



Forschungszentrum Karlsruhe
Technik und Umwelt

Wissenschaftliche Berichte
FZKA 5661

**Geräte zum Auffinden und
Bewerten von holzerset-
zender Fäule in Bäumen**

K. Bethge, C. Matheck, E. Hunger
Institut für Materialforschung

Oktober 1995

Forschungszentrum Karlsruhe

Technik und Umwelt

Wissenschaftliche Berichte

FZKA 5661

**Geräte zum Auffinden und Bewerten von
holzersetzender Fäule in Bäumen**

Klaus Bethge, Claus Mattheck, Erich Hunger ¹⁾
Institut für Materialforschung

¹⁾ IML- Instrumenta Mechanik Labor GmbH
Großer Stadtacker 2, D- 69168 Wiesloch

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe
1995

**Als Manuskript gedruckt
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor**

**Forschungszentrum Karlsruhe GmbH
Postfach 3640, 76021 Karlsruhe**

ISSN 0947-8620

Kurzfassung:

Auf der Basis der VTA- Methode (Visual Tree Assessment) wurden verschiedene Geräte entwickelt, die es Baumpfleger, Baumsachverständigen und Landschaftsplanern ermöglichen ihre visuelle Beurteilung zur Stand- und Bruchsicherheit von Bäumen durch Messungen zu ergänzen. Diese Meßgeräte sind im einzelnen, der Schallimpulshammer zum Auffinden und Bestätigen von inneren Defekten, der Resistograph M zur Detektion und Quantifizierung innerer Defekte und drei Versionen des Fractometer zur Bestimmung der Steifigkeit und Bruchfestigkeit von Holz. Der Bericht gibt Hinweise zur Verwendung der Geräte bei Bauminspektionen und stützt sich auf die Erfahrung der Autoren im Umgang mit den Meßgeräten.

Equipment for detection and evaluation of incipient decay in trees

Abstract:

Several instruments, the Sound Impulse Hammer for the detection and confirmation of suspected internal defects, the Resistograph M for defect detection and quantification of internal defects and three types of Fractometer for the measurement of elasticity and fracture strength of wood, have been recently developed based on the Visual Tree Assessment (VTA) method to assist arboriculturists, landscape architects and planners to supplement their observations where a tree's stability and durability is suspect. This paper concentrates on how these instruments are used in tree inspections and is based on the authors' experience of their use in the field.

Inhaltsverzeichnis:

Einleitung	1
Der Schallimpulshammer und seine Anwendung	2
Der Resistograph- M 300 und seine Anwendung	4
Der Fractometer I und seine Anwendung	5
Fractometer II und III als Werkzeuge für die Holzforschung	7
Zusammenfassung	8
Literatur	9
Tabellen	10
Abbildungen	12

Einleitung:

Basierend auf der VTA- Methode (Visual Tree Assessment) zur Baumbewertung (MATTHECK& BRELOER, 1994 und 1995), wurden in den letzten Jahren in Zusammenarbeit mit der Firma IML- Instrumenta und dem Forschungszentrum Karlsruhe mehrere verschiedene Meßgeräte entwickelt als Hilfsmittel zur Bewertung von Gefahrenbäumen. Diese Instrumente ergänzen die qualifizierte Sichtkontrolle von Bäumen entsprechend der VTA- Methode und erlauben die Dokumentation und Quantifizierung der Kontrollergebnisse. Deshalb können sie als unabdingbare Hilfsmittel zur Entscheidungsfindung bezeichnet werden.

Zu diesen Geräten gehören der Schallimpulshammer zum Auffinden und Bestätigen innerer Defekte, der Resistograph- M zum Auffinden von Defekten sowie zur Bestätigung und Quantifizierung innerer Defekte und der Fractometer zur Bestimmung der Holzqualität in Form von Elastizität und Bruchfestigkeit.

Im Folgenden werden diese Meßgeräte näher beschrieben und auch Beispiele für die Geräteanwendung bei der Baumuntersuchung vorgestellt. Die Geräte sind speziell für Baumpfleger, Baumsachverständige und andere Personen, die Interesse an der Qualität von Holz haben, wie z.B. Holzhändler, Gutachter für Holzbauten etc., konzipiert.

Der Schallimpulshammer und seine Anwendung:

Die Nutzung der Schallgeschwindigkeitsmessung ist eine Meßtechnik, die bereits seit langer Zeit zur exakten Bestimmung physikalischer Materialparameter wie dem E- Modul und der Dichte unterschiedlichster defektfreier Materialien Anwendung findet. Die Schallgeschwindigkeitsmessung wird aber ebenso als ein verlässlicher Indikator für innenliegende Defekte, wie Inhomogenitäten, Risse, Hohlräume in den verschiedensten defektbehafteten Materialien verwendet. Möglich ist dies dadurch, daß defektfreie Materialien eine charakteristische Ausbreitungsgeschwindigkeit für den Schall aufweisen, welche bei Anwesenheit von signifikanten Defekten drastisch verändert wird.

Der Schallimpulshammer nutzt diese Technik, um innere Defekte wie z.B. Fäule, Risse, eingeschlossene Rinde, Naßkerne und Höhlungen in Bäumen durch einen Vergleich der gemessenen radialen Schallgeschwindigkeit im defektbehafteten Baum mit der charakteristischen radialen Schallgeschwindigkeit des defektfreien Baumes, zu detektieren. Im defektfreien Zustand weisen Weichhölzer eine radiale Schallgeschwindigkeit von ca. 1000- 1200 m/s und Harthölzer eine Geschwindigkeit von 1400- 1600 m/s auf. Ausgeprägte Defekte reduzieren die Schallgeschwindigkeit auf weniger als 70% der charakteristischen Werte (BETHGE et.al., 1994).

Der Schallimpulshammer besteht aus den folgenden Hauptkomponenten, die in Abb. 1 dargestellt sind.

- Ein Schraubenset, mit welchem die Baumrinde durchdrungen wird und welches fest im Splintholz verankert wird,
- ein Hammer mit eingebautem Beschleunigungsaufnehmer,
- ein zweiter Beschleunigungsaufnehmer, welcher auf einer der beiden Schrauben befestigt wird,
- eine Elektronikeinheit, die die Laufzeit des Signals zwischen den beiden Beschleunigungsaufnehmern mißt und anschließend daraus die zugehörige Ausbreitungsgeschwindigkeit errechnet.

Nachdem man die Schrauben in radialer Richtung in der interessierenden Baumhöhe angebracht hat, verbindet man die abgeschirmten Kabel mit dem Meßgerät, so daß das Hammerkabel mit dem Hammeranschluß und das Sensorkabel mit dem zweiten Beschleunigungsaufnehmer verbunden sind, der später dann die Messung beendet.

Schaltet man das Gerät ein, so erscheint im Display zunächst die Statuszeile und eine Anzeige des Batteriezustandes. Diese Anzeige kann durch Drücken einer beliebigen Taste gelöscht werden. Hat man bereits den Abstand zwischen den Schraubenspitzen gemäß Abb. 2 bestimmt, so kann dieser Wert mit Hilfe der Tastatur eingegeben werden, sobald in der Anzeige die Frage nach dem Durchmesser auftaucht. Die Eingabe erfolgt in **cm**, gefolgt durch Drücken des Eingabeknopfes (#) und wird kurz darauf angezeigt ($d = \dots \text{cm}$).

Sodann befindet sich die Meßeinrichtung in Warteposition, um mit dem Hammerschlag auf die freie Schraube die Zeitmessung zu starten, welche angehalten wird sobald das Signal den zweiten Beschleunigungsaufnehmer, der auf der gegenüberlie-

genden Seite angebracht wurde, erreicht. Diese Zeitmessung wird mit Hilfe des eingegebenen Abstands zwischen den Schraubenspitzen direkt in eine Schallgeschwindigkeit umgerechnet, welche in m/s angezeigt wird oder optionell auf einem eingebauten Drucker ausgegeben wird. Um weitere Hammerschläge nach einer kurzen Wartezeit von ca. 2 Sekunden (Anzeige zeigt dann: o.k.) am gleichen Meßort durchführen zu können, verbleibt der Schraubenabstand im Speicher bis dieser mit neuer Information überschrieben bzw. das Meßgerät ausgeschaltet wird.

Obwohl an dem robusten Meßgerät eigentlich nichts zerstört werden kann, sollten die abgeschirmten Kabel und Verbindungen behutsam behandelt und trocken und sauber gelagert werden, um fehlerhafte Messungen zu vermeiden.

Beispiele zur Geräteanwendung bei der Baumuntersuchung sind in den folgenden Abb. 3- 13 in selbsterklärender Weise dargestellt.

Leider kann der Pilz *Ustilina deusta* mit dem Schallimpulshammer nicht detektiert werden, da dieser Pilz gleichzeitig die Dichte und den E- Modul verändert und damit keine Änderung der Schallgeschwindigkeit bewirkt (SCHWARZE et.al., 1993; SCHWARZE, 1994). Trotzdem kann dieser Pilz leicht entdeckt werden, da er mehrjährige charakteristische Pilzfruchtkörper bildet, die man häufig zwischen den Rindenfallen der Wurzelanläufe finden kann.

Darüber hinaus ist es nicht möglich die exakte Geometrie des Defektes mit Hilfe des Schallimpulshammers zu bestimmen. Dieses Ziel hinsichtlich Defektlokalisierung und Defektgröße erreicht man besser mit dem Resistograph- M 300 oder unter Verwendung eines Zuwachsbohrers und dem Fractometer.

Der Resistograph- M 300 und seine Anwendung:

Der Resistograph- M 300 ist eine erst kürzlich entwickelte, rein mechanische Bohrmaschine, die den Bohrwiderstand entlang eines Bohrkanals mißt, während eine rotierende Bohrnadel mit konstantem Vorschub in den Baum getrieben wird. Da der Bohrwiderstand mit mechanischen Materialkenngrößen korreliert, ist diese Technik ein einfaches Hilfsmittel zum Auffinden und Bewerten lokaler Defektzonen, die sich in Bäumen ausgebildet haben. Besonders Diskontinuitäten, wie offene Risse, Fäulezonen, Morschungen, Jahresringstrukturen (in Nadelbäumen gut zu erkennen, weniger gut in ringporigen Laubhölzern und gar nicht in diffusporigen Hölzern) ebenso wie verbleibende Restwandstärken hohler Bäume können mit diesem Meßgerät detektiert und ihre Ausdehnung entlang des Nadelweges bis zu einer Maximaltiefe von 300 mm bestimmt werden. Verfärbtes Holz und sehr frühe Stadien von Fäulebefall können allerdings nicht gefunden werden. Braunfäule kann man in einem früheren Stadium als Weißfäule entdecken.

Abb. 14 zeigt ein Foto des Bohrgeräts bei der Verwendung am Baum und läßt die Hauptkomponenten des Geräts erkennen.

Die speziell geformte Bohrnadel ist am Bohrkopf 3 mm breit und verjüngt sich am Bohrschaft auf einen Durchmesser von 1,5 mm. Durch den speziell geformten Bohrkopf werden Abweichungen der Bohrnadel von der geraden Bohrrichtung auf ein Minimum reduziert. Die Bohrnadel wird mit konstantem Vorschub in den Baum eingetrieben, wobei der Vorschub entweder durch ein Schwungrad mit Kurbel oder einem Akkuantrieb gewährleistet wird. Die verschiedenen Vorschubgeschwindigkeiten von 200, 400 and 650 mm/min werden über Wechselgetriebe realisiert, welche einfach und schnell am Ende des Geräts gegenüber dem Nadelaustritt gewechselt werden können. Der Bohrwiderstand an der Nadelspitze wird mittels eines "intelligenten" Satellitengetriebes an einen an der Geräteoberseite sichtbaren Zeiger übermittelt, der das Meßergebnis auf einem regenfesten Wachspapierstreifen einritz.

Die Benutzung des Geräts ist denkbar einfach: Läuft der Antrieb rückwärts, öffnet sich eine Klammer am Ende des Aufzeichnungsteiles des Geräts und ermöglicht das Einlegen eines neuen Wachspapierstreifens unter die Klammer. Sobald der Antrieb vorwärts läuft, wird der Wachspapierstreifen festgehalten und erlaubt die Aufzeichnung des Meßsignals.

Im Falle einer einfachen Stamminspektion wird das Meßgerät senkrecht zur Stammlängsachse so ausgerichtet, daß die Nadel radial in Richtung der Stammmitte weist. Dadurch wird gewährleistet, daß die Nadel die Jahresringgrenzen möglichst rechtwinklig trifft und somit die Abweichung der Nadel vom beabsichtigten Meßpfad minimiert wird. Drückt man das Meßgerät gegen den Baum und schaltet den Antrieb ein, so beginnt die Aufzeichnung des Bohrwiderstands direkt im Maßstab 1:1 als Bohrwiderstandsdiagramm auf dem Wachspapierstreifen. Wenn die Nadel ihre volle Ausfahrlänge von 300 mm erreicht hat, wird der Antrieb umgekehrt und die Bohrnadel vollständig ins Gerät eingefahren und somit die Messung beendet.

Um die maximale Signalauflösung zu erzielen, wählt man immer das Getriebe mit der höchsten Vorschubgeschwindigkeit, wobei man beachten muß, daß Harthölzer, wegen ihres höheren Bohrwiderstands, mit geringer Vorschubgeschwindigkeit und

Weichhölzer, wegen ihres geringeren Bohrwiderstands, mit hoher Vorschubgeschwindigkeit gebohrt werden sollen. Beim Versuch der Rißdetektion ist es sicherer, langsamere Vorschubgeschwindigkeiten zu benutzen, um dem Signal mehr Zeit zu geben, aufgrund des lokal niedrigen Bohrwiderstands am Riß abzufallen.

Für den seltenen Fall eines Nadelschadens, gibt es an der Oberseite des Geräts zwei Schrauben für den Nadelwechsel. Dazu muß die Nadel um ihre gesamte Länge ausgefahren werden.

