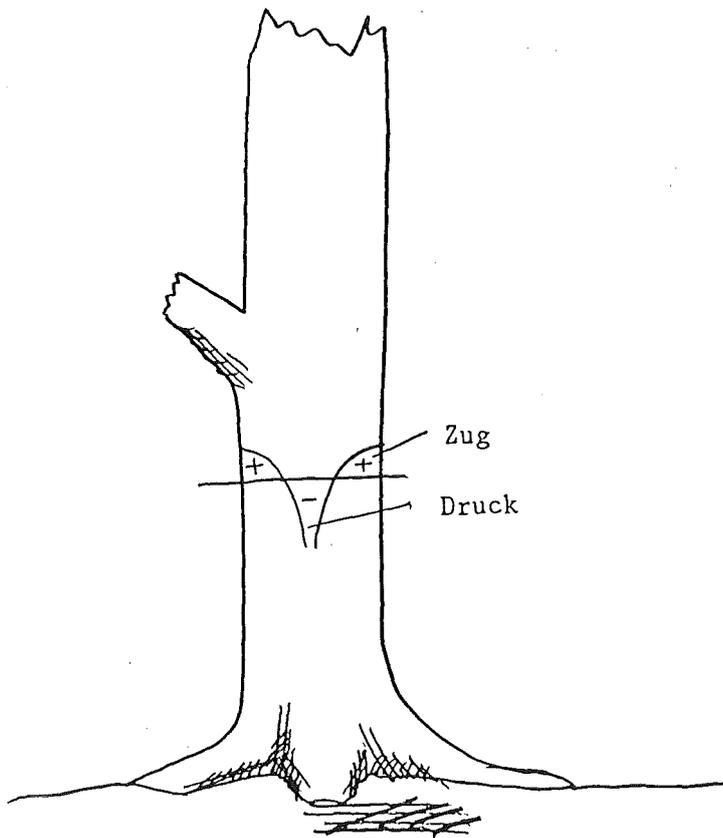


Abb.1 Äußere Zug- und innere Druckspannungen auch beim aufrechtstehenden Baum

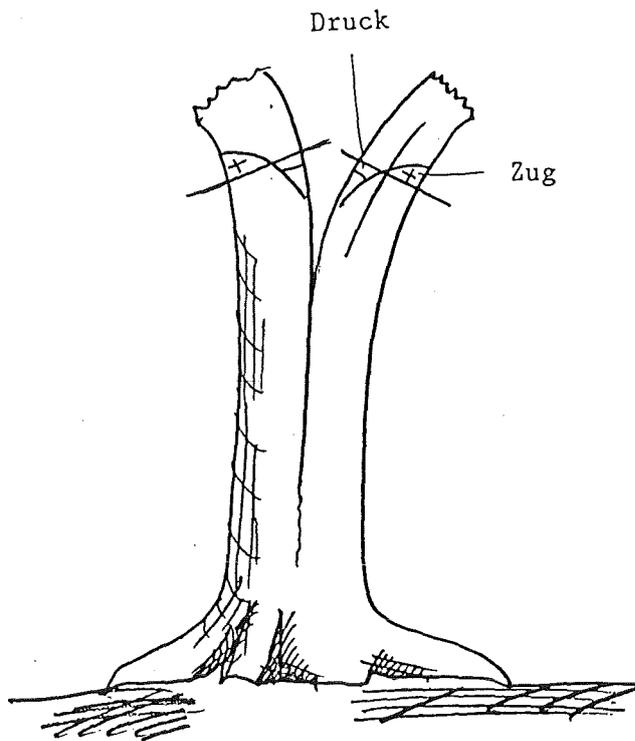


Abb.2 Voneinanderwegbiegen zweier durch Längsschnitt getrennter Baumhälften

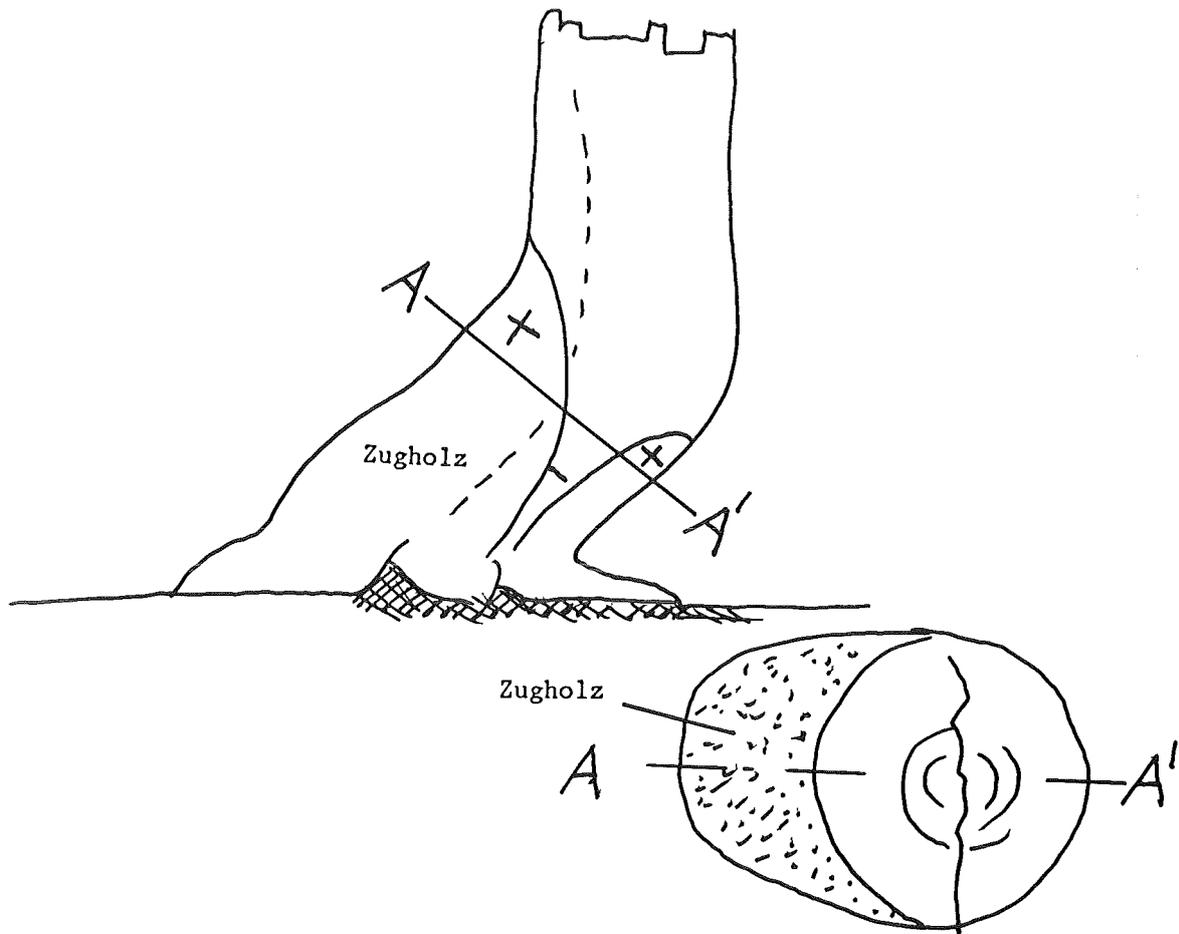
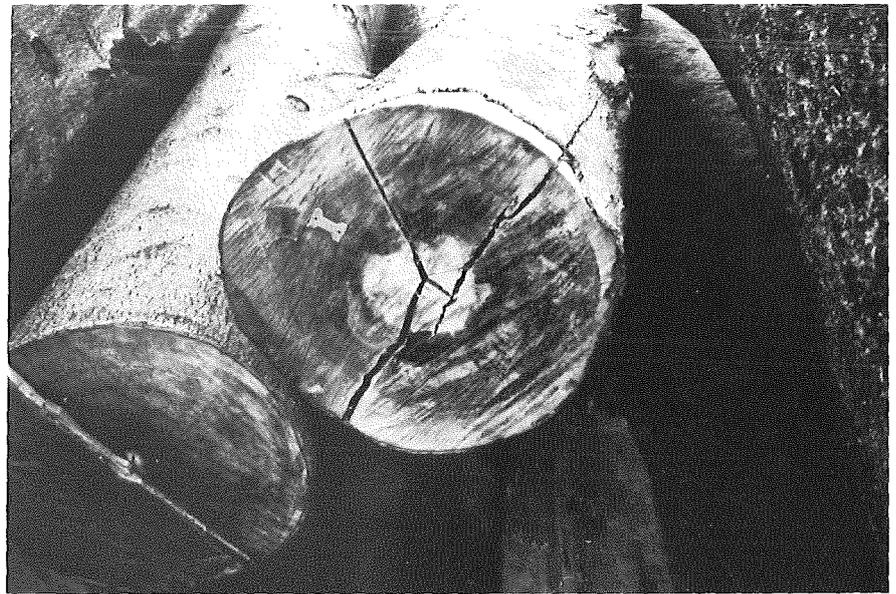


Abb.3 Zusätzliche Biegespannungen bei Präsenz von Zugholz bewirken Bruch längs des kleineren Durchmessers



a)



b)



c)

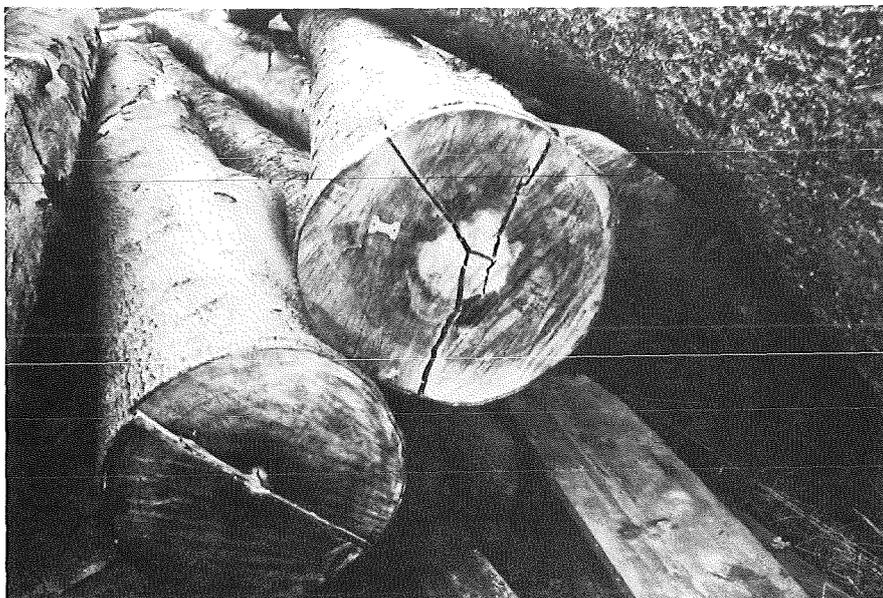
Abb.4a-f Bruch entlang des kleineren Durchmessers bei Präsenz von
Zugholz



d)



e)



f)

Abb. 4d-f)

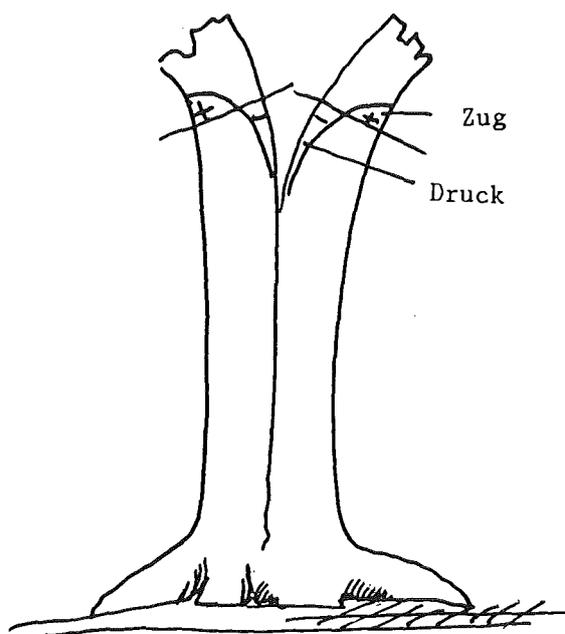
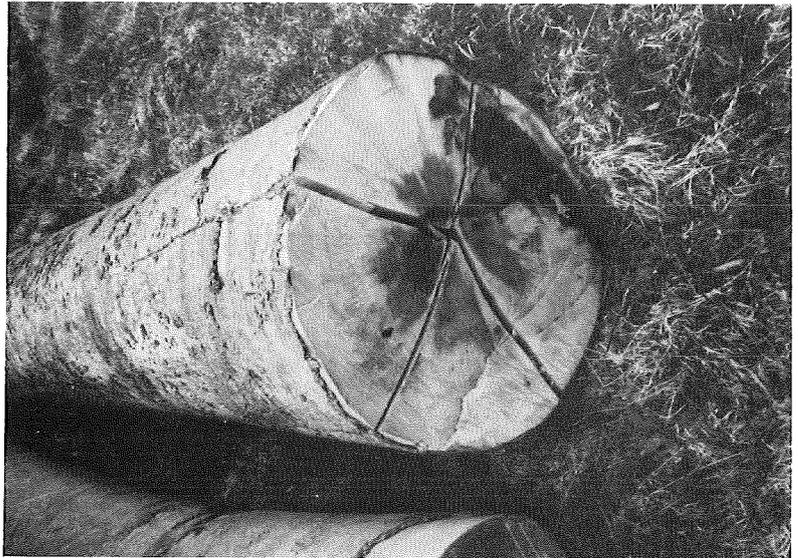
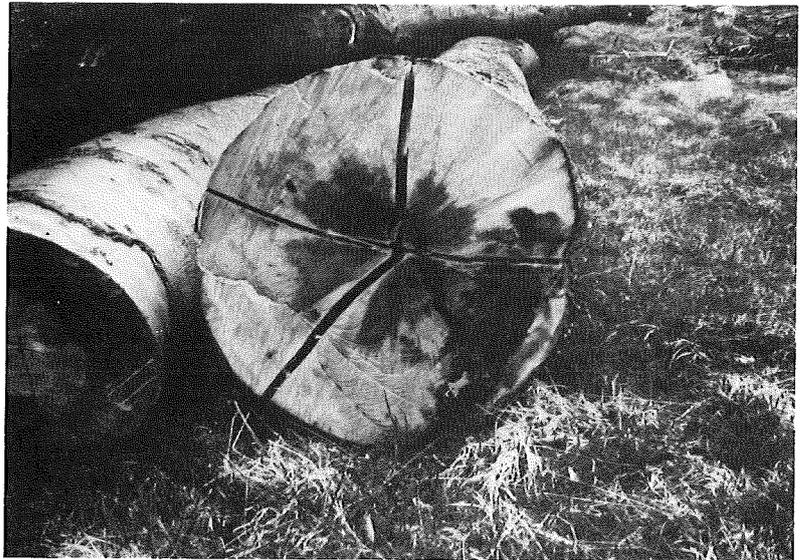


Abb.5 Neigung der Längsschäfte sich auch bei natürlicher Baumtrennung voneinander wegzubiegen

a)



b)



c)

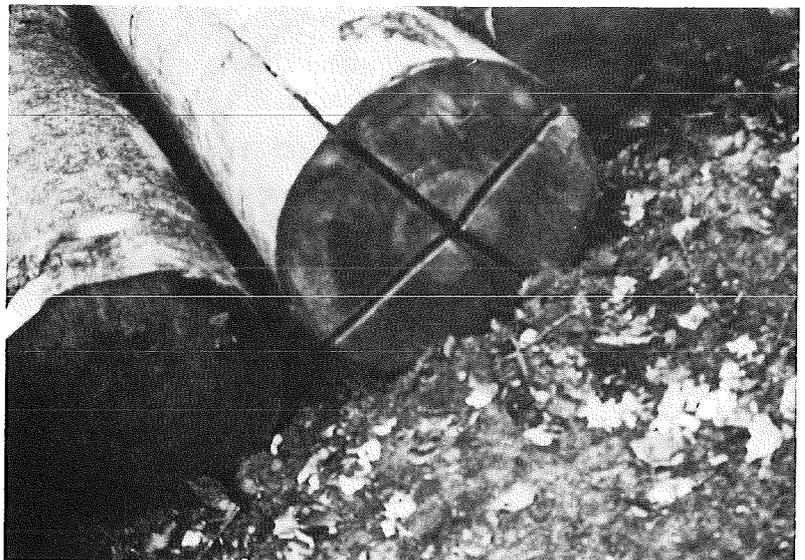


Abb.6a-d) Kreuzförmige Risse entstehen meist bei etwa runden Stämmen



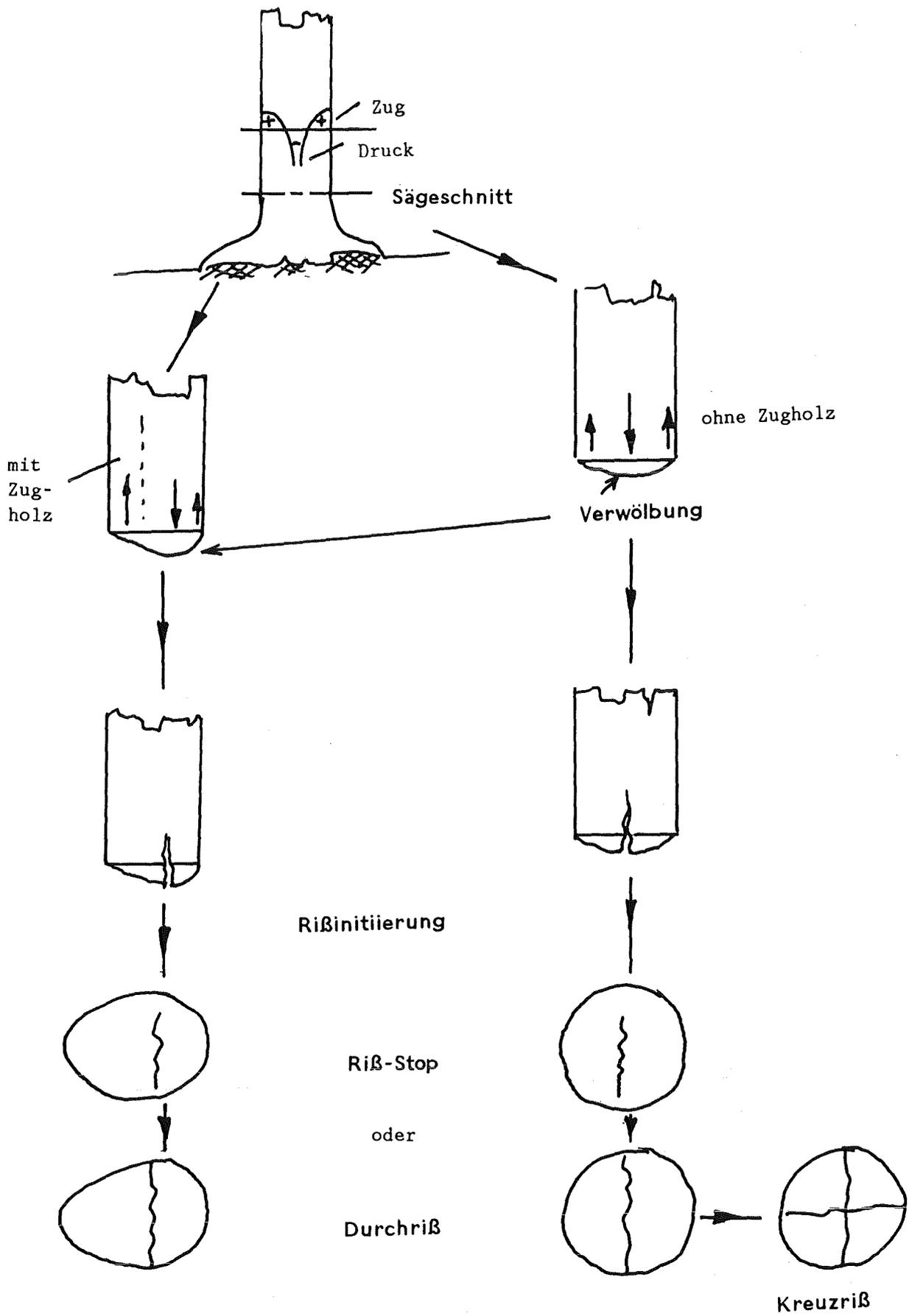


Abb.7 Schema der Hirnrißbildung in Teilstufen

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



a)

b)



c)



d)



Y-Riß als Alternative zum Kreuzriß

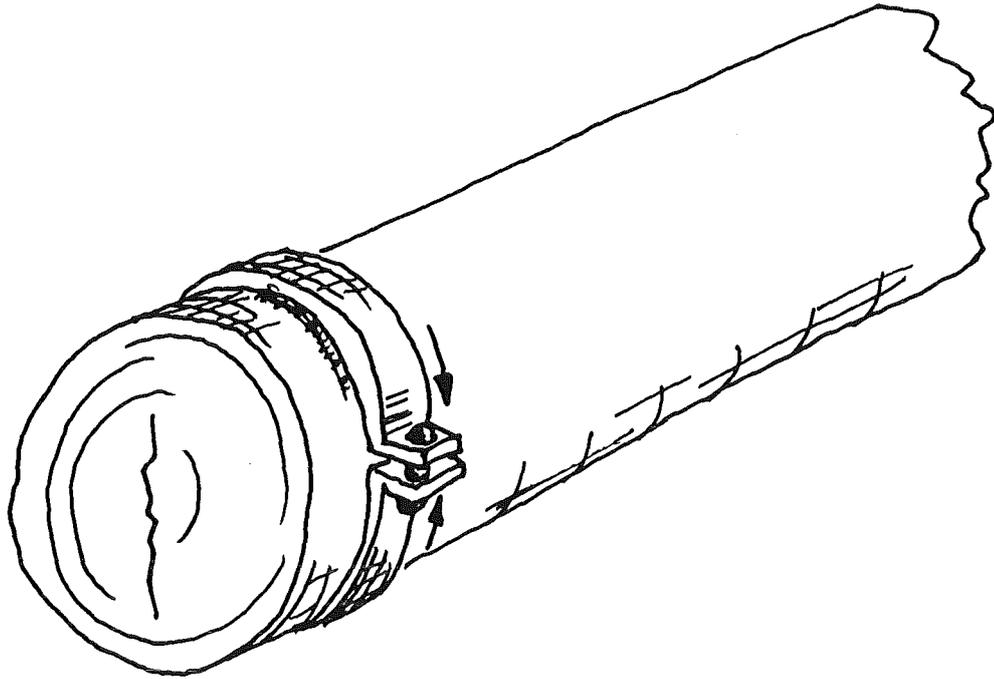


Abb.9 Kompressionsbänder aus Stahl sind teuer und nur begrenzt wirksam

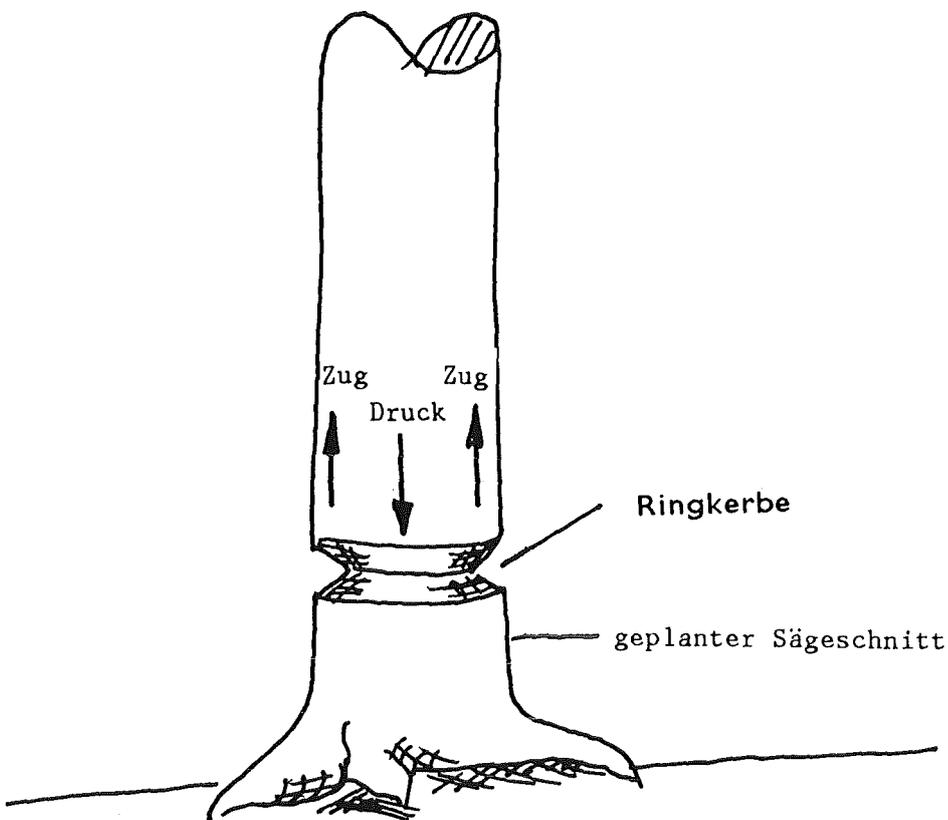


Abb.10 Ringkerbe zur Vermeidung von Hirnrissen nahe des prospektiven Sägeschnittes als 'kausale Maßnahme', die den äußeren Zugstrang kappen sollte

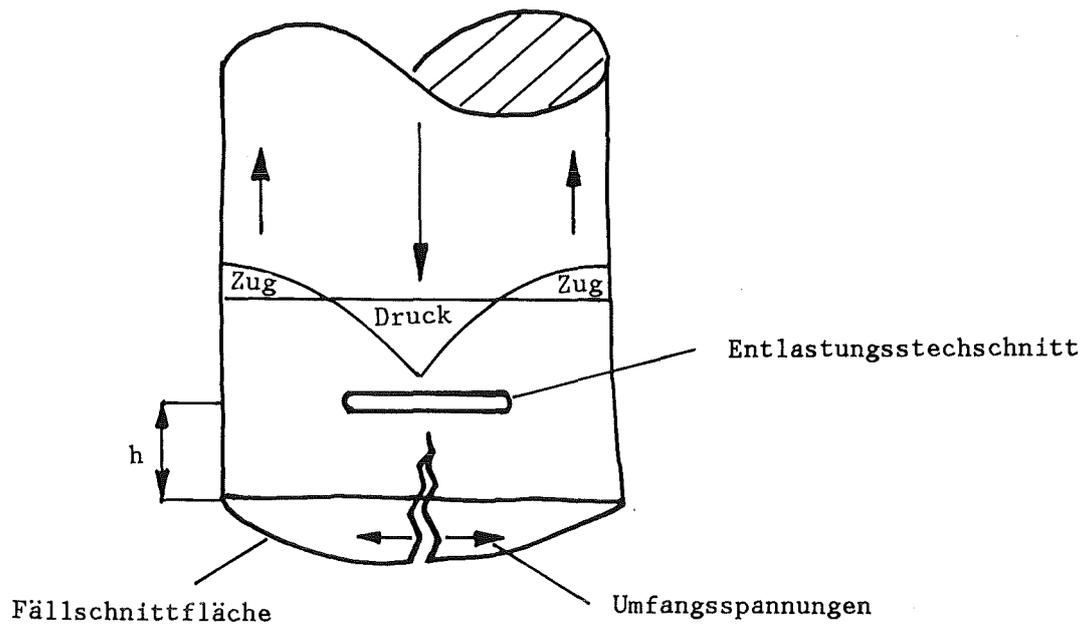


Abb.11 Für die Hirnrißbildung wesentlich verantwortliche axiale Druckspannungen werden durch einen Entlastungsstechtschnitt durch das Herz des Baumes abgebaut.