Mehr Beispiele für die Anwendung des Resistograph- M 300 zur Baumuntersuchung sind in den Abb. 15- 19 in selbsterklärender Weise dargestellt. Weder der Resistograph- M 300 noch der Schallimpulshammer können die Festigkeit eines interessierenden Baumes bestimmen. Da gibt es, nach dem Kenntnisstand der Autoren, weltweit nur ein einziges felddaugliches Meßgerät zur Bestimmung der Holzqualität hinsichtlich Festigkeit und Elastizität, nämlich den Fractometer. Weil die Festigkeit auch die erste mechanische Materialeigenschaft ist, die sich infolge von Pilzbefall ändert, kann der Fractometer Fäule in frühem Stadium auch noch etwas besser erkennen als der Resistograph oder Schallimpulshammer. Jedoch verletzen letztere Meßgeräte den Baum weniger stark.

Der Fractometer I und seine Anwendung:

Um die Holzfestigkeit direkt am stehenden Baum messen zu können wurde ein Meßgerät im Taschenformat für den Feldgebrauch entwickelt (MATTHECK et.al., 1994). Das Meßgerät ermöglicht die Bestimmung folgender mechanischer Eigenschaften: radiale Biegebruchfestigkeit und radialer Bruchwinkel, aus welchen sich der radiale E- Modul und die radiale Bruchenergie ableiten lassen.

Die Bestimmung der radialen Biegefestigkeit erlaubt es, ausgewählte Baumteile hinsichtlich ihrer Widerstandsfähigkeit gegenüber äußeren Kräften, die durch eingeleitete Längsspaltung zum Bruch führen können, zu bewerten. Dazu vergleicht man die individuell bestimmten Festigkeitswerte mit den Werten gesunder Bäume gleicher Art, s. Tabelle I.

Die Messung des radialen Biegewinkels in Kombination mit der radialen Biegefestigkeit ermöglicht die Bestimmung und Bewertung des Fäuleeinflusses auf die mechanischen Eigenschaften des Holzes, s. Tabelle II. Ein Braunfäule erzeugender Pilz wird z.B. vornehmlich die Zellulose abbauen und das Lignin zurücklassen. Als Ergebnis des Pilzbefalls erhält man ein noch steifes, aber sprödes Holz. Ein Weißfäule erzeugender Pilz wird vornehmlich Lignin abbauen und die Zellulose zurücklassen, hier erhält man als Ergebnis des Pilzbefalls ein weiches, aber dennoch festes Holz.

Da die Biegebruchwinkel in einem sehr großen Bereich streuen können, kann man sich als eine Art Faustregel folgendes merken: Ein Biegebruchwinkel von 15°, wie man ihn in Buche findet, ist ein kleiner Biegebruchwinkel, ein Winkel von 25°, wie in Platane, ist ein großer Biegebruchwinkel. Weißfäule mit Ligninabbau führt jedoch zu Biegebruchwinkeln um 30- 45°. Eine Braunfäule führt dagegen zu sehr kleinen Biegebruchwinkeln von weniger als 15°.

Abb. 20 zeigt ein Foto und eine Explosionszeichnung des Fractometer I, aus welcher die Hauptkomponenten ersichtlich sind. Der Fractometer I besteht aus einem

feststehenden Oberteil und einem drehbaren Boden. Zwischen diesen Hauptteilen ist eine Spiralfeder so angeordnet, daß bei einer Drehbewegung des Bodens gegenüber dem feststehenden Oberteil die Spiralfeder gespannt wird und dabei die Last, die mittels einem Hebelarm auf den Prüfkörper übertragen wird, ansteigt. Die Probe wird dabei in einer Halterung auf dem feststehenden Oberteil geführt und fixiert.

Die Vorgehensweise, um die Festigkeit eines interessierenden Baumteils zu bestimmen, ist wie folgt: Ein Bohrkern von 5 mm Durchmesser wird mittels einem Zuwachsbohrer aus dem interessierenden Baumbereich entnommen und in dem entlasteten (Fractometeranzeige: 0 = 10) Fractometer I so eingelegt, daß die Fasern sowie die Längsachse der Holzstrahlen parallel zum Fractometergesicht, s. Abb. 21 angeordnet sind. Dadurch wird die reale Faserbelastung bei Einwirkung von Wind bzw. anderen Biegebelastungen simuliert. Dann dreht man den beweglichen Boden gegen das feststehende Oberteil, um die auf den Probenkörper einwirkende Last zu erhöhen. Dabei muß man den Biegewinkel auf der 90°-Winkelanzeige während des Versuchs beobachten, da dieser Meßwert nur bis zum Probenbruch sichtbar bleibt. Nach dem Bruch der Probe weist der Fractometer eine Winkelanzeige von 90° auf und weist damit auf die vollzogene Probentrennung hin.

Die Anzeige der radialen Biegefestigkeit muß nicht während des Tests beobachtet werden, da diese Anzeige auch über den Probenbruch hinaus sichtbar bleibt. Das Testergebnis kann als Kombination zweier Anzeigen abgelesen werden. Die Dekadenanzeige befindet sich am Zylindermantel des Fractometers und reicht von 0 bis 15, entsprechend 0 bis 150 Fractometereinheiten (FE) in Schritten von 10 FE. Die zweite Anzeige reicht von 0 bis 10 in Schritten von 1 FE und befindet sich am drehbaren Boden des Fractometers. Das Testergebnis ist die Summe der beiden Anzeigen in Fractometereinheiten, welche mittels einer Kalibrierkurve leicht in MPa, also N/mm^2 umgewandelt werden kann. Z.B. entsprechen 100 Fractometereinheiten 26 MPa.

Wiederholt man diesen Vorgang entlang des Bohrkerns, so erhält man die radiale Verteilung der Festigkeit am interessierenden Meßort, die z.B. zur Fäuleprognose verwendet werden kann, s. Abb. 22 und 23.

Bleibt anzumerken, daß der Bohrkern direkt nach der Entnahme gebrochen werden sollte, da die Festigkeit und Steifigkeit von Holz mit zunehmendem Austrocknungsgrad ansteigen.

Obwohl der Fractometer I ein Meßgerät darstellt, welches allein bereits völlig ausreichend ist für die Baumbewertung und frühe Fäuledetektion, sollte der Fractometer, wegen des notwendigen Einsatzes des Zuwachsbohrers und der damit verbundenen Baumschädigung, der letzte Schritt in der Untersuchungskette sein und zur schließlichen Entscheidungsfindung dienen. Es gibt jedoch nur eine Möglichkeit die Bruchfestigkeit des Holzes zu bestimmen, nämlich indem man eine Holzprobe bricht.

Mittlerweile gibt es erweiterte Meßgeräte, wie den Fractometer II und Fractometer III, die es erlauben weitere Holzkennwerte auf der Basis des Zuwachsbohrkerns zu bestimmen.

Fractometer II und III als Werkzeuge für die Holzforschung:

Man muß weder den Fractometer II noch den Fractometer III besitzen, um Gefahrenbäume beurteilen zu können, für diesen Zweck ist der Fractometer I völlig ausreichend. Für die wissenschaftliche Holzforschung war es jedoch notwendig, ein feldtaugliches Meßgerät zu entwickeln, daß weitere Holzkennwerte ermitteln kann, um dann Beziehungen zwischen diesen Kenngrößen abzuleiten.

Der Fractometer II ist ein erweitertes Meßgerät, welches ebenso einen 5 mm Zuwachsbohrkern benutzt, um in einem einzigen Gerät sowohl die radiale Biegebruchfestigkeit als auch die Längsdruckfestigkeit zu bestimmen (MATTHECK et.al., 1995). Abb. 24 zeigt ein Foto des Geräts und beschreibt die beiden Meßoptionen.

Zur Bestimmung der radialen Biegefestigkeit wird der Bohrkern, wie in Abb. 24A dargestellt, so eingelegt, daß die Holzfasern parallel zur Belastungsachse verlaufen, wiederum zur Simulation einer am Stamm anliegenden Wind- bzw. Biegebelastung. Nachdem der Schleppzeiger auf Null gesetzt wurde, werden die beiden Hebel zusammengedrückt, wobei die auf den Bohrkern aufgebrachte Belastung solange erhöht wird, bis der Bohrkern bricht. Die Hebel können entweder von Hand zusammengedrückt werden oder aber man bedient sich für diesen Zweck einer Handkurbel, welche an einer Gewindestange angebracht ist. Dies ergibt den Vorteil einer gleichmäßigeren Belastungsgeschwindigkeit. Die radiale Biegebruchfestigkeit wird am Schleppzeiger auf den verschiedenen Skalen der Meßuhr in Fractometereinheiten oder MPa bzw. N/mm^2 angezeigt.

Zur Bestimmung der Längsdruckfestigkeit werden Bohrkernabschnitte über eine Meßlänge von 5 mm geprüft. Die Proben werden wie in Abb. 24B dargestellt so eingelegt, daß die Fasern des Bohrkerns parallel zur Richtung der Lasteinleitung der beiden konkaven Lager verläuft. Die Testprozedur ist die gleiche wie oben für die Bestimmung der radialen Biegefestigkeit beschrieben, mit dem einen Unterschied, daß die Probe beim Druckversuch nicht bricht, sondern daß die aufgebrachte Last während des Versuchs ein Maximum durchläuft. Dieses Maximum wird mittels dem Schleppzeiger festgehalten und auf der Skala der Meßuhr in MPa (N/mm^2) angezeigt. Auch die direkt an der Meßuhr gemessene Kraft wird in Newton (N) angezeigt.

Feldstudien mit dem Fractometer II zeigten eine sehr gute Übereinstimmung der Fractometer Meßergebnisse mit entsprechenden Literaturangaben für die Längsdruckfestigkeiten verschiedener grüner Holzarten. Für gesunde Laubbäume haben Feldstudien von Achim Zipse bei uns ergeben, daß die Längsdruckfestigkeit nur ungefähr zweimal so groß ist wie die zugehörige radiale Biegefestigkeit.

Leider gibt es keine vergleichbaren Literaturangaben für die radiale Biegedruckfestigkeit grüner Hölzer, um sie mit Fractometermessungen vergleichen zu können. Untersuchungen an Bäumen mit holzzersetzenden Pilzen haben jedoch gezeigt, daß beide Kennwerte, also sowohl die radiale Biegefestigkeit als auch die Längsdruckfestigkeit grüner Hölzer, im Übergangsbereich von gesundem zu befallenem Holz drastisch verminderte Meßwerte aufweisen. Dies bedeutet, daß der Fractometer I, der die radiale Biegefestigkeit mißt, völlig ausreicht für diejenigen Baumpfleger, die lediglich ein Meßgerät zum Fäulenachweis in stehenden Bäumen benötigen, auch deswegen, weil der Fractometer I den Biegewinkel mißt, der ein Maß ist für die Steifigkeit und

Zähigkeit des Baumes und einen weiteren Anhaltspunkt für die Beurteilung der Fäuleart darstellt.

Der Fractometer III, s. Abb. 25, ist die derzeit letzte Entwicklung von feldtauglichen Holzprüfgeräten und vereint in einem einzigen Meßgerät die Bestimmung der radialen und tangentialen Biegefestigkeit, der Längsdruckfestigkeit und radialen sowie tangentialen Scherfestigkeit an einem $\varnothing = 5$ mm Bohrkern.

Für einige dieser Prüfarten müssen die Proben dazu auf eine bestimmte Länge zugeschnitten werden, was mit einer am Meßgerät angebrachten Schneidvorrichtung durchgeführt werden kann. Die eingeleitete Beanspruchung wird mittels einer Handkurbel und Gewindestange auf einen verstellbaren Hebelarm aufgebracht, der mit einem verschiebbaren Lagerträger verbunden ist, auf welchem sich die für die unterschiedlichen Prüfarten erforderlichen Auflager befinden. Das Meßergebnis in Form der Bruchlast wird mit einem Schleppzeiger in N angezeigt und kann direkt in Festigkeitswerte umgewandelt werden. Das Gerät verfügt auch über eine äußerst genaue Wegmessung, die sich wiederum mit dem Biegewinkel korrelieren läßt. Der Fractometer III ist sowohl für die Untersuchung von grünen als auch trockenen Hölzern geeignet.

Zusammenfassung:

Ein vollständige Serie von feldtauglichen Prüfgeräten für die Baumuntersuchung wurde hier vorgestellt, ihre Benutzung und praktische Anwendung wurde anhand ausgewählter Beispiele vorgeführt und Ergebnisse umfangreicher Feldstudien wurden beschrieben.

Jedes dieser Geräte ergänzt die VTA- Methode und erlaubt eine mehr quantifizierte Baumbewertung unter Feldbedingungen. Eine Baumbewertung darf sich jedoch nicht nur auf irgendeine Messung stützen, sondern stets auch das gesamte Erscheinungsbild des Baumes berücksichtigen, um zu einem baumgerechten Urteil zu gelangen. Nach Ansicht der Autoren erhält man die entscheidende Information aus der Verwendung des Fractometers. Schallimpulshammer und Resistograph sind dennoch notwendige Werkzeuge, um zu Beginn der Untersuchung mögliche Baumschädigungen so gering wie möglich zu halten.

Jedes Gerät wurde für einen speziellen Einsatzzweck entwickelt und seine Anwendung am Baum hat unterschiedlich starke Auswirkungen auf den Baum selbst. Keines der Geräte kann aber das Wissen und die Erfahrung eines guten Baumpflegers ersetzen. Eine Messung kann nur eine Quantifizierung von visueller Wahrnehmung sein. Wer die Körpersprache der Bäume nicht lernen will, der sollte daher besser auch nicht messen!

Weitere Einsatzgebiete für die Meßgeräte sind neben der Bewertung von Gefahrenbäumen der Forst, zum Prüfen der Holzqualität von Beständen und bereits gefällttem Holz, die Holzindustrie zur Materialelektion, die Holzbaustatik zum Integritätsnachweis und die wissenschaftliche Holzforschung zur Bestimmung von Festigkeitsverteilungen.

Literatur:

Bethge, K., Mattheck, C., Thun, G., (1994). Ein Katalog der Ausbreitungsgeschwindigkeiten von Stoßwellen in defektbehafteten Holzquerschnitten, Baum- Zeitung 28 (1), 12-15.

Mattheck, C., Breloer, H., (1994). Handbuch der Schadenskunde von Bäumen- Der Baumbruch in Mechanik und Rechtsprechung, 2. Auflage, Rombach Verlag, Freiburg.

Mattheck, C., Breloer, H., (1995). The body language of trees- a handbook for failure analysis, HMSO, London.

Mattheck, C., Breloer, H., Bethge, K., (1994). A Guide to Fractometer Tree Assessment, Arborist News 4, 9-12.