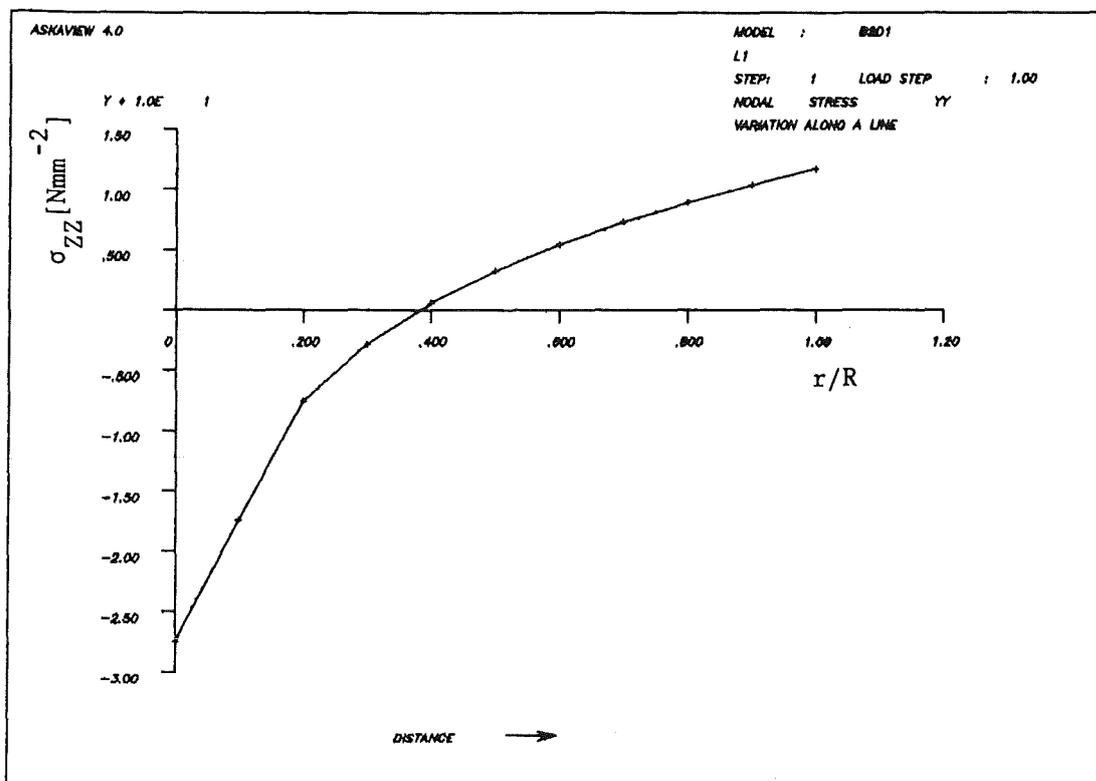
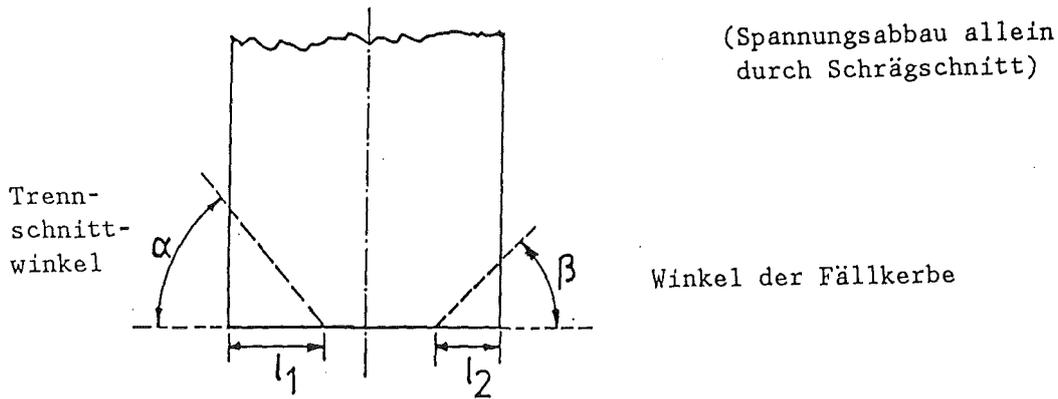


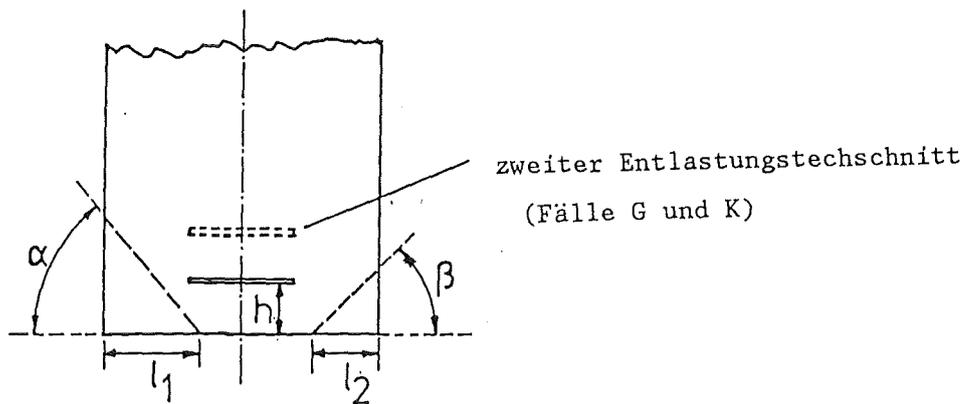
Abb.12 Aufgebrachte Axialspannung, die sich an der von Kübler [3] Verteilung orientiert

Berechnungen ohne Stechschnitt



Fall	Winkel α	Winkel β	l_1	l_2	Spannungsreduktion
A	0°	0°	-	-	Referenzfall
B	45°	0°	$0.35D$	-	12%
C	45°	45°	$0.35D$	$0.20D$	12%
D	60°	45°	$0.35D$	$0.20D$	19%

Berechnungen mit Stechschnitt



Fall	Winkel α	Winkel β	l_1	l_2	h	
E	60°	45°	$0.35D$	$0.20D$	$0.1D$	65%
F	0°	0°	-	-	$0.1D$	43%
G	0°	0°	-	-	$0.1D$ bzw. $0.2D$	49%
H	0°	0°	-	-	$0.2D$	29%
I	60°	45°	$0.35D$	$0.20D$	$0.2D$	47%
K	60°	45°	$0.35D$	$0.20D$	$0.1D$ bzw. $0.2D$	69%

Abb.13 Übersicht über die berechneten Geometrien

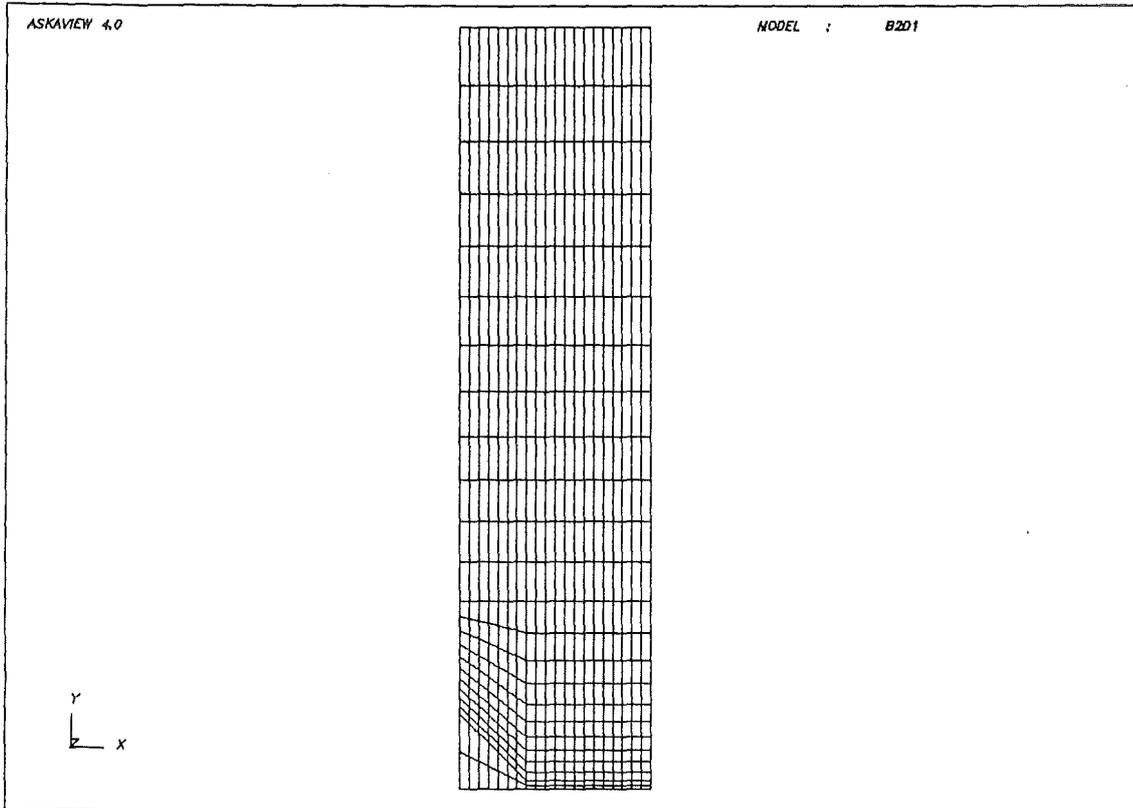


Abb.14a) FEM-Struktur für die berechneten Fälle (konventionell gefällt)

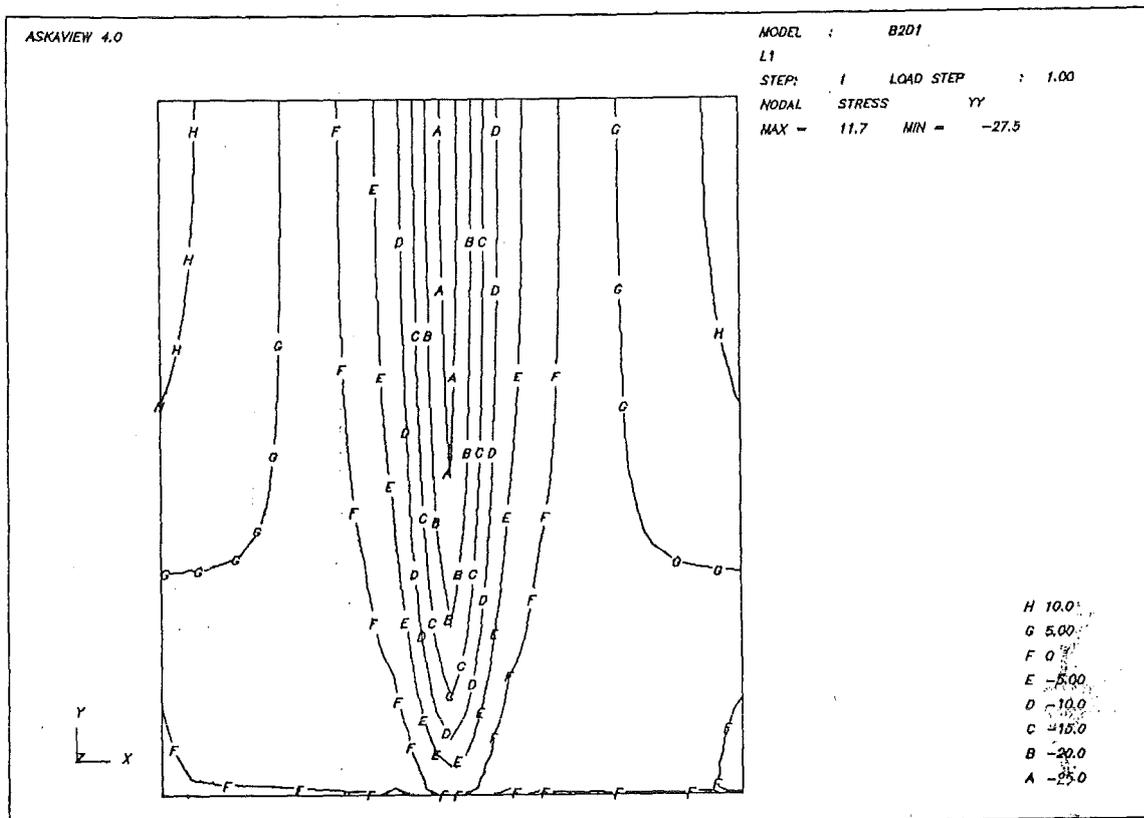


Abb.14b) Längsspannungsverteilung eines konventionell gefällten Stammes

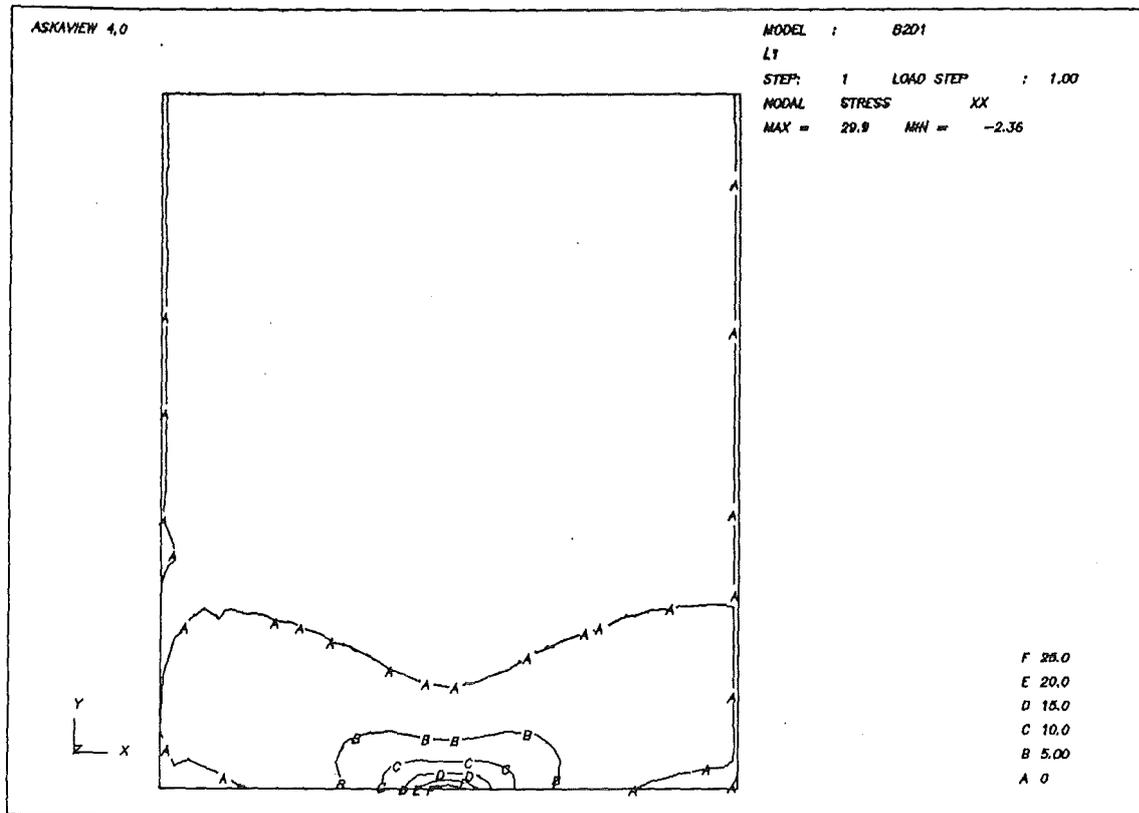


Abb.14c) Umfangsspannungen (konventionell gefällig)

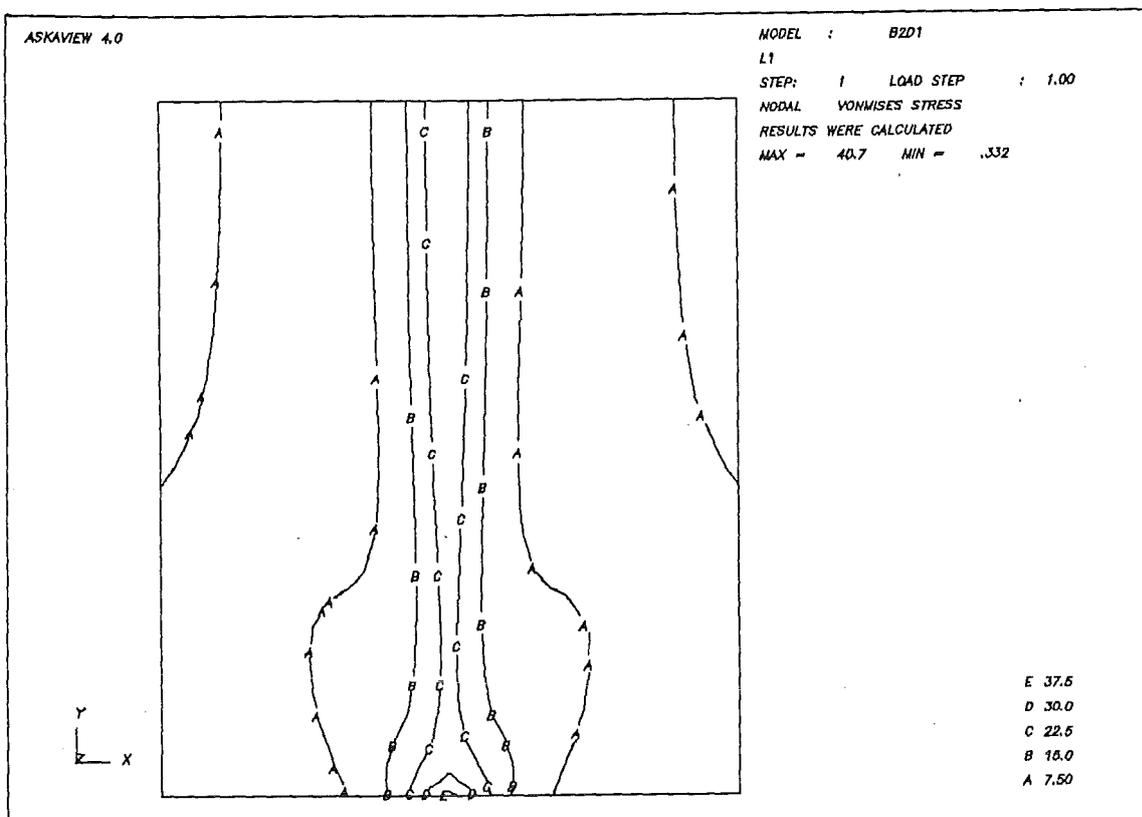


Abb.14d) Verteilung der von Mises Spannungen (konventionell gefällig)

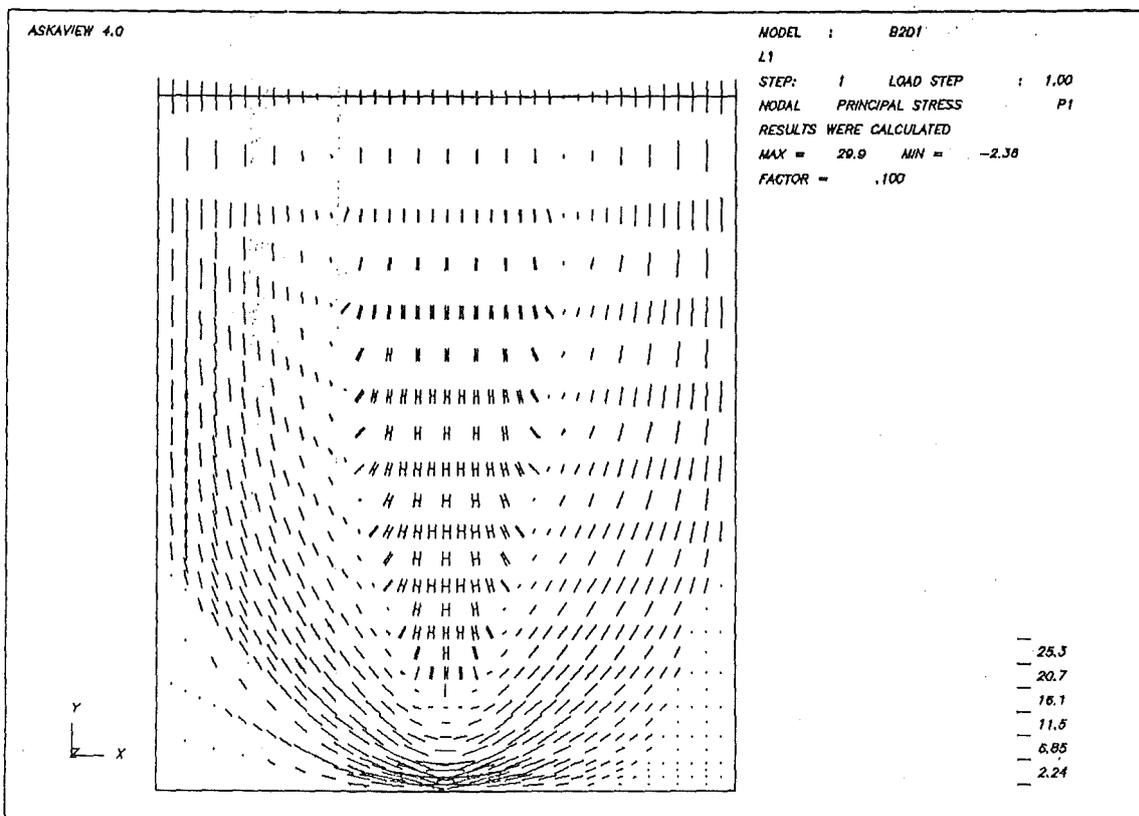


Abb.14e) Hauptspannungstrajektorien (konventionell gefällig)

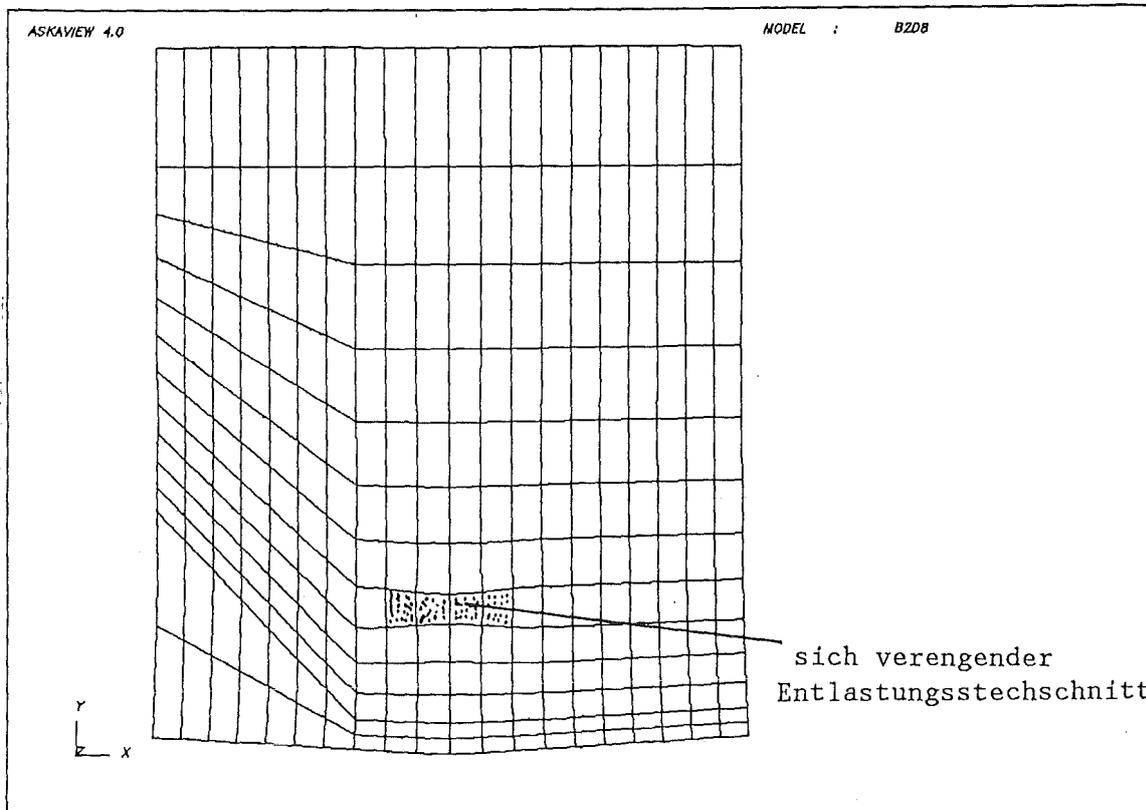


Abb.14f) Verformungsfigur der FEM-Struktur; deutlich sichtbar ist die durch die freiwerdenden Druckspannungen verengte Schnittfuge (Fall H)