Mattheck, C., Breloer, H., Bethge, K., Albrecht, W., Zipse, A. (1995). Use of the Fractometer to determine the Strength of Wood with Incipient Decay, Journal of Arboriculture, 21 (3), 105- 112.

Mattheck, C., Kübler, H., (1995). Wood- the internal optimization of trees, Springer Verlag, Heidelberg.

Schwarze, F., (1994). Entwicklung und biomechanische Auswirkungen von holzeretzenden Pilzen in lebenden Bäumen und in vitro, SVK- Verlag, Erndtebrück

Schwarze, F., Mattheck, C., Breloer, H., (1993). Der spröde Baumbruch- verursacht durch den Brandkrustenpilz, Neue Landschaft 38, 737- 747.

Smiley, E., Fraedrich, B., (1990). Hazardous tree evaluation and management, Bartlett Tree Research Laboratories, Charlotte, North Carolina.

Baumart	Bruchmoment in Fractometereinheiten (FE)		
	Grün	Gelb	Rot
Laubbäume			
Ahorn	120- 89	88- 58	57- 27
Birke	40- 30	29- 20	19- 10
Blutbuche	120- 89	88- 58	57- 27
Edelkastanie	50- 38	37- 25	24- 12
Eiche	120- 89	88- 58	57- 27
Esche	80- 59	58- 38	37-18
Hainbuche	120- 89	88- 58	57- 27
Linde	60- 46	45- 30	29- 14
Platane	120- 89	88- 58	57- 27
Pyramidenpappel	20- 15	14- 10	9- 5
Robinie	120- 89	88- 58	57- 27
Rotbuche	120- 89	88- 58	57- 27
Roßkastanie	70- 52	51- 34	33- 16
Schwarzerle	50- 38	37- 25	24- 12
Schwarzpappel	20- 15	14- 10	9- 5
Silberpappel	20- 15	14- 10	9- 5
Ulme	110- 82	81- 54	53- 26
Weide	20- 15	14- 10	9- 5
Nadelbäume			
Douglasie	7- 6	5- 4	3- 2
Eibe	90- 67	66- 44	43- 21
Fichte	20- 15	14- 10	9- 5
Kiefer	15- 12	11- 8	7- 4
Lärche	15- 12	11- 8	7- 4
Tanne	15- 12	11- 8	7- 4

Tabelle I: Tabelle der Fractometerwerte grüner Bäume. Gesundes Restholz neben Faulstellen oder anderen Defekten sowie schiefe Bäume sollten im grünen Bereich liegen. Stark zurückgeschnittene Bäume dürfen im gelben Bereich liegen. Holzwerke im roten Bereich sind bedenklich und erfordern drastisch reduzierte Kronen oder Fällung. Ein stures Anwenden der Tabelle ist gefährlich, der Baum ist immer als Ganzes zu betrachten (Bsp.: Eine Pappel mit 80 Fractometereinheiten wurde gefällt, weil sie deutliche Merkmale von lokalem Holzversagen hatte und extrem schief stand). 100 Fractometereinheiten entsprechen ca. 26 MPa Biegespannung in der Randfaser des Bohrkerns. Weitere Zuordnungen sind der Eichkurve zu entnehmen.

Fractometer- bruchmoment	Fractometer- bruchwinkel	Fäulewirkung	Holzeigenschaft
groß	klein	gering	steif und fest
groß	groß	Ligninabbau	nicht steif aber fest
klein	klein	Zelluloseabbau	steif aber nicht fest
klein	groß	Lignin- und Zellulose- abbau	weder steif noch fest

Tabelle II: Fäuleklassifizierung auf der Basis der Fractometermessung (MATTHECK et. al. 1994).

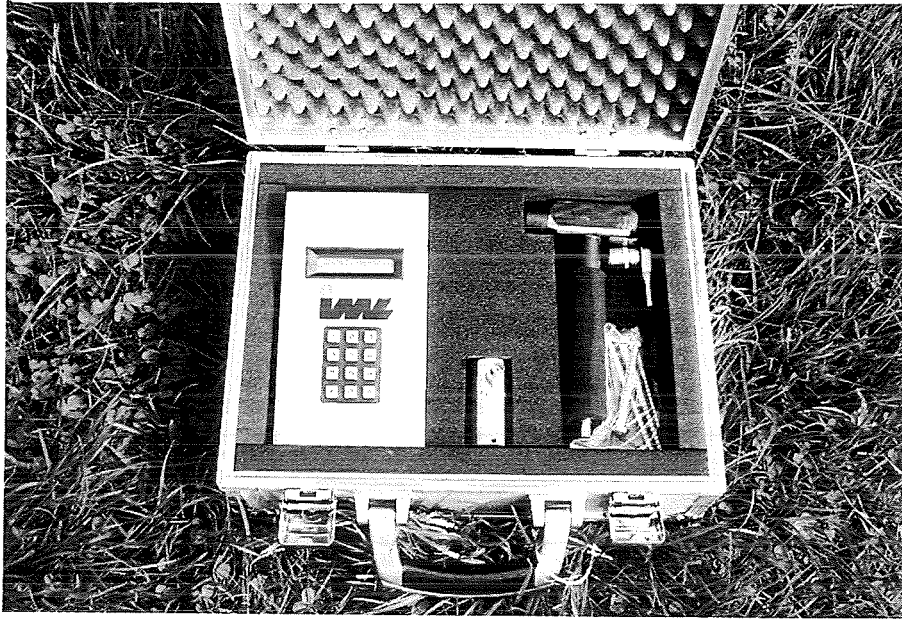
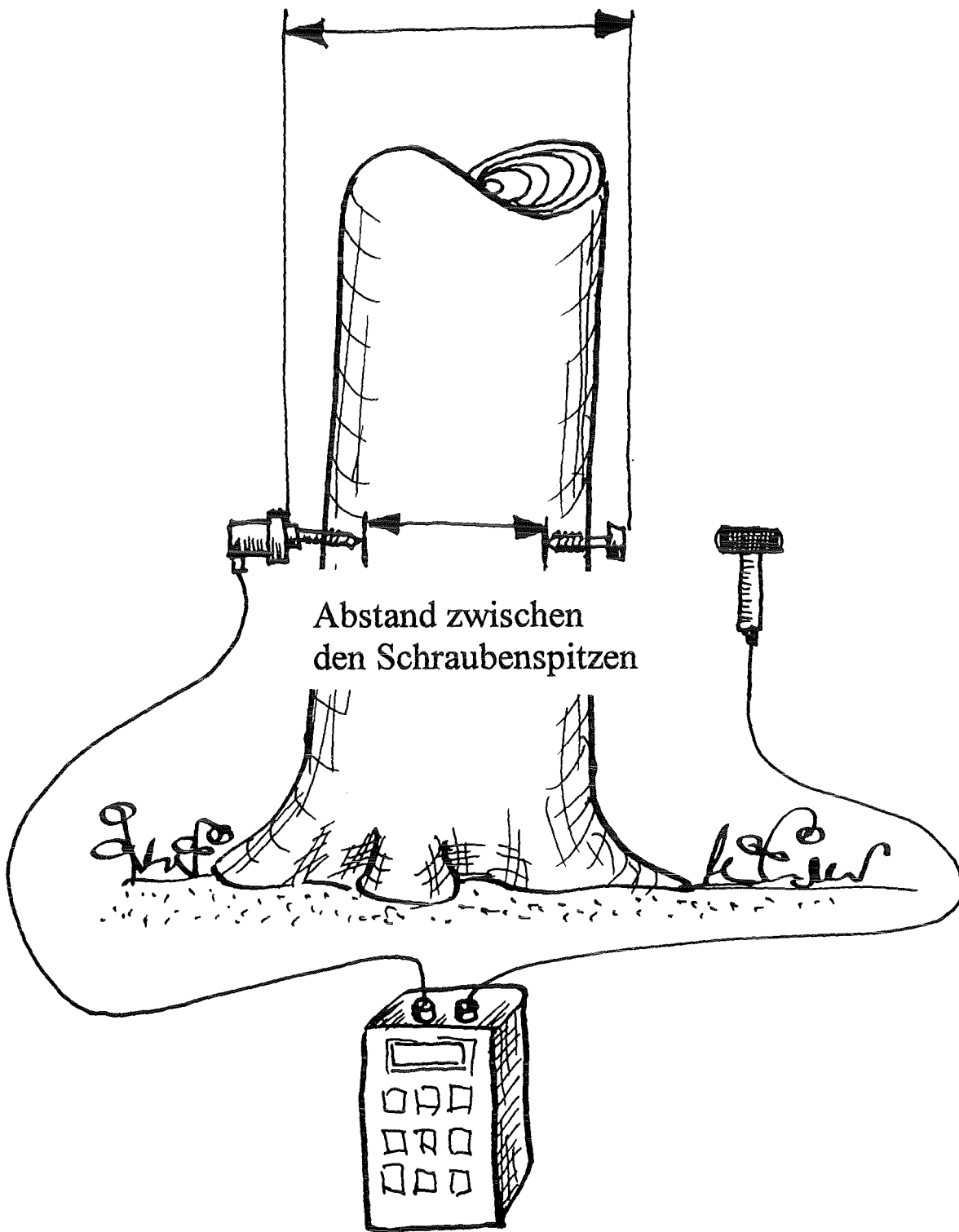


Abb. 1: Foto des IML- Schallimpulshammers.

meßbarer Abstand



Abstand zwischen den Schraubenspitzen = meßbarer Abstand - 2 x Schraubenlänge

Abb. 2: Bestimmung des Abstands zwischen den Schraubenspitzen.

FAULER STAMMFUSS NACH
WURZELSCHADEN INFOLGE SCHACHTUNG

RICHTIG:
FÄULENACHWEIS
DURCH SCHALLEN
IN RICHTUNG
SENKRECHT
ZUR ROHR-
LEITUNG



Abb.3: Fauler Stammfuß nach Wurzelschaden infolge Schachtung.

FAULER STAMMFUSS NACH
WURZELSCHADEN INFOLGE SCHACHTUNG

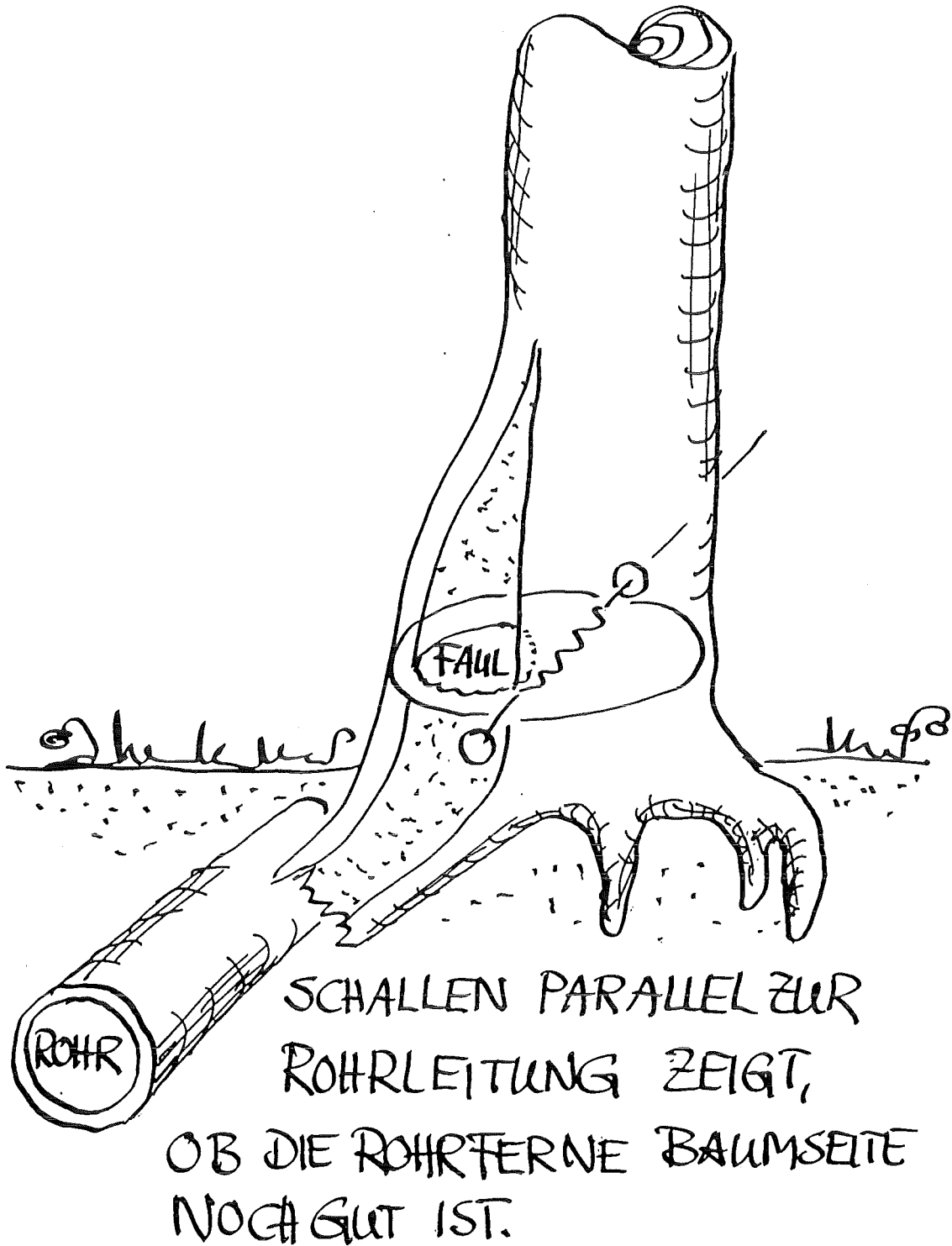
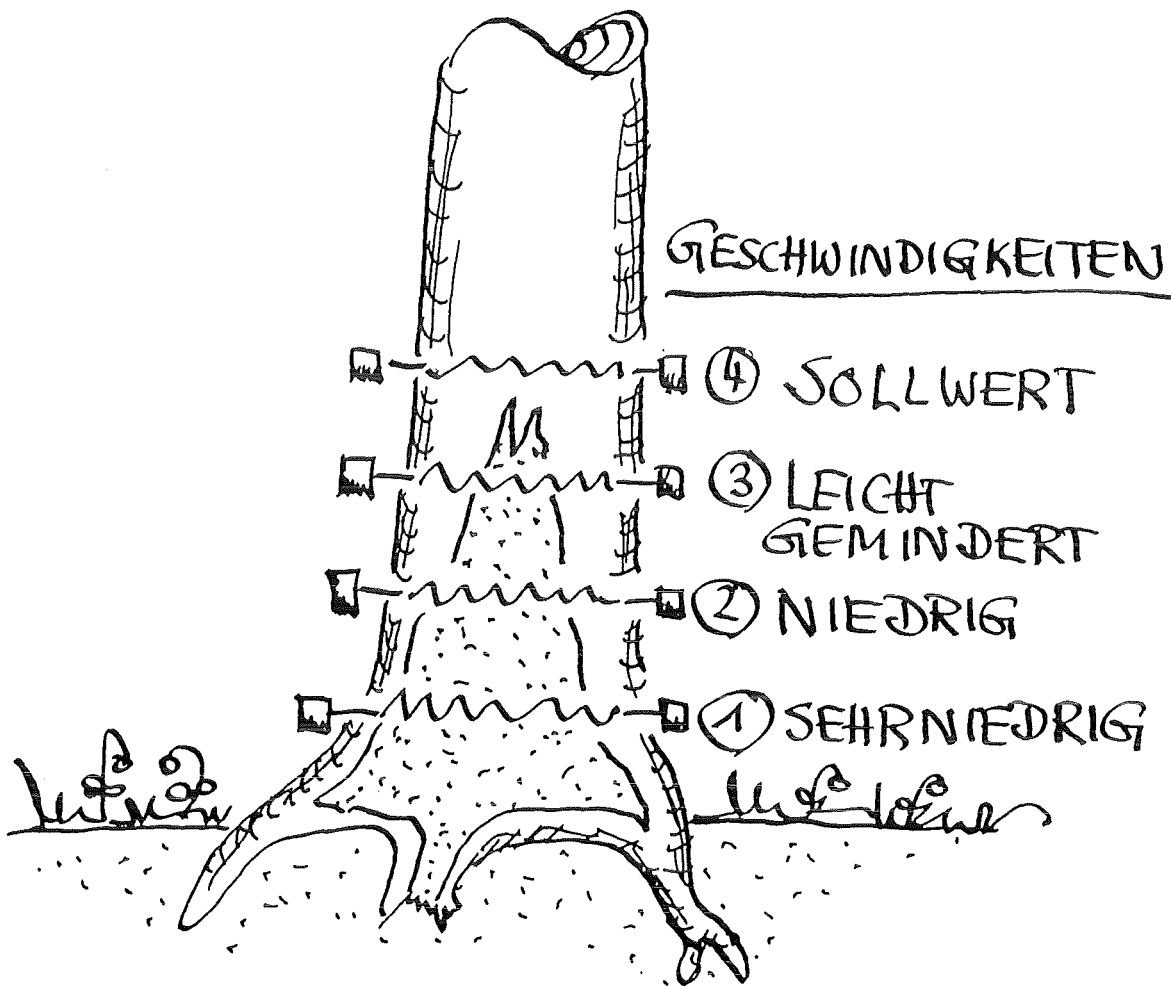