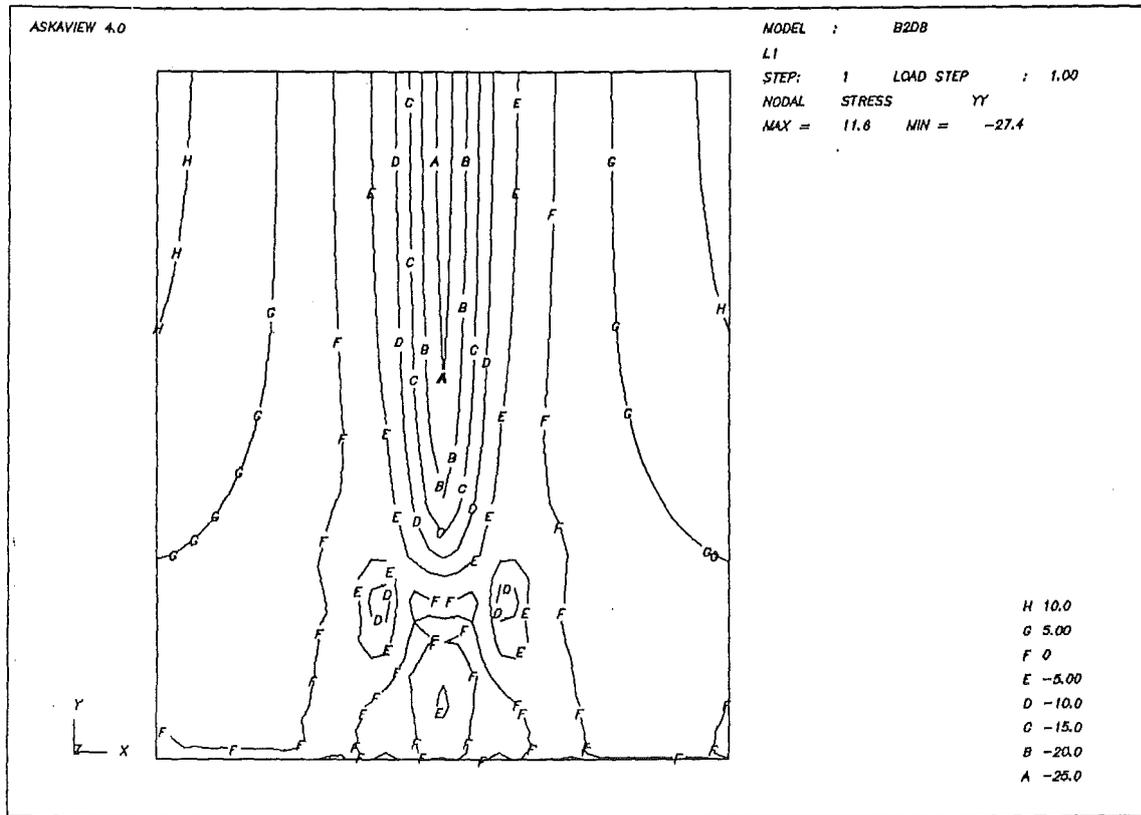


Abb.14g) Längsspannungsverteilung eines mit Entlastungsstechschnitt gefällten Stammes. Ausgewählt wurde Fall H, der sich im praktischen Versuch am besten bewährte.

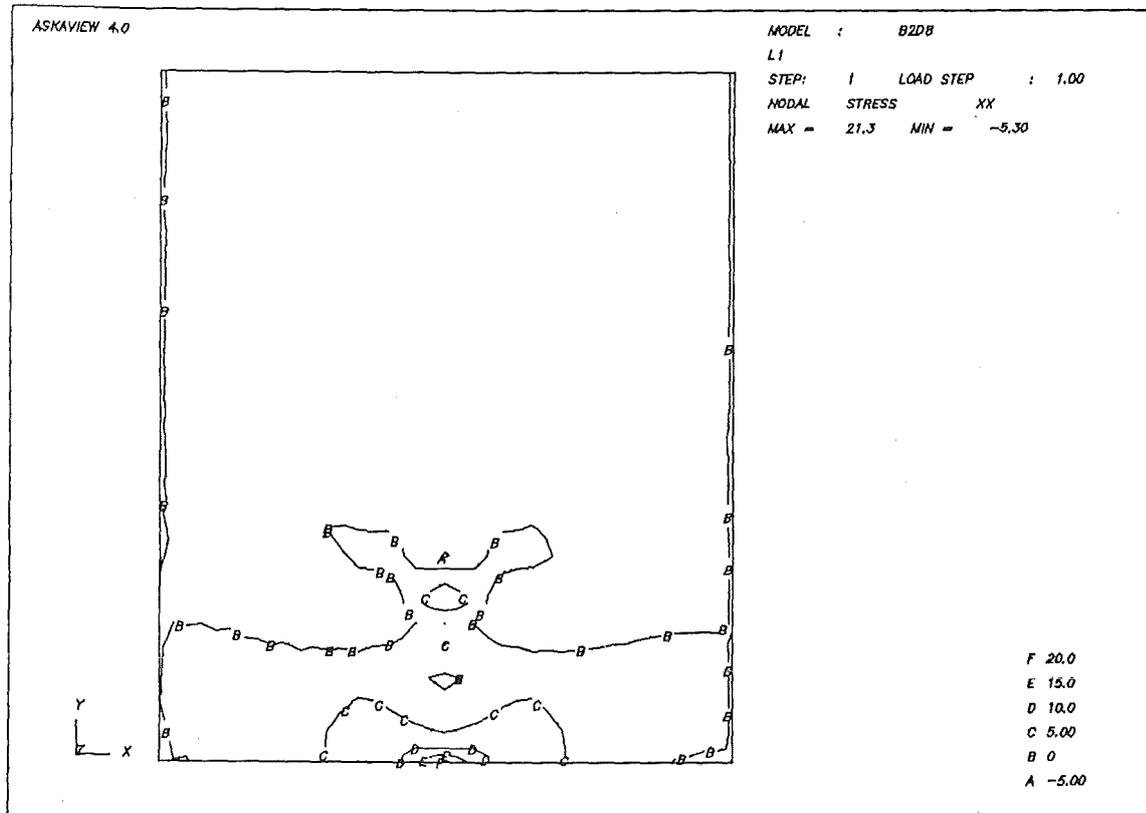


Abb.14h) Umfangsspannungen (mit Entlastungsstechschnitt)

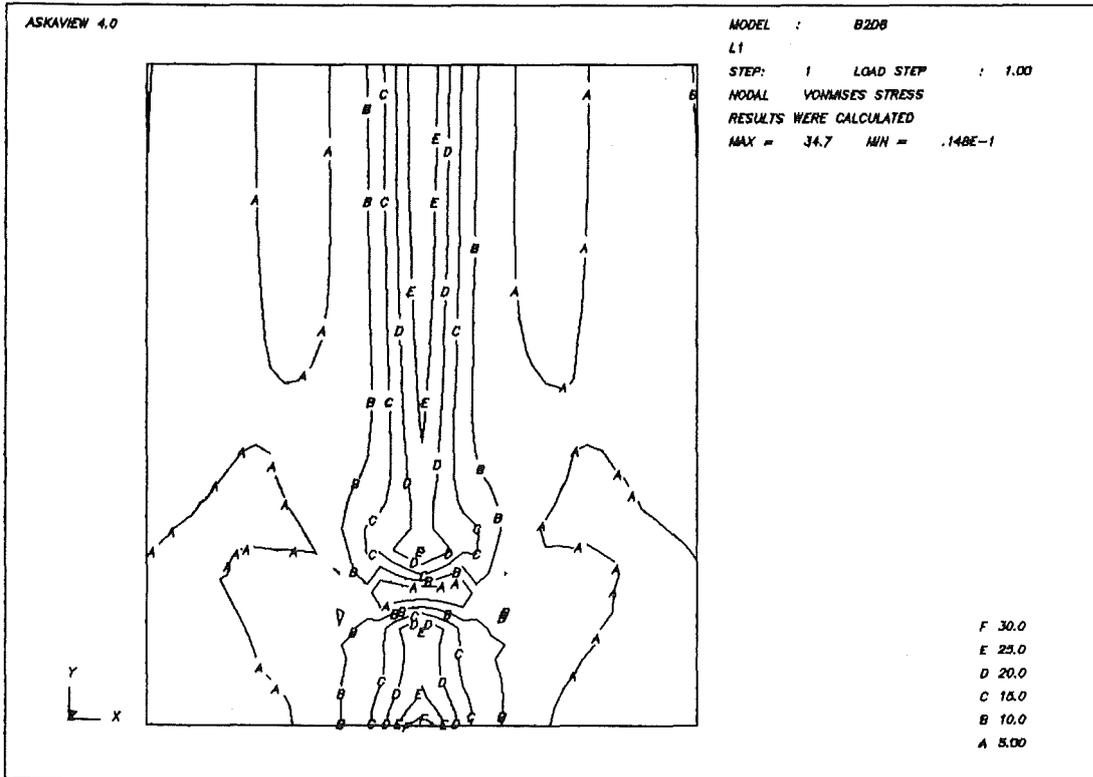


Abb.14i) Verteilung der von Mises Spannungen (mit Entlastungsstechnschnitt)

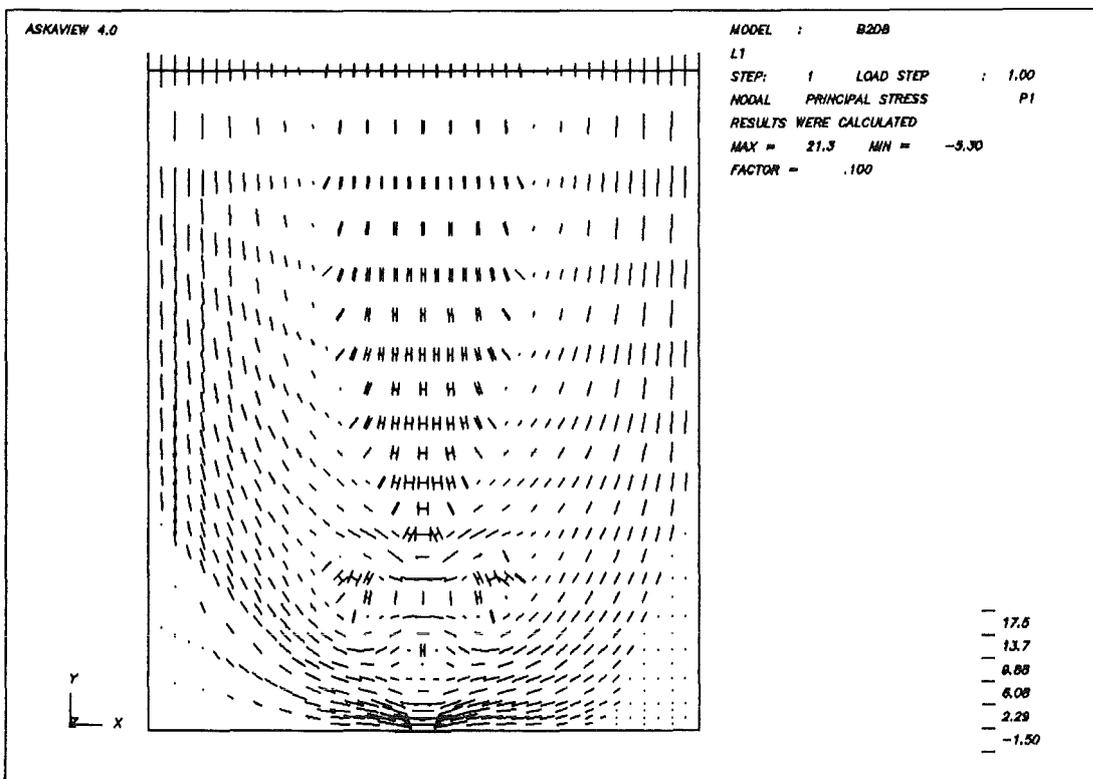


Abb.14k) Hauptspannungstrajektorien (mit Entlastungsstechnschnitt)

Abb.15 Der durch freiwerdende Wachstums-
spannungen einlaufende Riß
kommt am Entlastungsstechschnitt
zum Stillstand

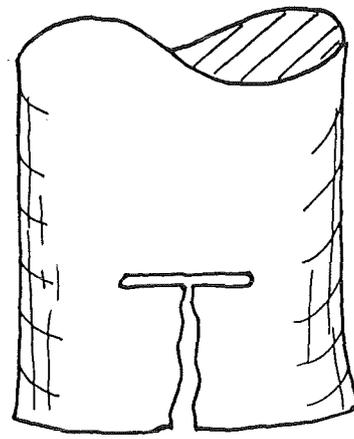
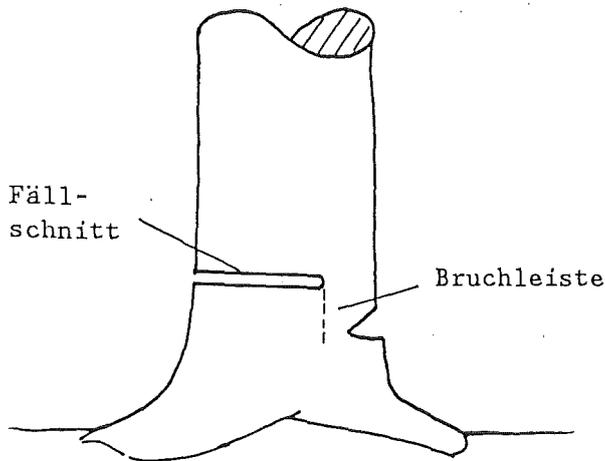
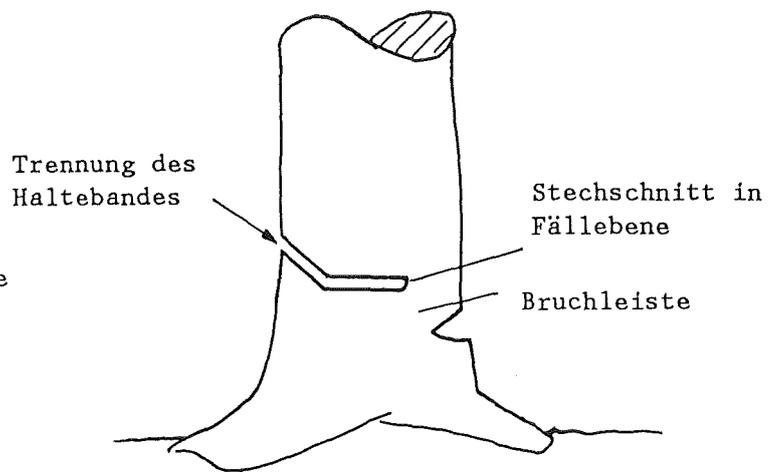


Abb.16 Zwei praktizierte Fälltechniken



a) Traditionelle Schnittführung
ohne Stechschnitt



b) Stechschnitt mit nachfolgender
Durchtrennung des Haltebandes

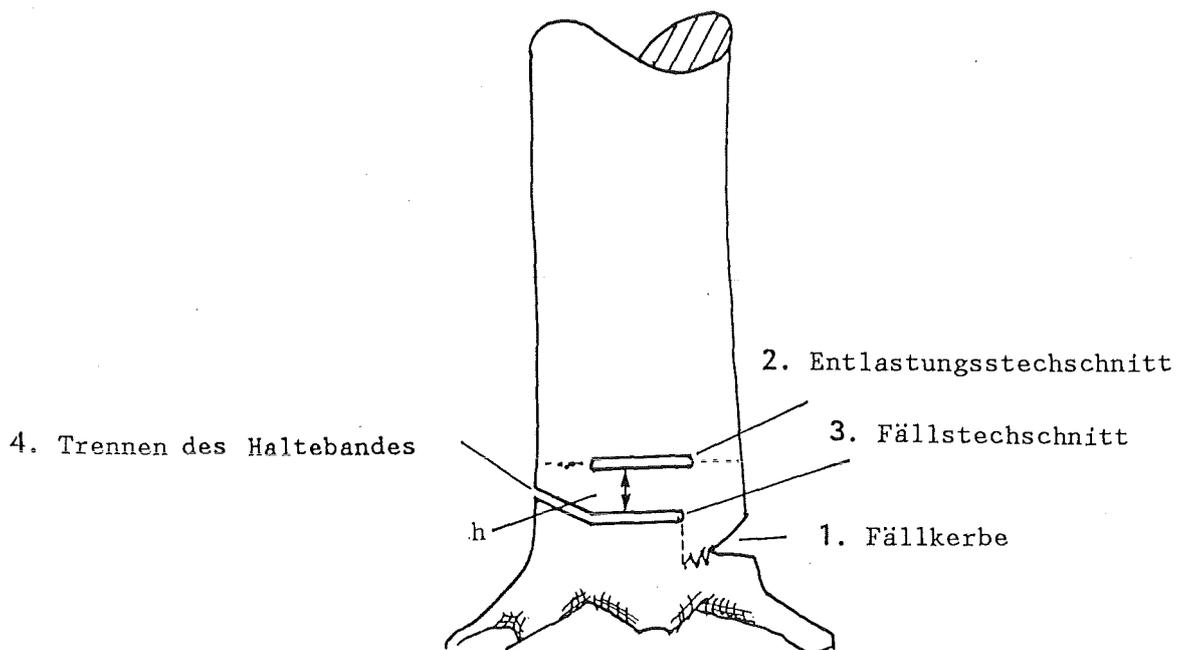
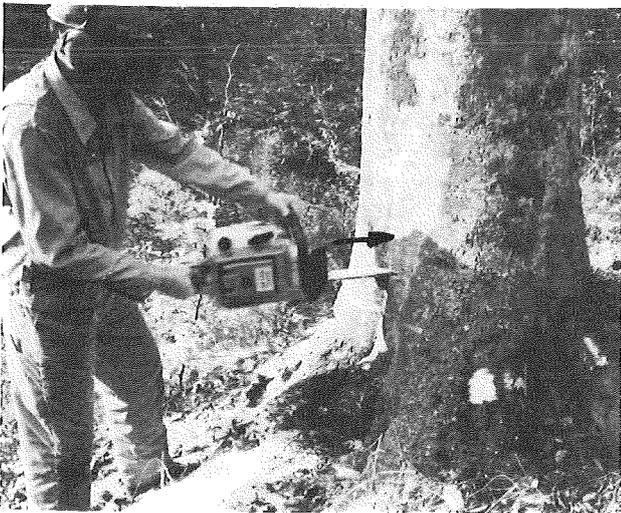


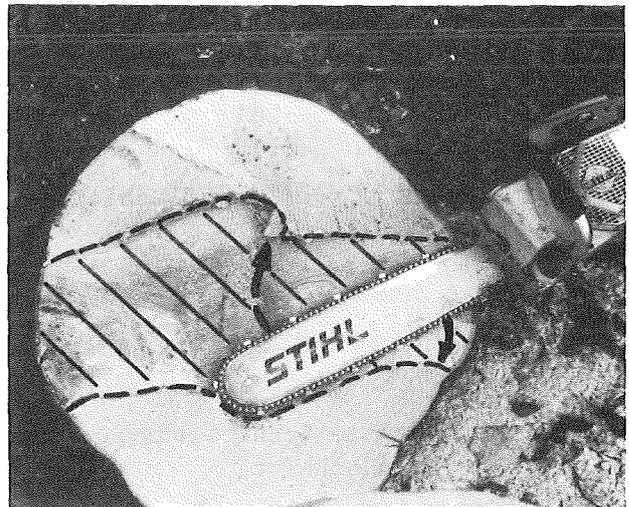
Abb17) Fällvorgang mit Stechschnitt und Entlastungsstechschnitt
im zeitlichen Ablauf



1. Fällkerbe



2. Entlastungsstechnschnitt



3. "Fächern"



4. Fällstechnschnitt

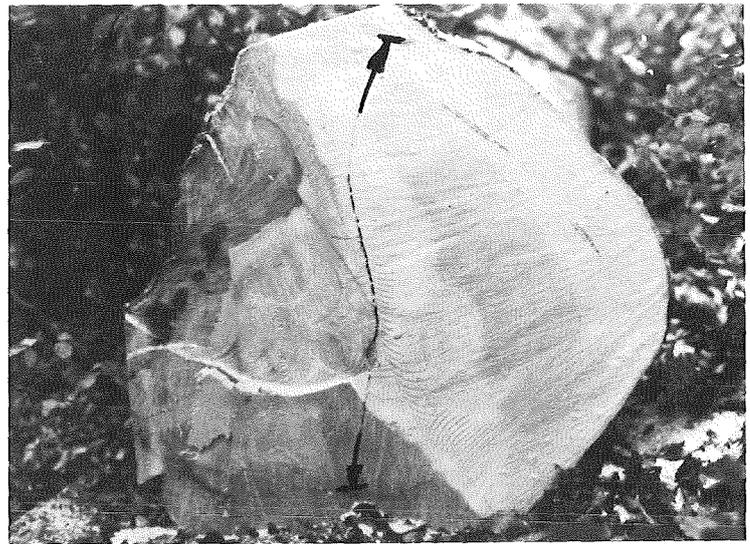


5. Abtrennen des Haltebandes

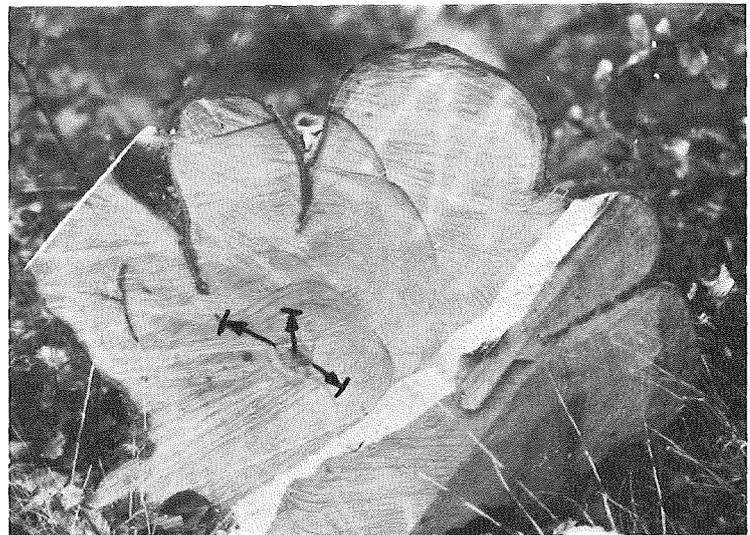
Abb.18 Fällvorgang durchgeführt von Herrn Fick



a)



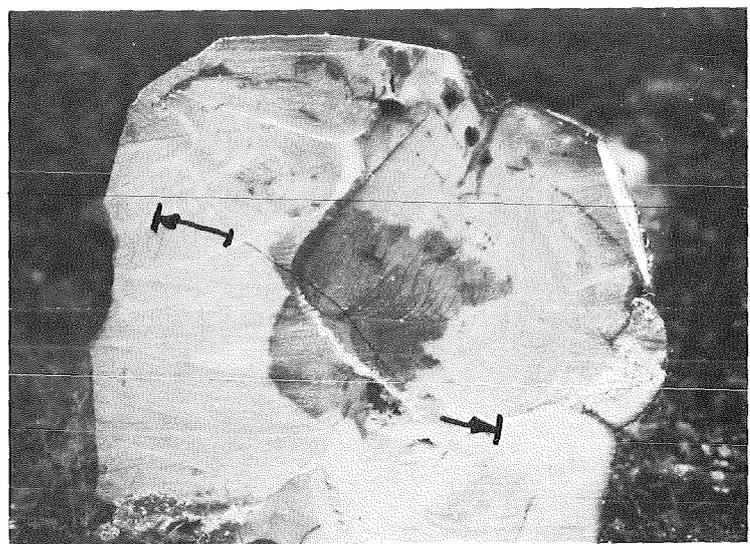
b)



c)



e)



d)

Abb.19a-e) Schnittflächen
traditionell gefällter
Stämme

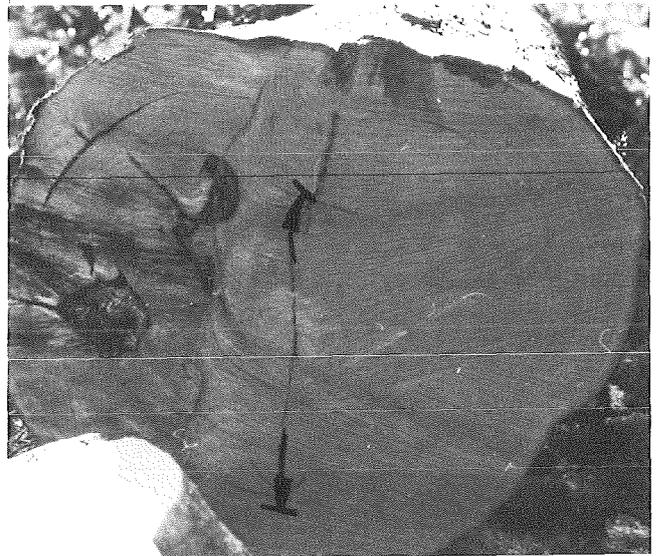
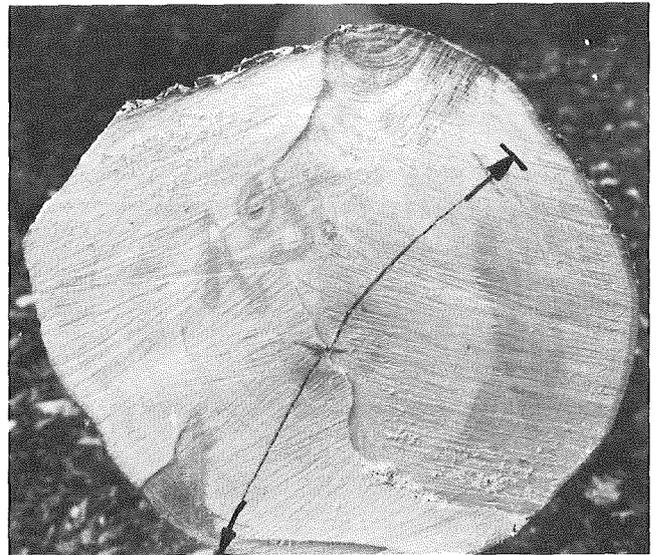
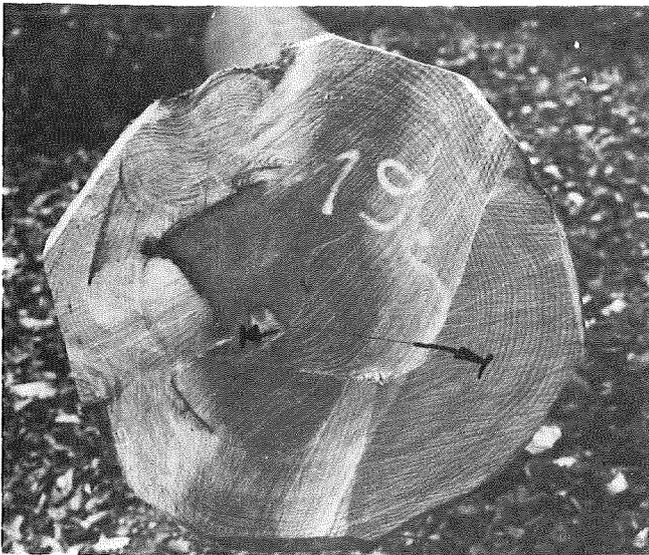
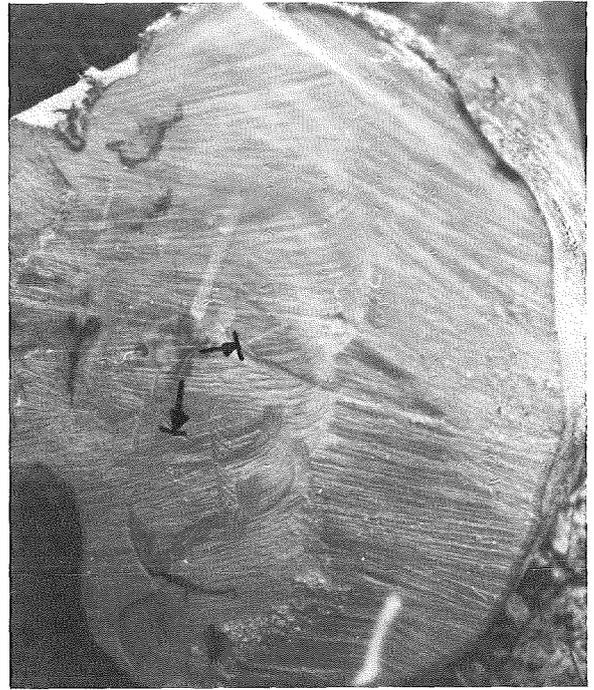