Abb.4: Fauler Stammfuß nach Wurzelschaden infolge Schachtung.

BESTIMMUNG DER VERTIKALEN
 AUSDEHNUNG EINER STOCKFÄULE
 MIT SCHALLMESSUNG



VON UNTEN BEGINNEND NÄHERN DIE
 SCHALLGESCHWINDIGKEITEN SICH DEM
 SOLLWERT. IST DIESER ERREICHT, LIEGT
 DIE MESSHÖHE ÜBER DER SPITZE DES
 FAULHOLZKEGELS.

Abb.5: Bestimmung der vertikalen Ausdehnung einer Stockfäule mit Schallmessung.

UNGEFÄHRE AUSMESSUNG DER SEITLICHEN
AUSDEHNUNG EINER FAULHÖHLE MIT
SCHALLMESSUNG

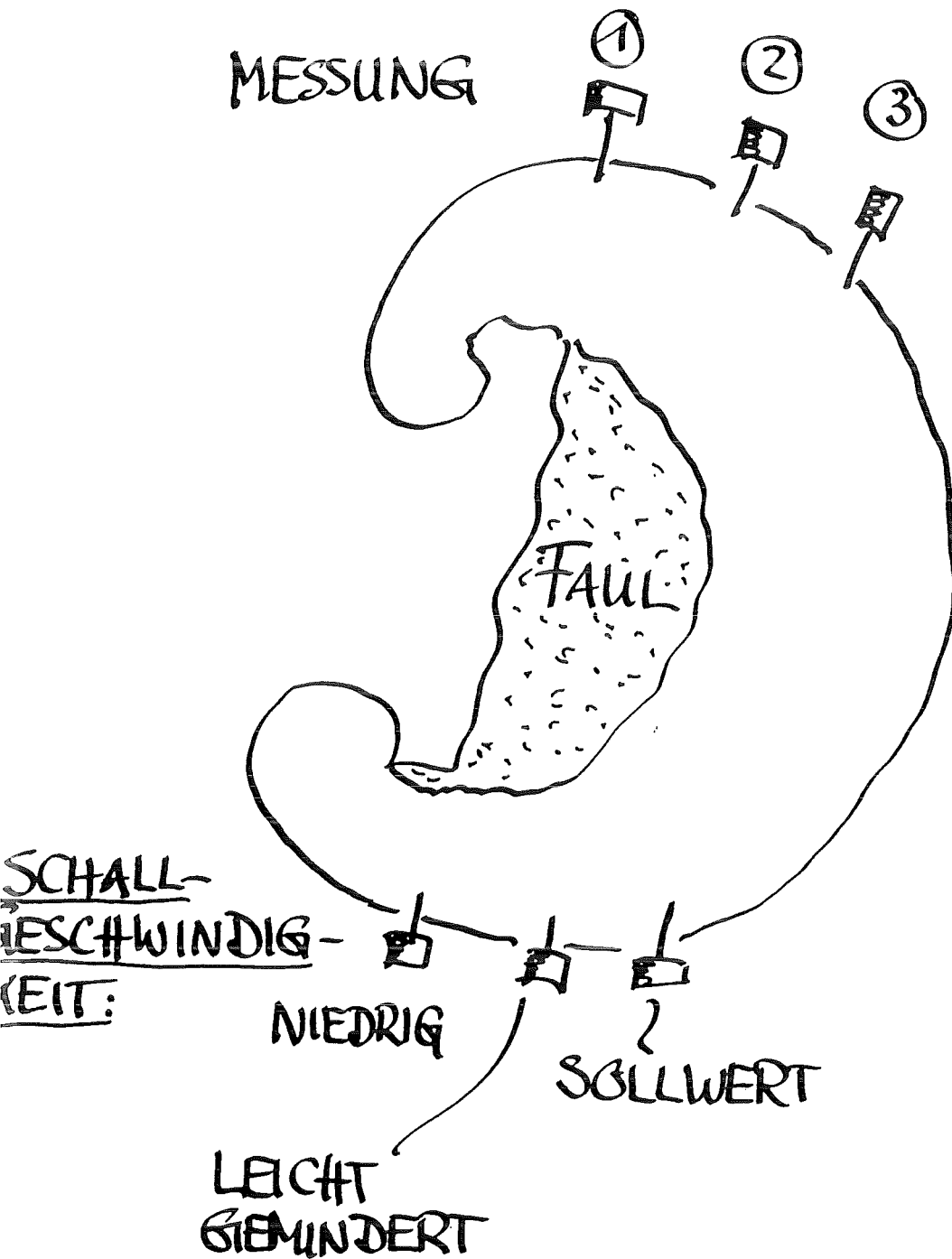
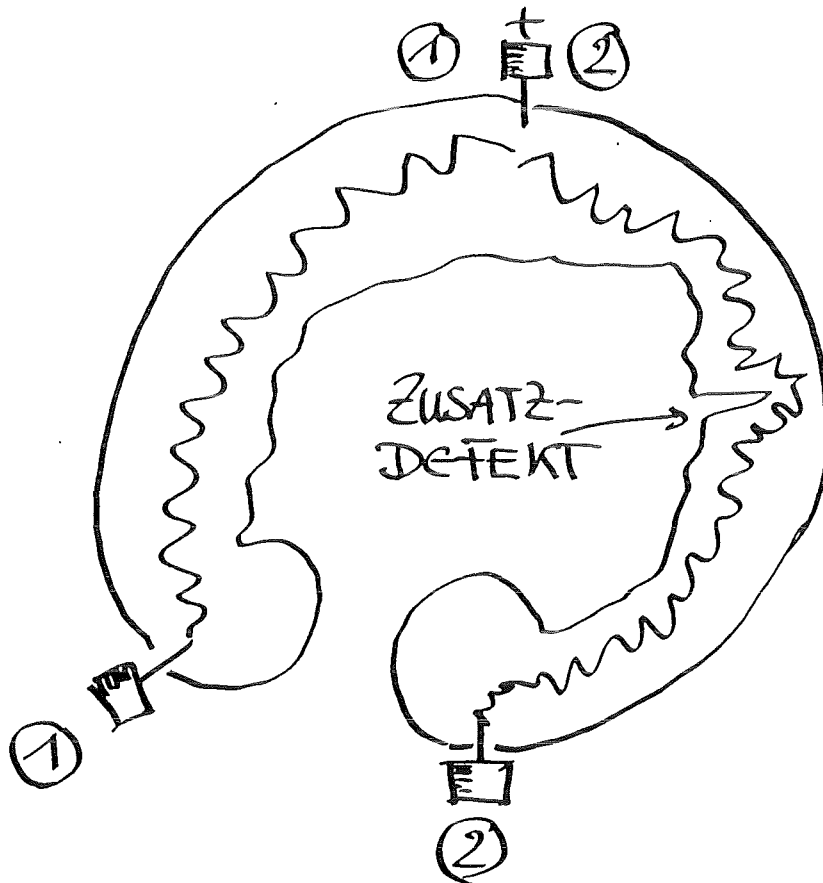


Abb.6: Ungefähre Ausmessung der seitlichen Ausdehnung einer Faulhöhle mit Schallmessung.

PRÜFEN MIT SCHALLMESSUNG, WO DIE SCHLECHTERE WANDSTÄRKE UM EINE OFFENE MORSCHUNG IST

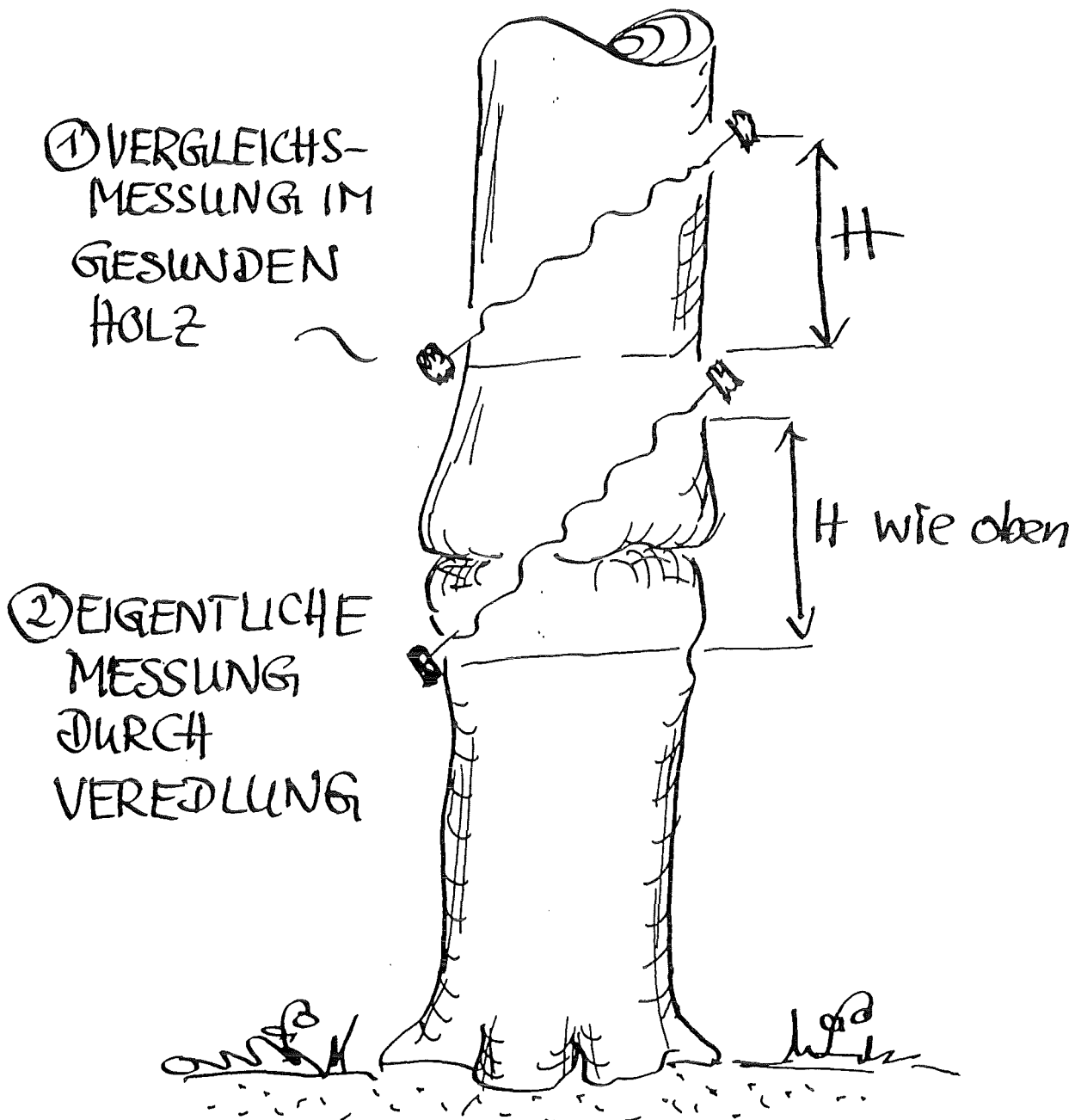


GESCHWINDIGKEITEN:

- ① WENIGER ALS SOLLWERT
- ② NOCH WENIGER ALS IN ①, WEIL DER RADIALRISS DEN SCHALL ZUSÄTZLICH UMLENKT.

Abb.7: Prüfen mit Schallmessung, auf welcher Seite sich die schlechtere Wandstärke um eine offene Morschung befindet.