Abb.20a-c) Mit Entlastungsstechschnitt gefällte Bäume; links ist jeweils die Stirnfläche vor, rechts nach dem Abtrennen der Endscheibe abgebildet (siehe auch Abb. 20d-f)

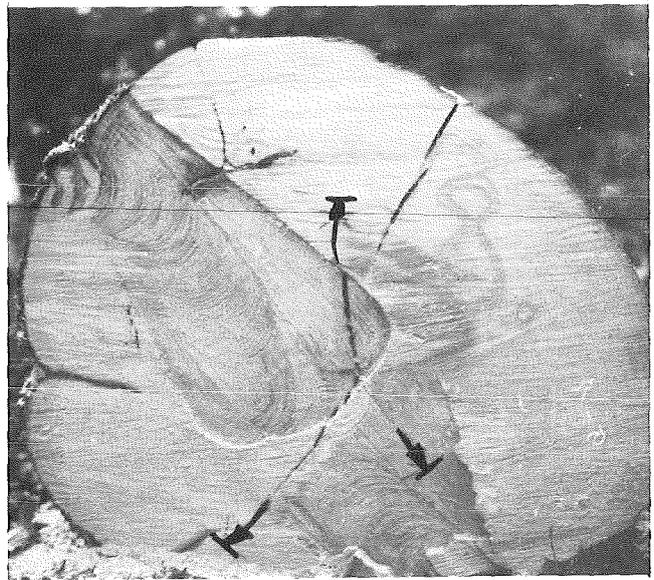
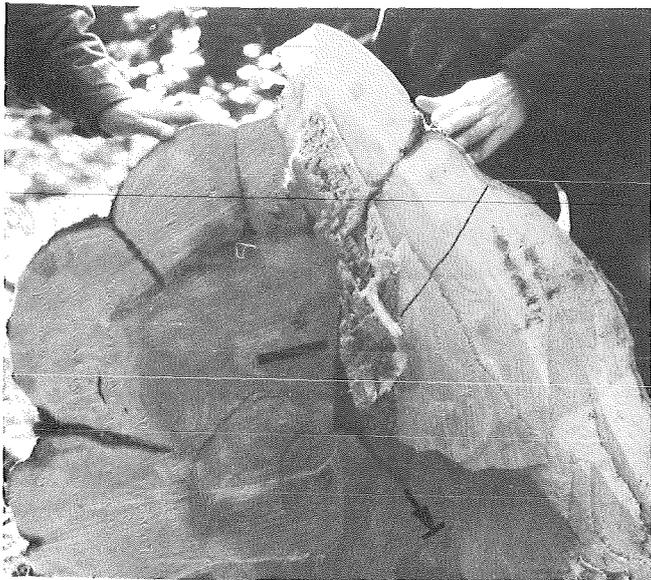
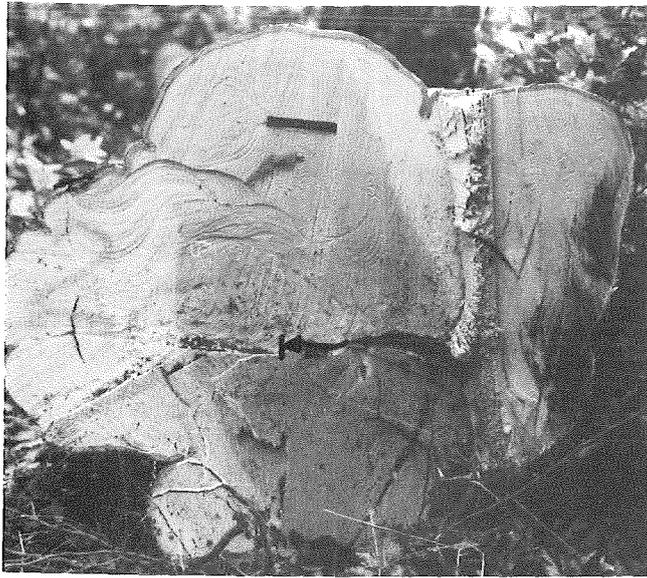
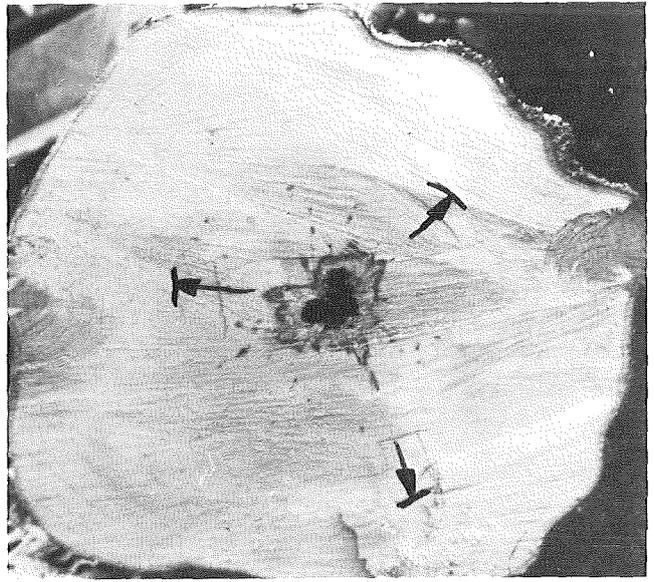
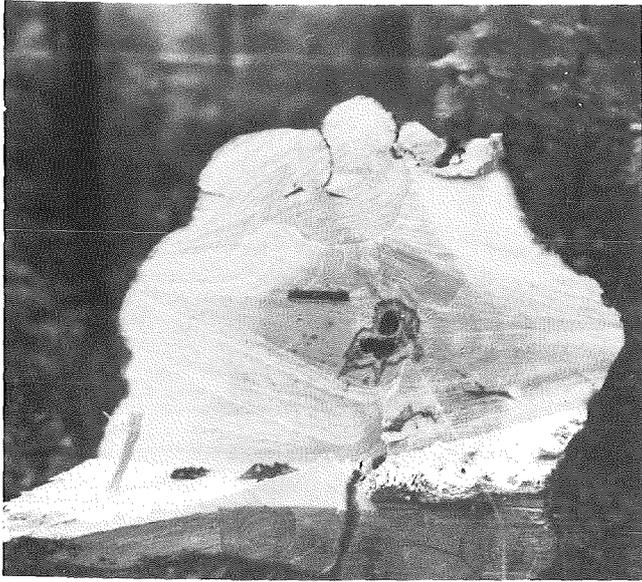


Abb. 20d-f)

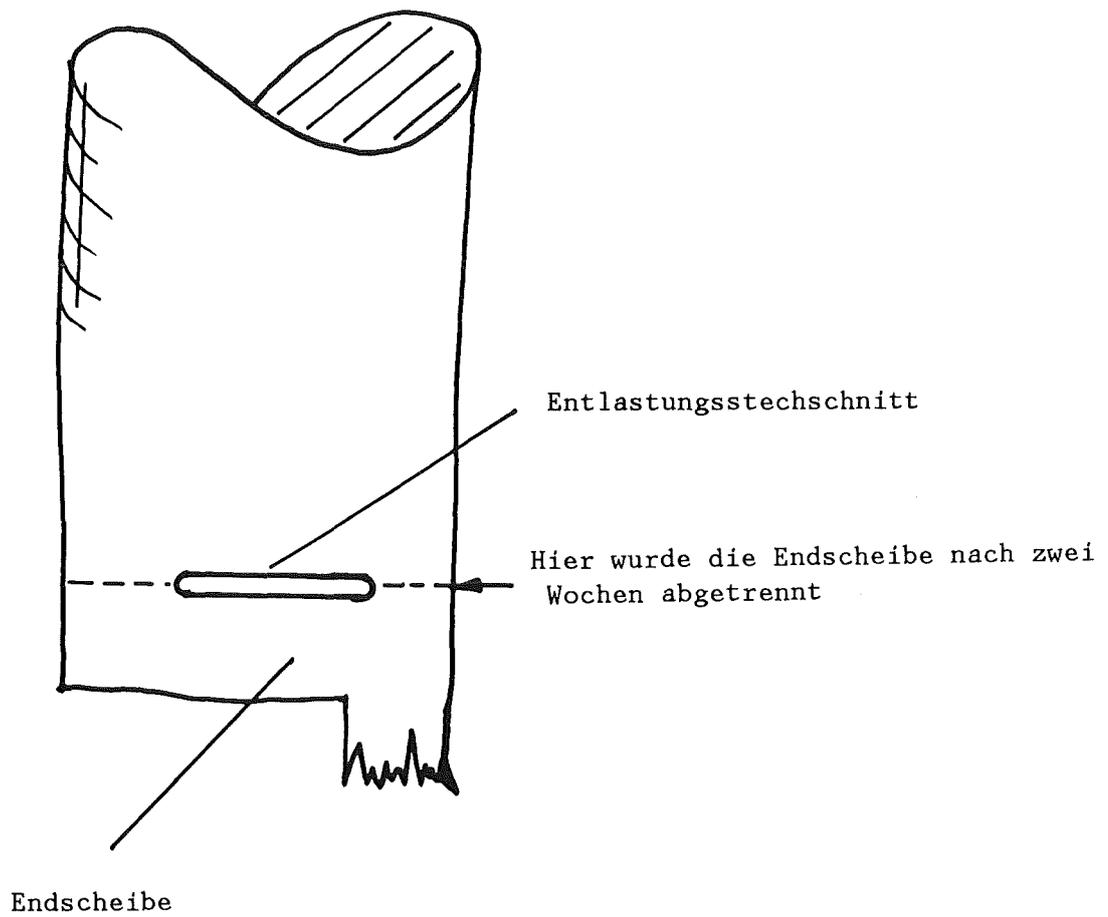
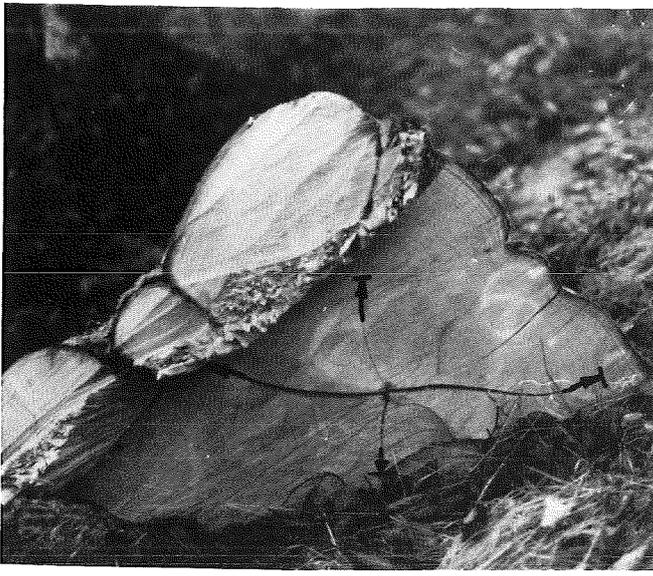
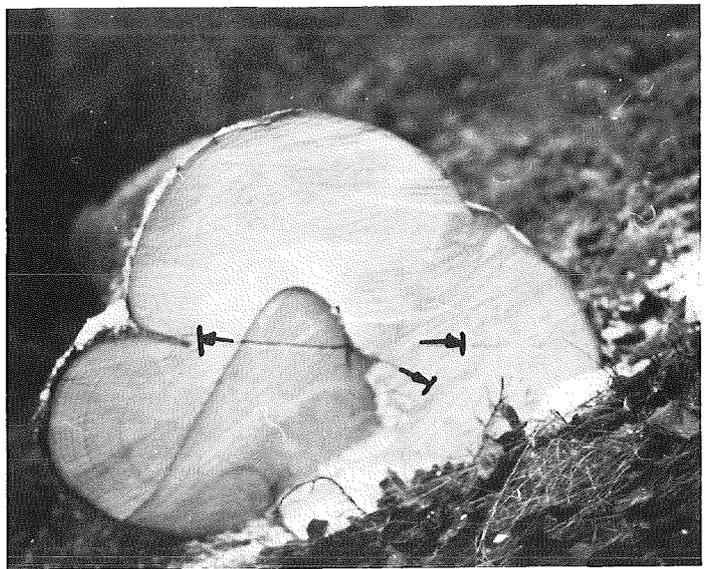