SCHALLEN DURCH VEREDLUNGS- STELLEN



DIE VERGLEICHSMESSUNG IST NOTIG, WEIL IN SCHRÄGER RICHTUNG KEINE SOLLWERTE BEKANNT SIND. DANACH SOLLTE MAN ÜBER KREUZ SCHALLEN.

Abb.8: Schallen durch Veredelungsstellen.

SCHALLMESSUNG AN DRUCKZWIESELN
MIT EINGESCHLOSSENER RINDE



Abb.9: Schallmessung an Druckzwieseln mit eingeschlossener Rinde.

NACHWEIS EINGESCHLOSSENER RINDE
HINTER STEILÄSTEN MIT SCHALLMESSUNG

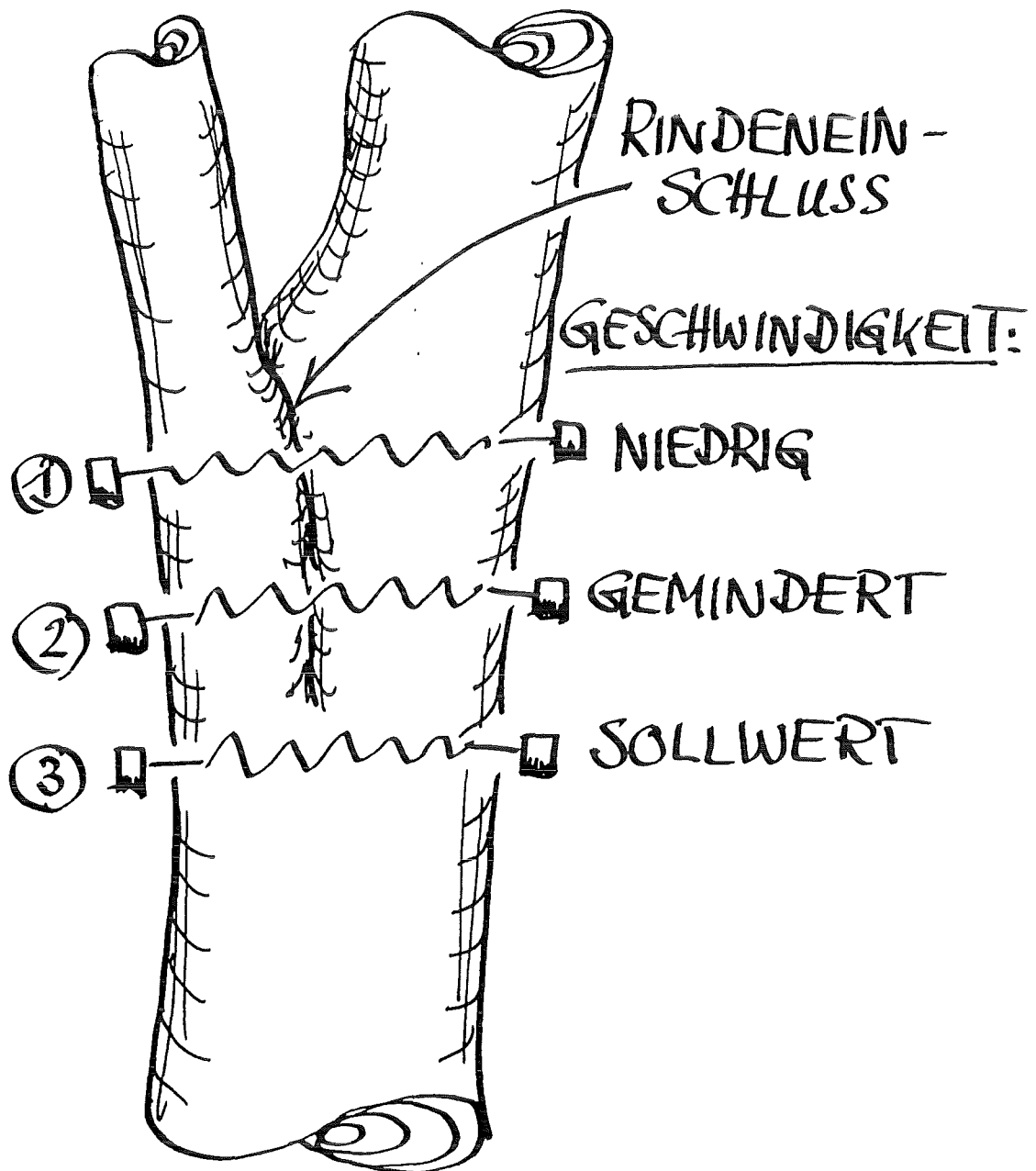
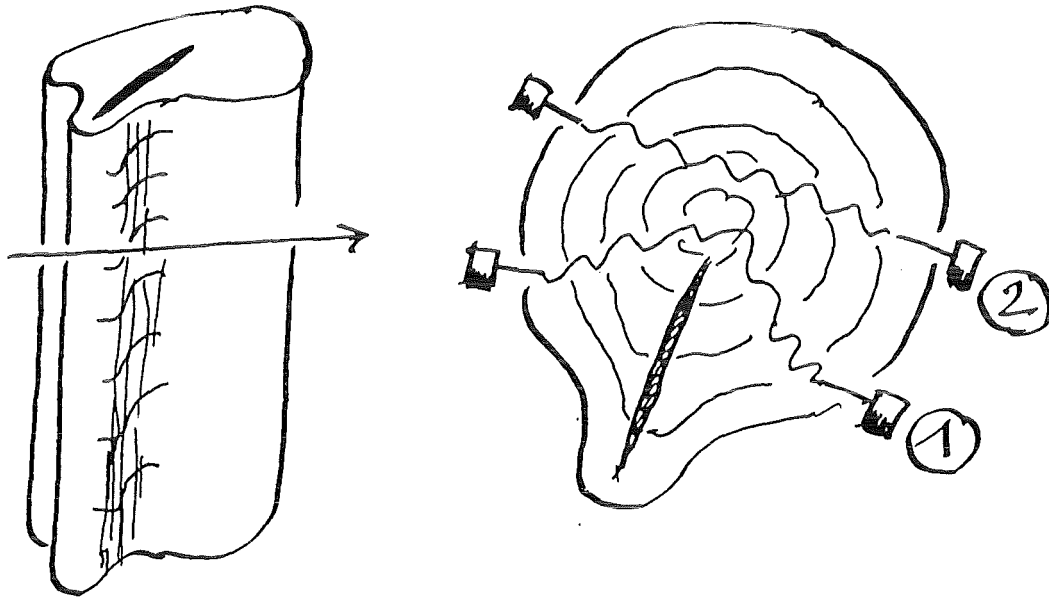


Abb.10: Nachweis eingeschlossener Rinde hinter Steilästen mit Schallmessung.

BESTÄTIGUNG UND UNGEFÄHRE
VERMESSUNG VON RISSEN HINTER
RIPPEN MIT SCHALLMESSUNG

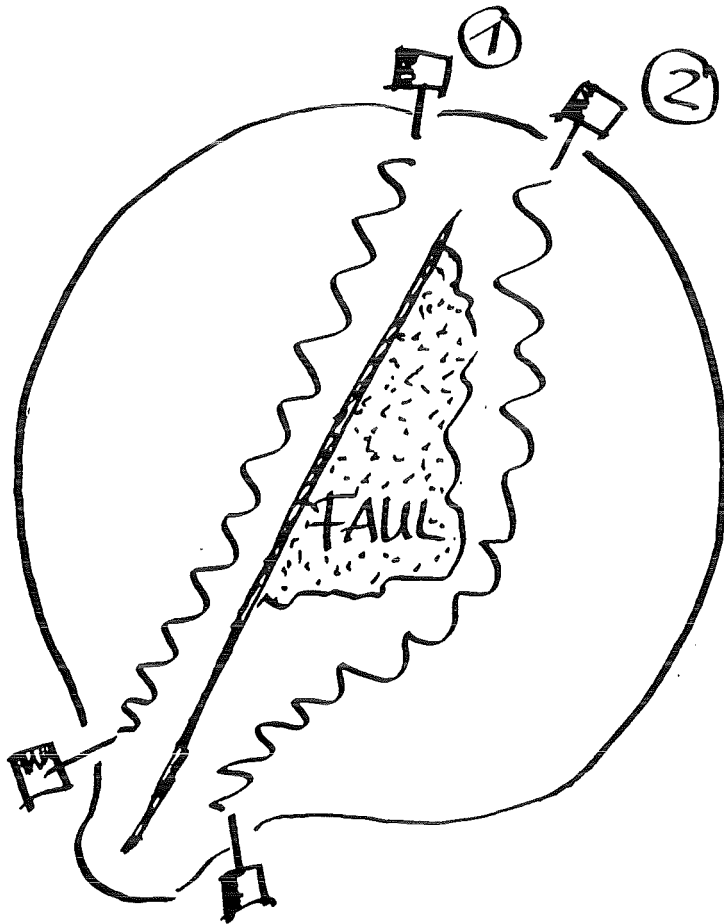


① NIEDRIGE SCHALLGESCHWINDIGKEIT

② SOLLWERT, WENN DER RISS DIE
MESSUNG ② NICHT KREUZT.
MINDERUNG DER SCHALLGESCHWIN-
DIGKEIT, WENN DER RISS DIE
MESSUNG ② KREUZT.

Abb.11: Bestätigung und ungefähre Vermessung von Rissen hinter Rippen mit Schallmessung.

PRÜFEN, OB FÄULE SICH SEITLICH VOM RISS AUSBREITET



GESCHWINDIGKEITEN:

- ① SOLLWERT, DA KEINE FÄULE IN
DIESER SEITE
- ② REDUZIERT, DA HIER EINSEITIG
FÄULE VOM RISS AUSGEHT

Abb. 12: Prüfen, ob Fäule sich seitlich vom Riß ausbreitet.

NACHWEIS VON SCHUBRISSEN IN
ABSINKENDEN SCHIEFEN BÄUMEN
MIT SCHALLMESSUNG

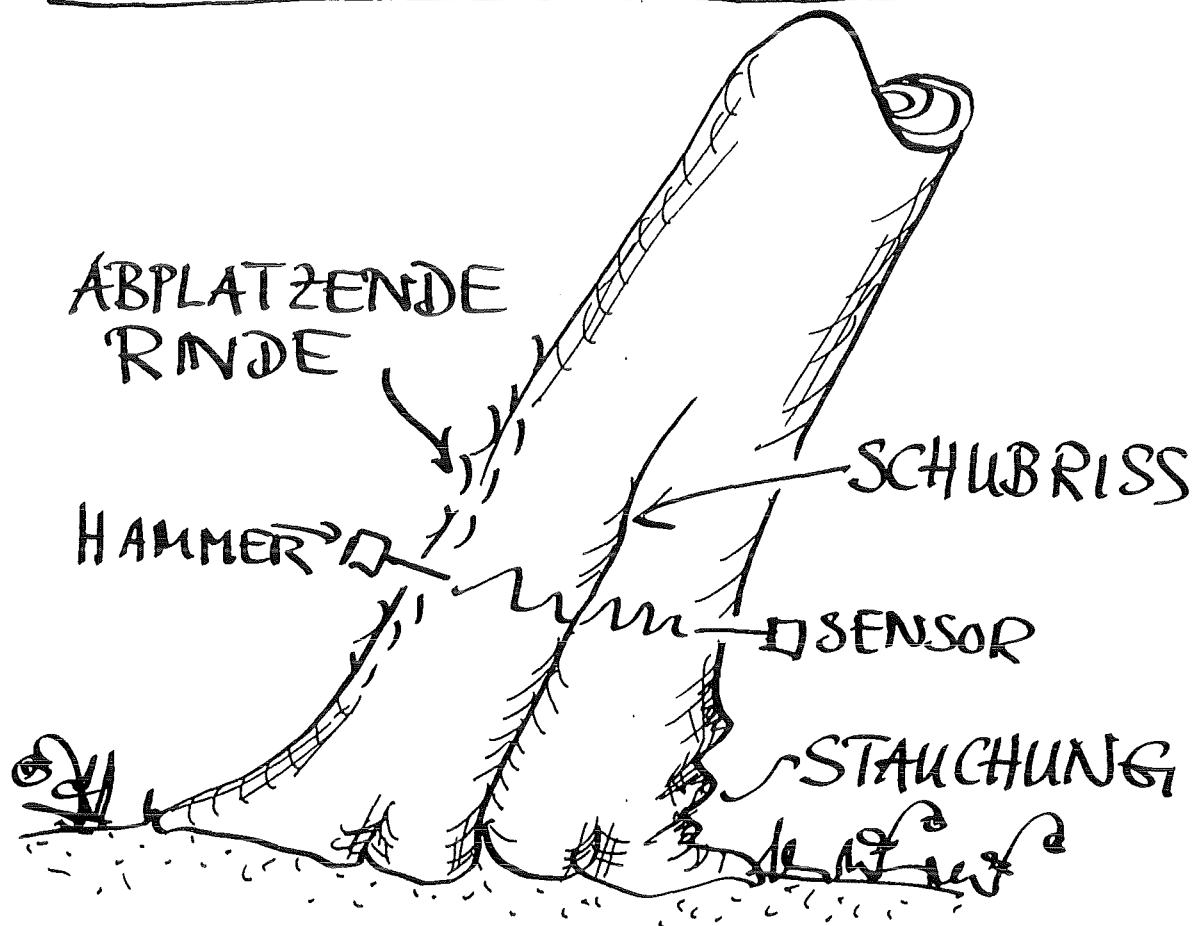
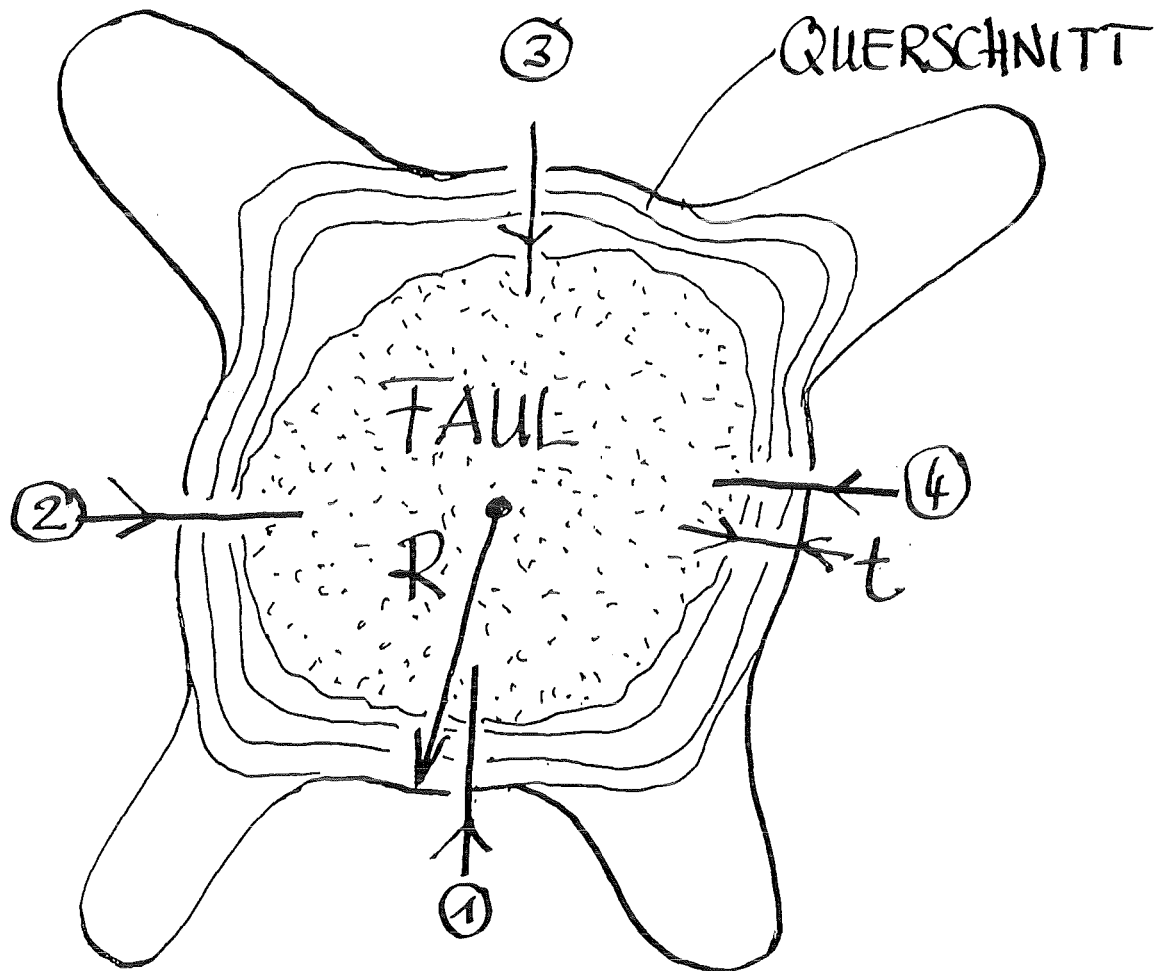


Abb.13: Nachweis von Schubrisen in absinkenden schiefen Bäumen mit Schallmessung.



Abb. 14: Foto des Resistograph- M 300 und seiner Verwendung am Stammfuß.

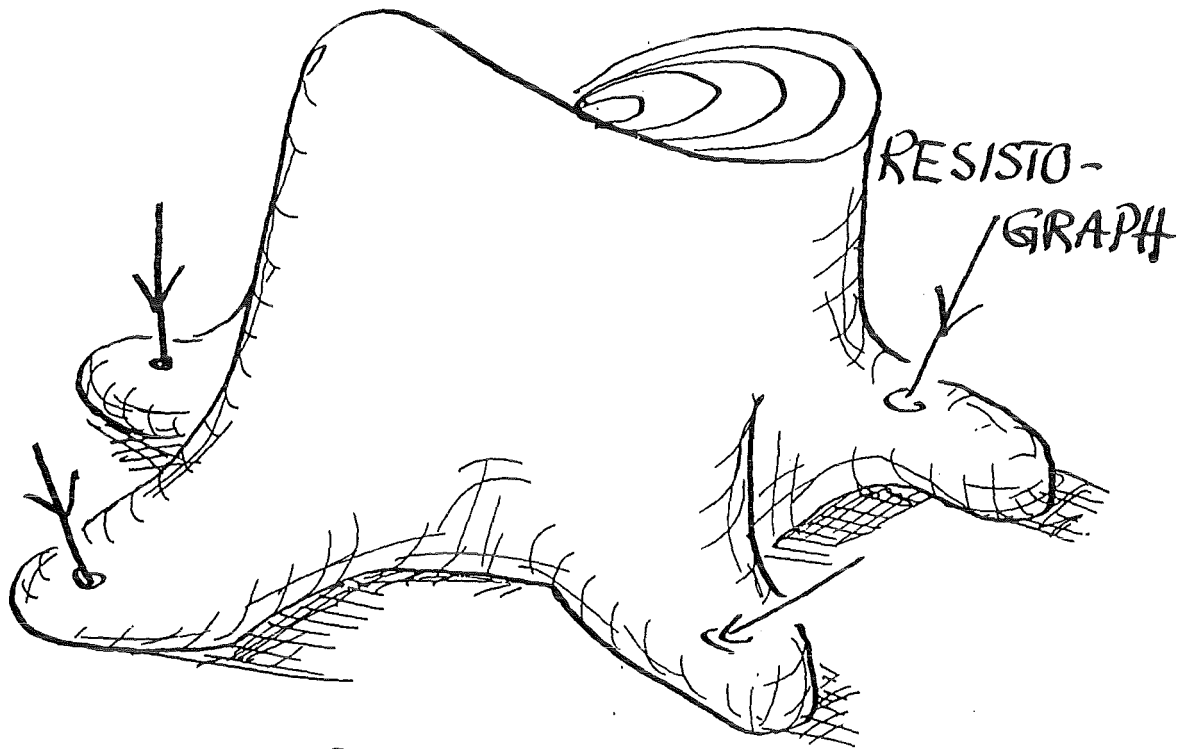
WANDSTÄRKEVERMESSUNG AM STAMMFUSS MIT RESISTOGRAPH



UM $t/R \geq 0.3$ ABZUFÜHREN, BOHRE
MAN ZWISCHEN DIE WURZELANLÄUFE,
WO IN DER REGEL DIE WANDSTÄRKE
AM DÜNNSTEN IST. MIT $t/R = 0.3$
BEWERTEN WIR DAS STAMMBRUCH-
RISIKO DES VOLL BEKRONTEN BAUMES.

Abb. 15: Wandstärkevermessung am Stammfuß mit Resistograph.

AUSSCHLUSS DES WINDWURFES DURCH
BRUCH FAULER STARKWURZELN
MIT RESISTOGRAPH

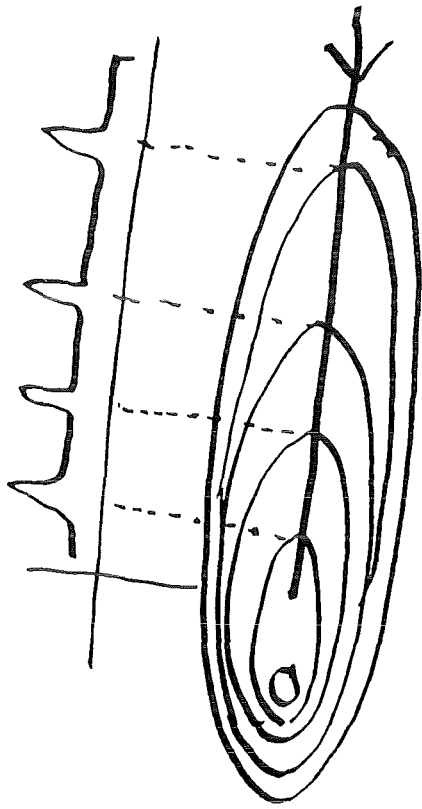


NACH SMILEY & FRAEDRICH (1990) IST EIN BAUM
GEFÄHRlich, WENN 1/3 ODER MEHR DER
WURZELN FAUL IST ODER FEHLT. WINDSEITIGE
WURZELN ODER WURZELN AUF DER OBERSEITE
SCHIEFER BÄULME SIND BESONDERS WICHTIG
FÜR DEN BAUM, EBENSO BESONDERS DICKE
WURZELN. INDIVIDUELLE EIGENVERANT-
WORTLICHE ENTSCHEIDUNG IST UNVERZICHT-
BAR. — FINDET SICH FAULE, IST SIE MIT
TRACTOMETER ZU BEWERTEN.

Abb. 16: Ausschluß des Windwurfes durch Bruch fauler Starkwurzeln mit Resistograph.

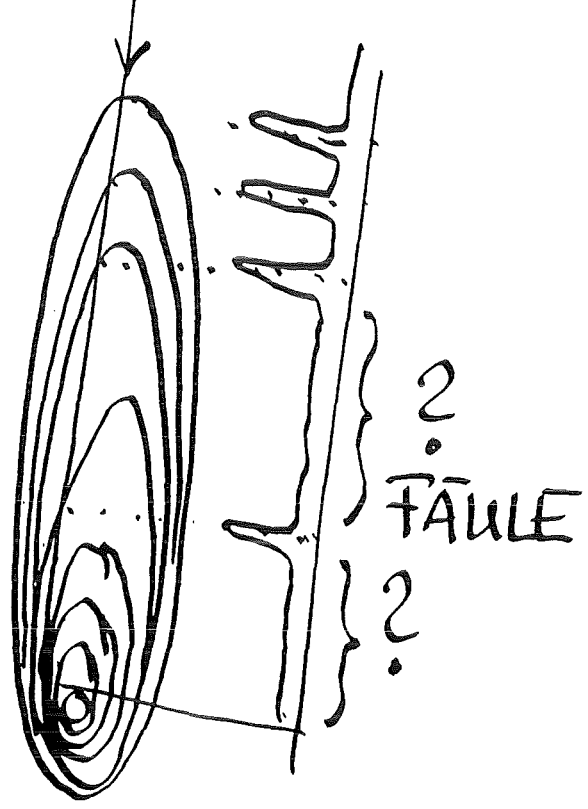
RISIKO BEI RESISTOGRAPHBOHRUNG
IN WURZELANLAUF

BOHRUNG



GUTER BOHR-
VERLAUF

BOHRUNG



SCHLECHTER
BOHRVERLAUF ZWISCHEN
DIE JAHRESRINGE.
FEHLDIAGNOSE MÖGLICH,
DAHER FÄULE MIT
ZUWACHSBOHRUNG BE-
STÄTIGEN

Abb. 17: Risiko bei Resistographbohrung in Wurzelanlauf.

NACHWEIS VON SCHUBBRISSEN ODER UNGLÜCKSBALKEN MIT RESISTOGRAPH

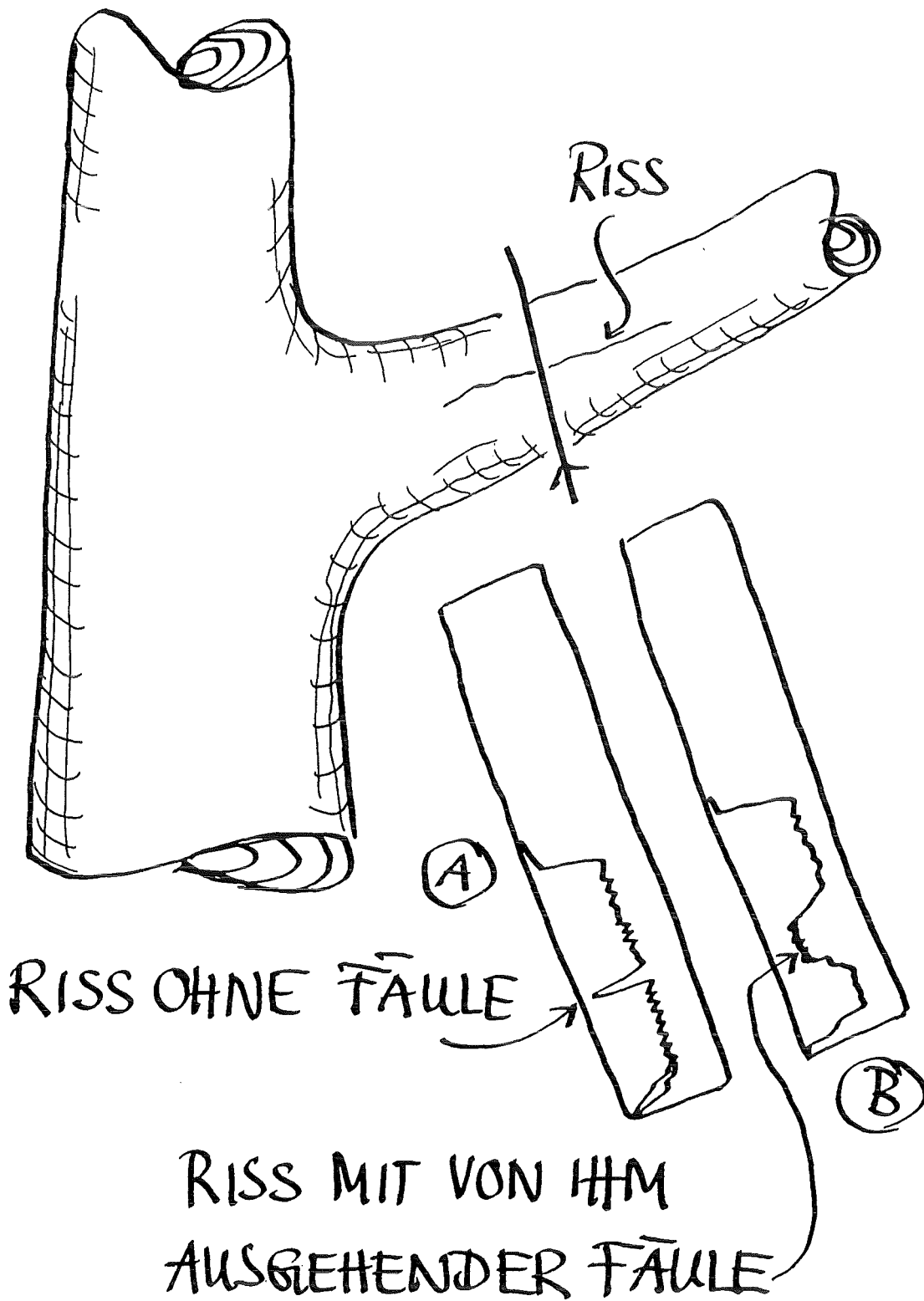


Abb. 18: Nachweis von Schubrisse n oder Unglücksbalken mit Resistograph.