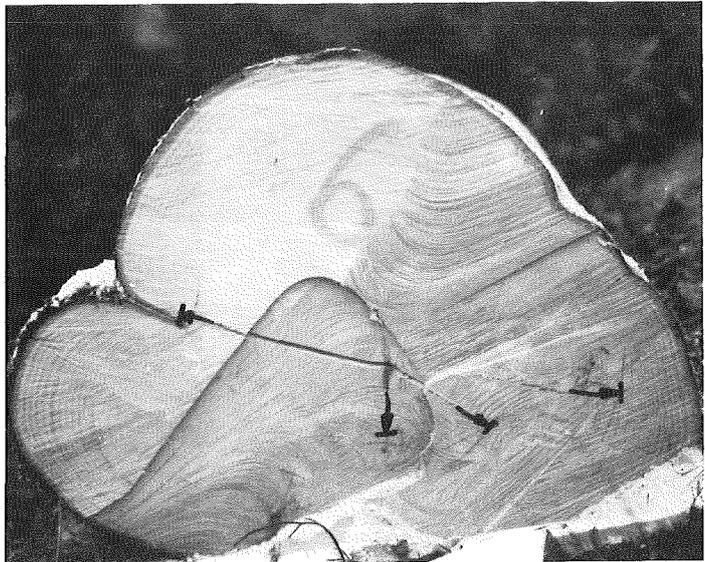
Abb.21 Abtrennen der Endscheibe, um einen direkt vergleichbaren Referenzfall mit traditioneller Fälltechnik zu erschaffen



a) Stirnfläche vor Abtrennen der Scheibe



b) Direkt danach ...



c) und d) ... und nach jeweils etwa einer Minute Wartezeit

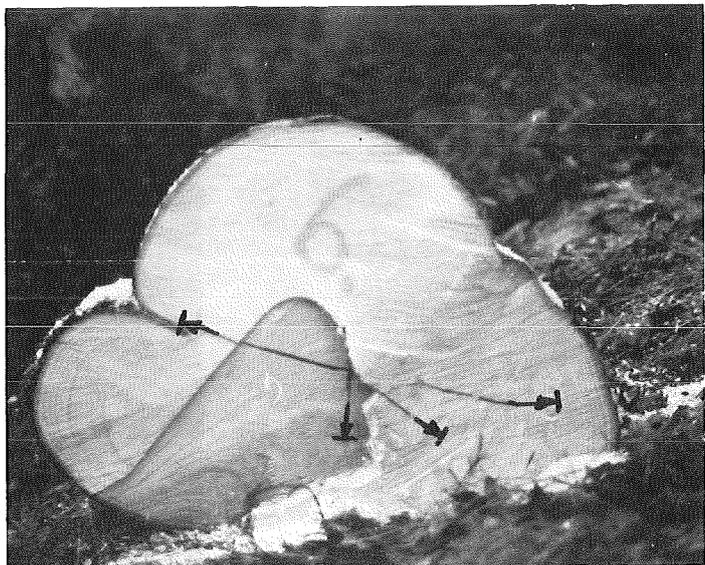
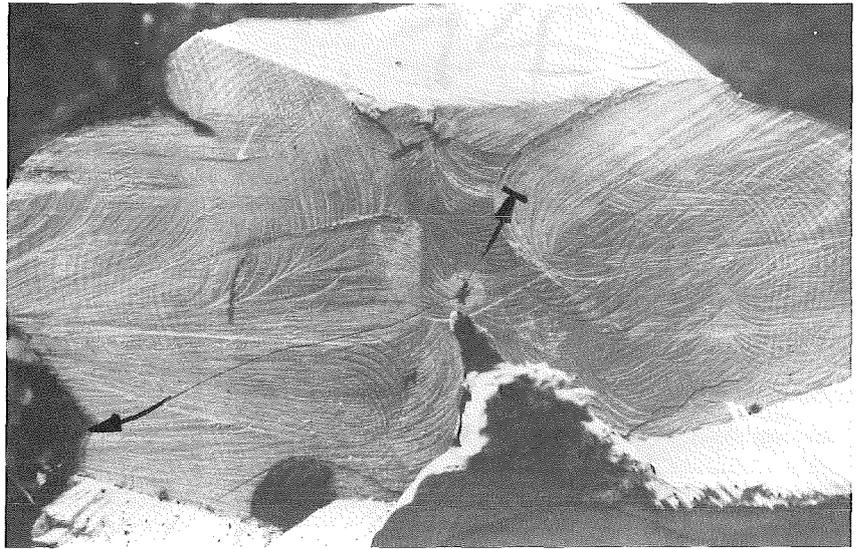
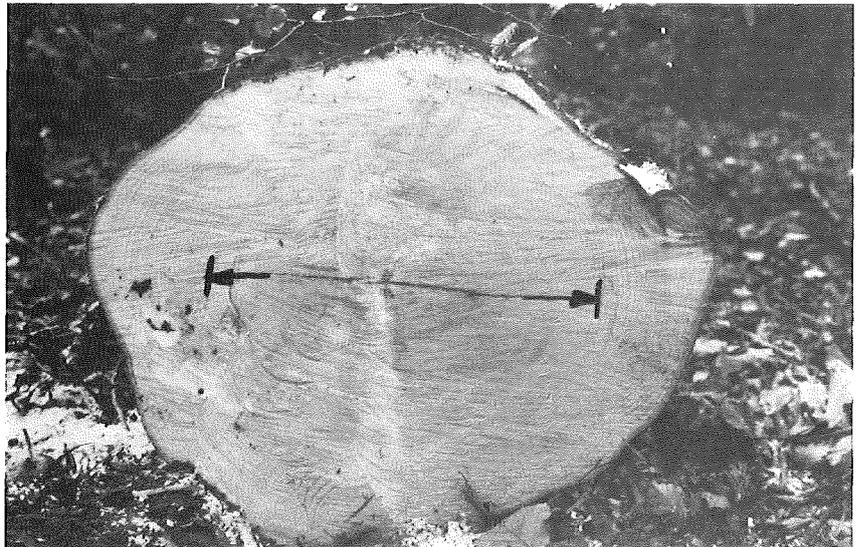


Abb.22a-d) Entstehen der Risse nach Abtrennen der Scheibe

a) Stirnfläche vor ...



b) ... und nach Abtrennen
der Endscheibe



c) Endscheibe (d. Trenn-
schnitt zugewandte Seite)

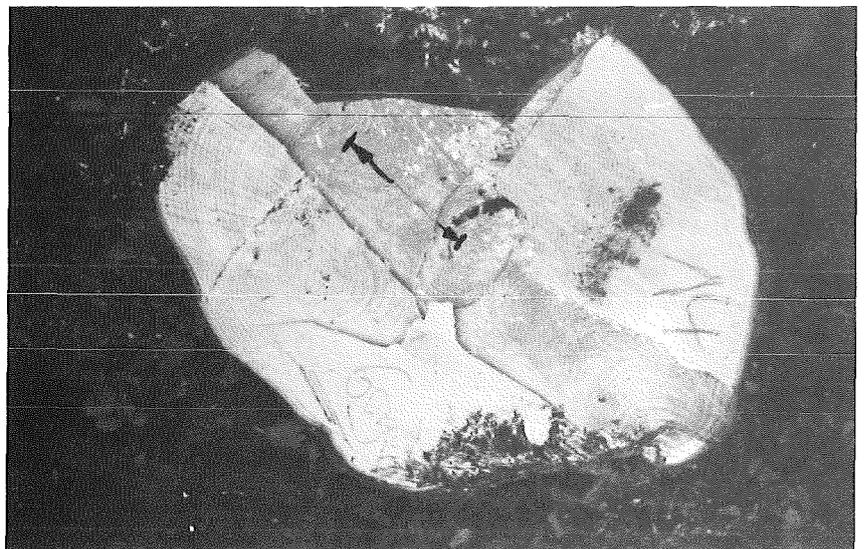


Abb.23a-c)

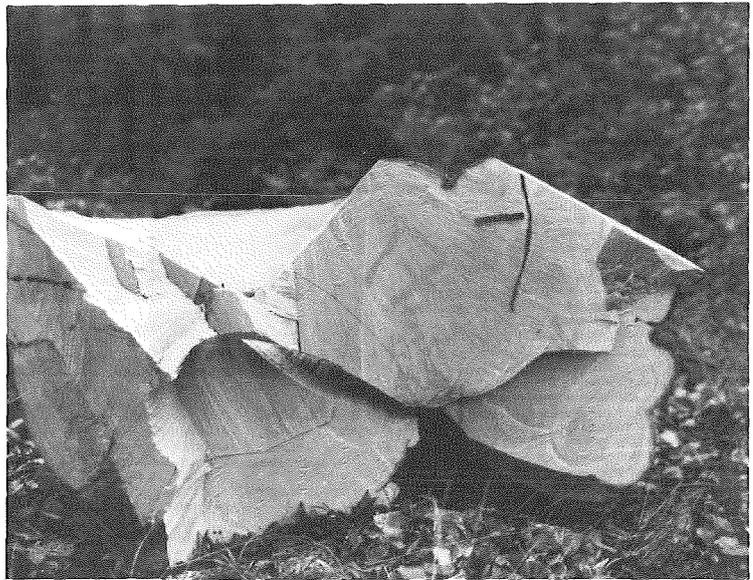
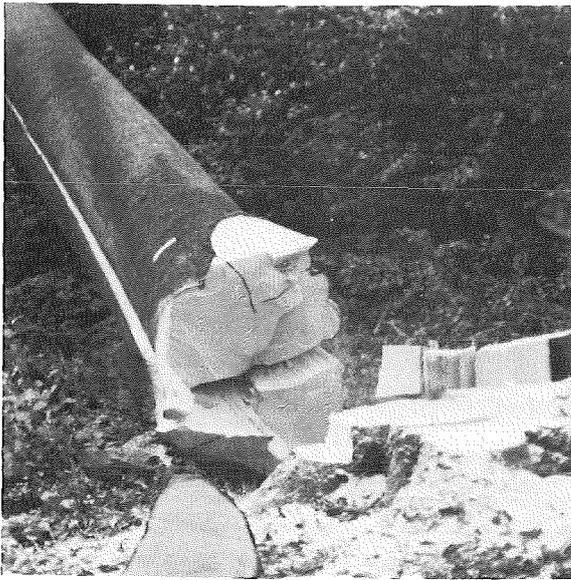


Abb. 24a) Die Fällrisse entstehen schon während des Kippvorganges

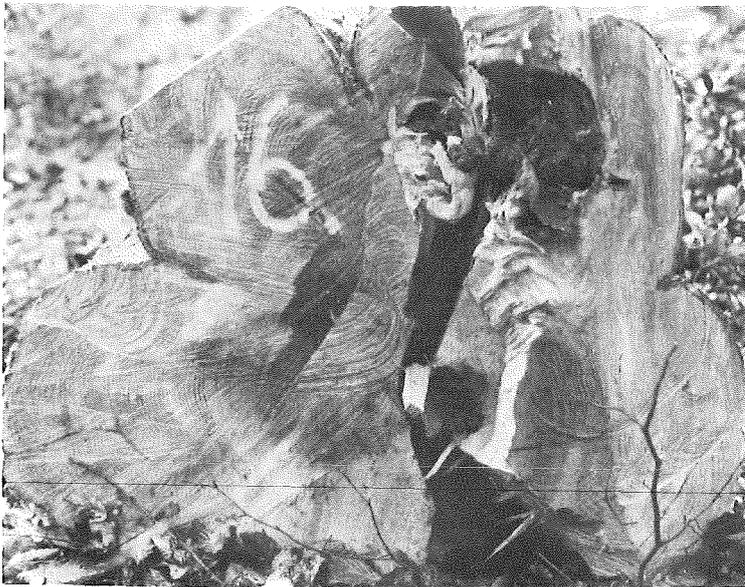


Abb. 24b) Durch die auftretenden Fällrisse werden die inneren Spannungen meist soweit abgebaut, daß keine weiteren Risse entstehen. Die linke Aufnahme zeigt die Stirnfläche vor, die rechte nach Abtrennen der Endscheibe (siehe auch Abb. 24c))



Abb. 24c)

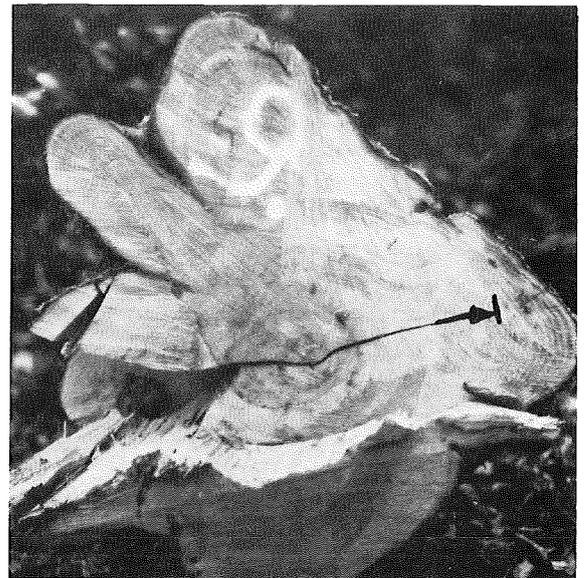


Abb. 24d-f) Weitere Stämme mit
Fällrissen