NACHWEIS VON SCHUBRISSEN IN SCHIEFEN BÄUMEN MIT RESISTOGRAPH

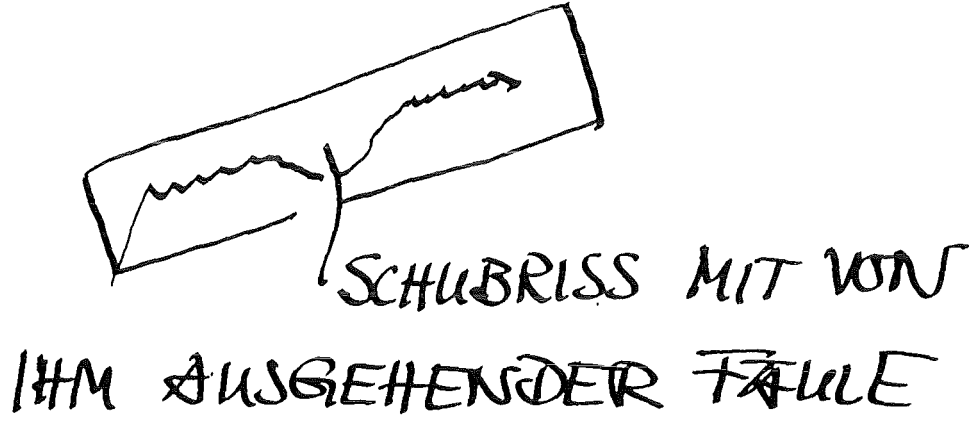
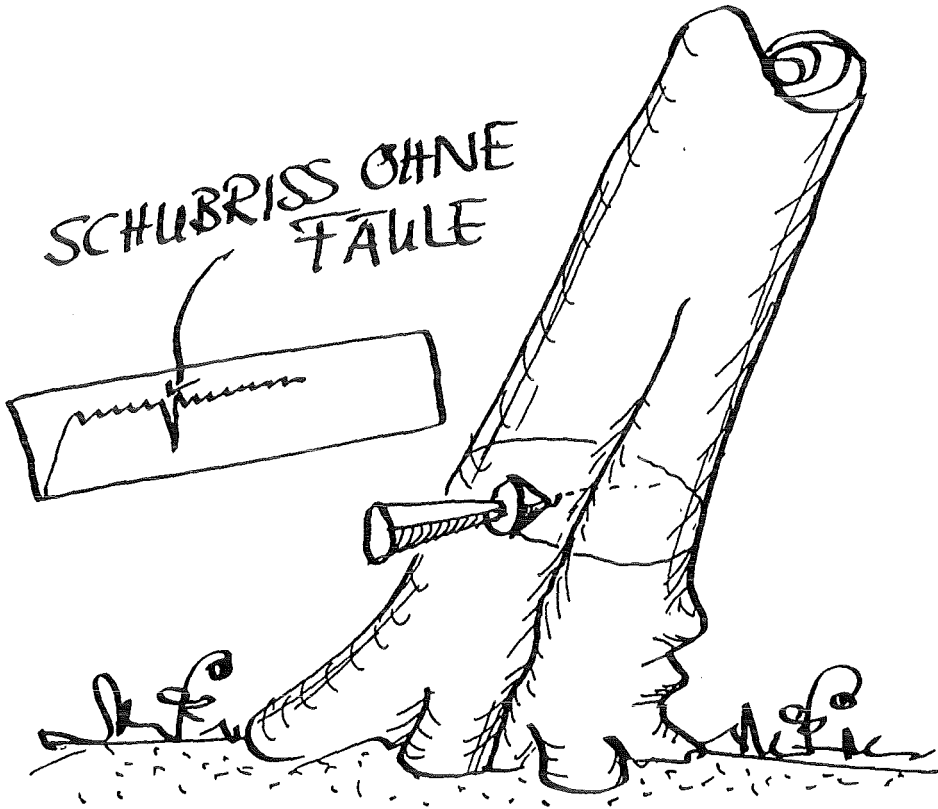


Abb. 19: Nachweis von Schubrisen in schiefen Bäumen mit Resistograph.

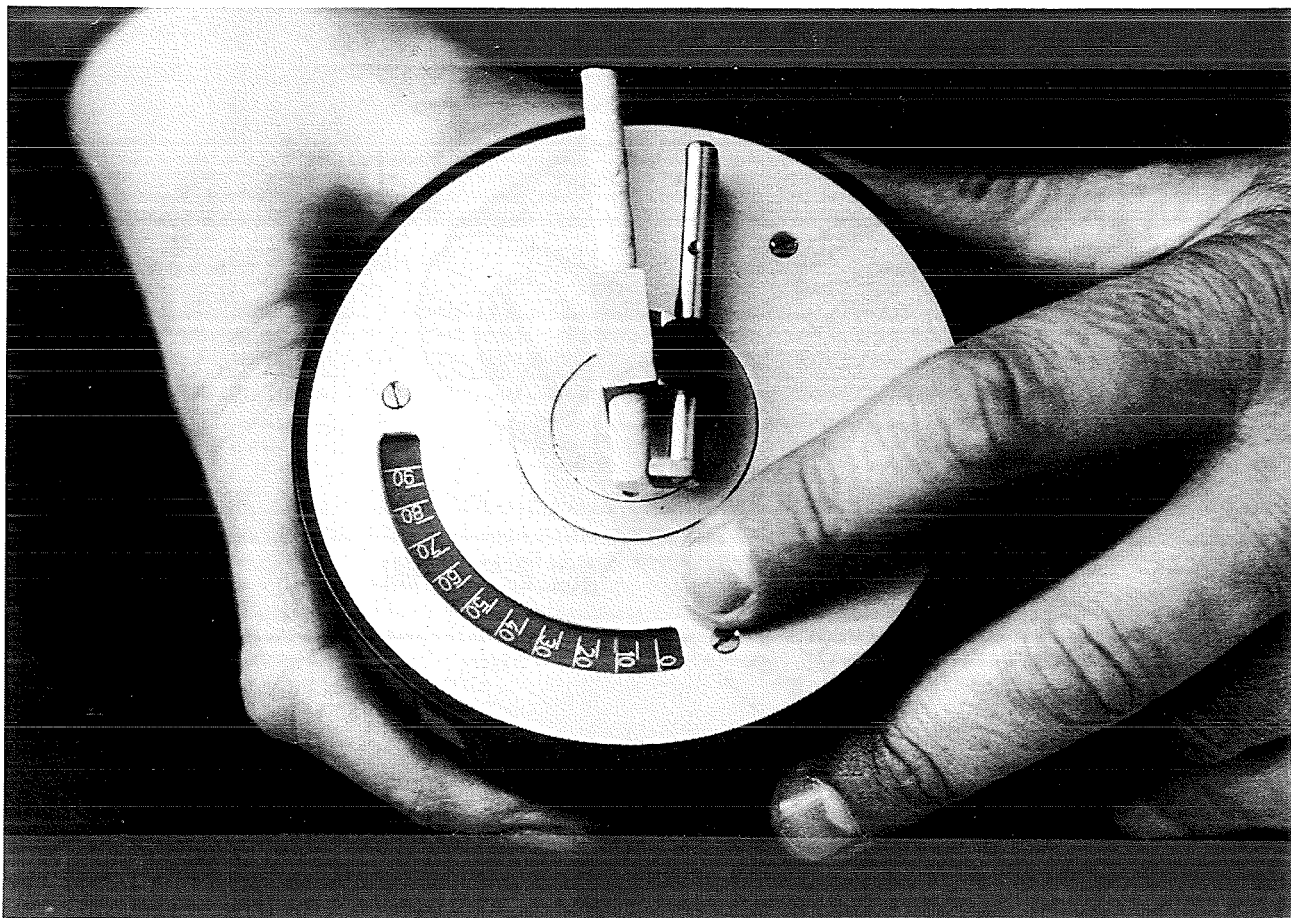
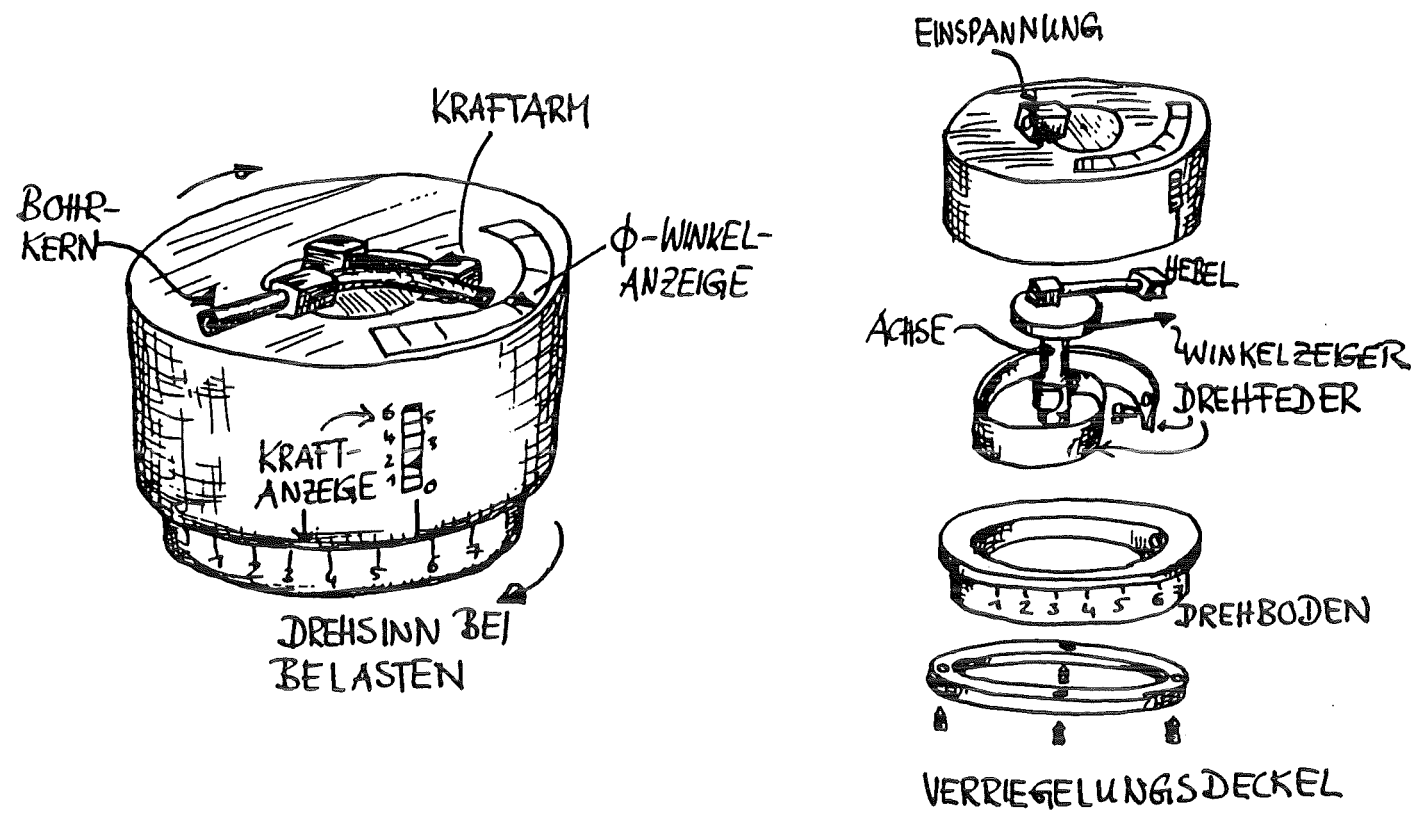


Abb. 20: Foto und Explosionsansicht des Fractometer I.

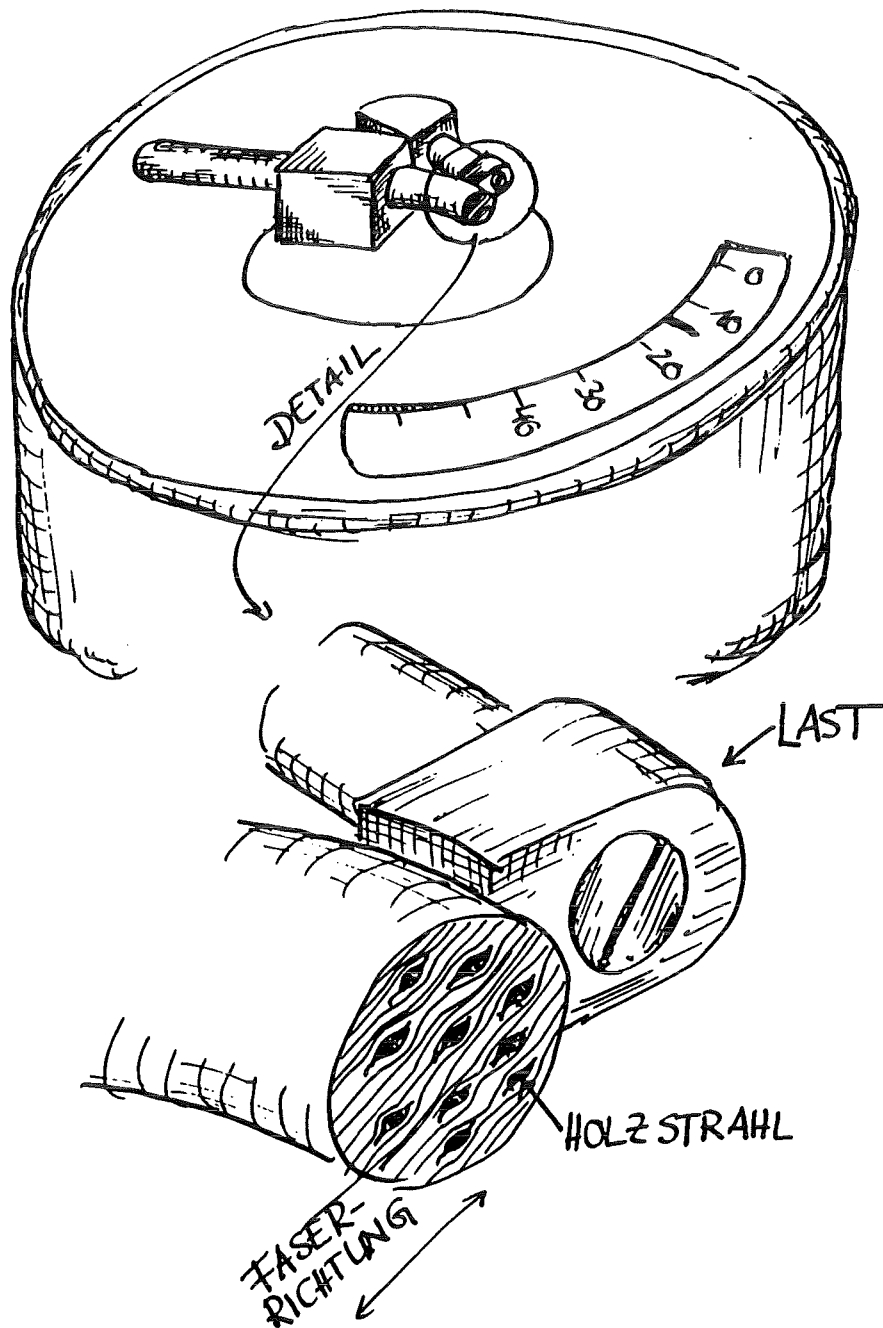


Abb. 21: Beachtung der Faserorientierung für die Bestimmung der radialen Biegefestigkeit.

PROGNOSE MIT FRACTOMETER

BAUME BEKÄMPFEN
FÄULE ERFOLGREICH,
WENN:

① IN DER RESTWAND-
HOHE FRACTOMETERWERTE
VORLIEGEN

② WENN DIESE
SPRUNGHAFT BEIM
ÜBERGANG
ZWISCHEN FÄULEM
UND GESUNDEM
HOLZ ANSTEIGEN.
GUTE AB-
SCHÜTTUNG!

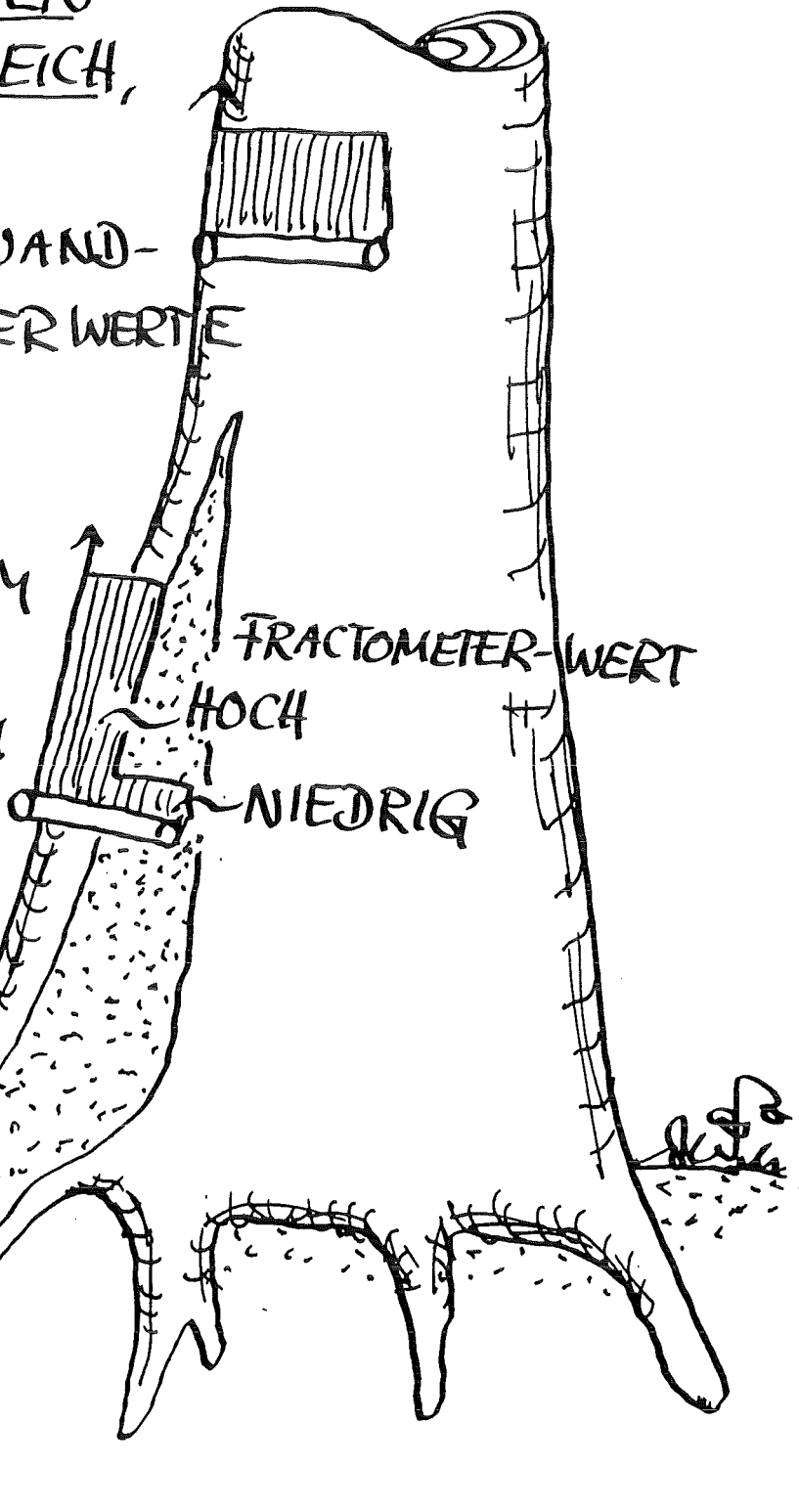


Abb. 22: Fäuleprognose mit Fractometer.

PROGNOSE MIT FRACTOMETER

BÄUME BEKÄMPFEN
DIE FÄULE ERFOLGLOS,
WENN:

- ① IN DER RESTWAND
MINDERE FRACTOMETER-
WERTE VORLIEGEN
- ② WENN DIESE BEIM
ÜBERGANG VOM
FAULEN ZUM
GESUNDEN HOLZ
NICHT SPRUNG-
HAFT ANSTEIGEN.
SCHLECHTE AB-
SCHÜTTUNG !!

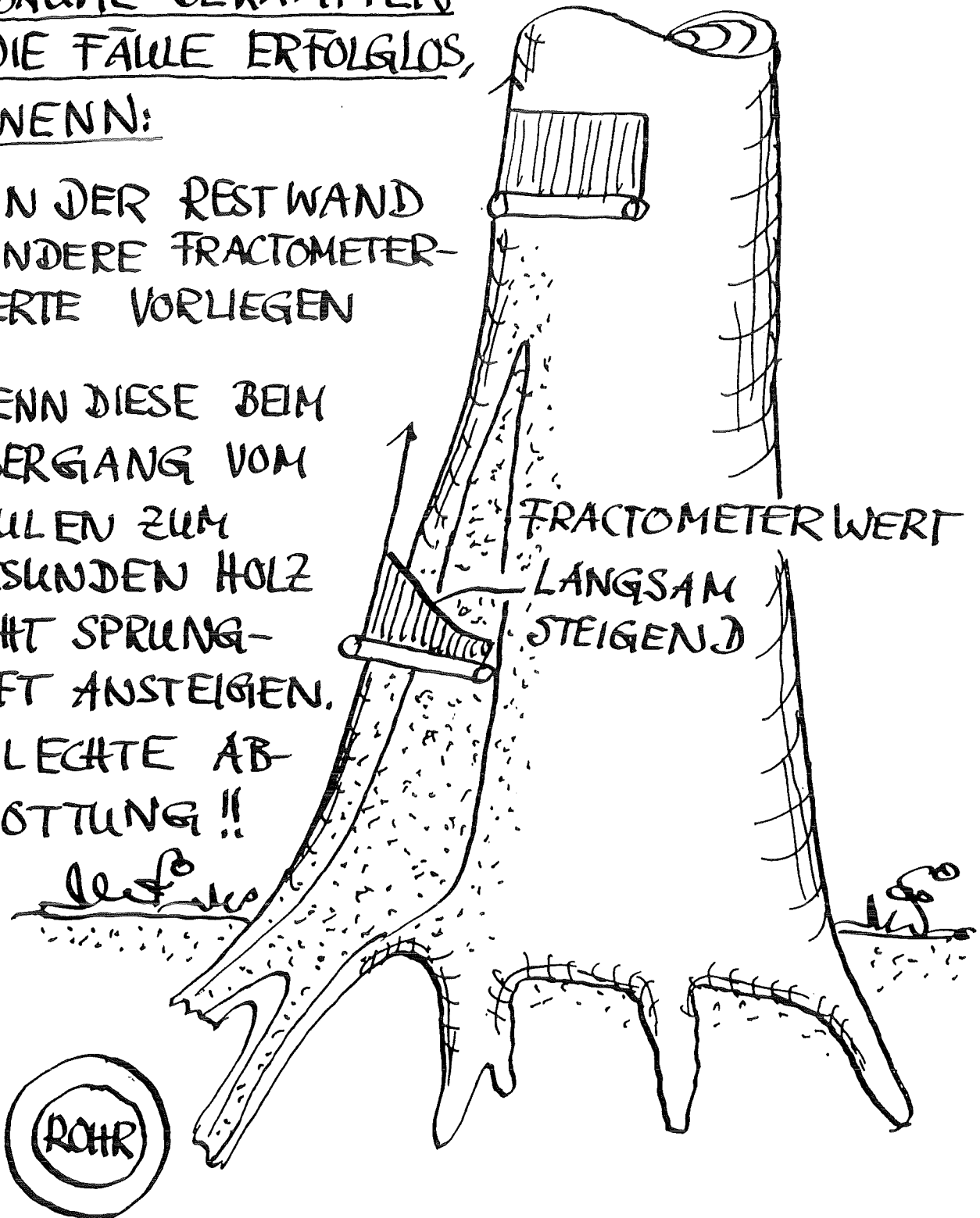


Abb. 23: Fäuleprognose mit Fractometer.

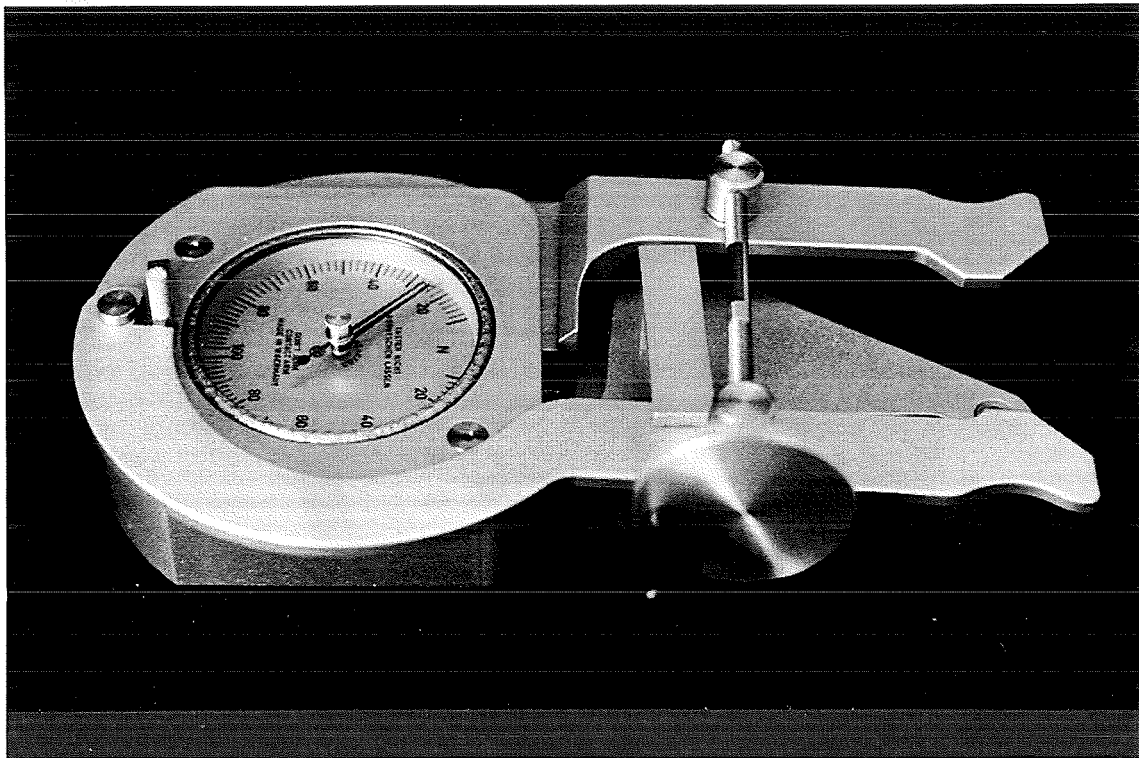
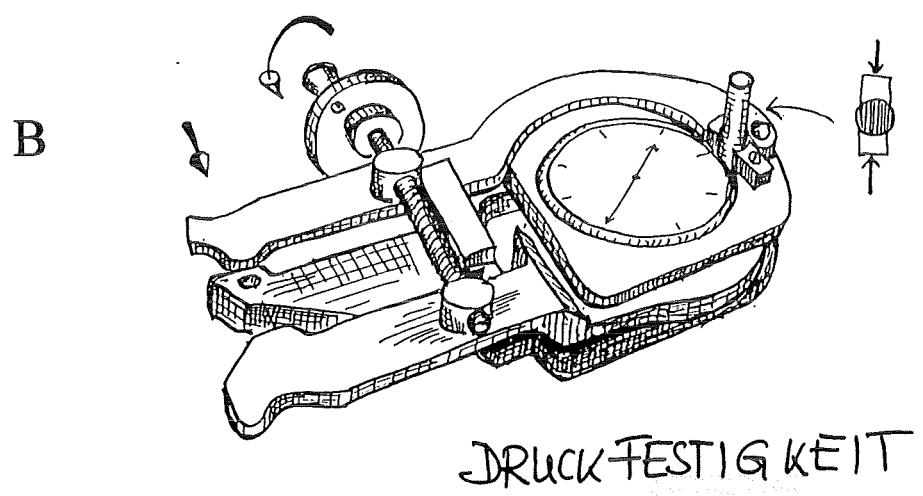
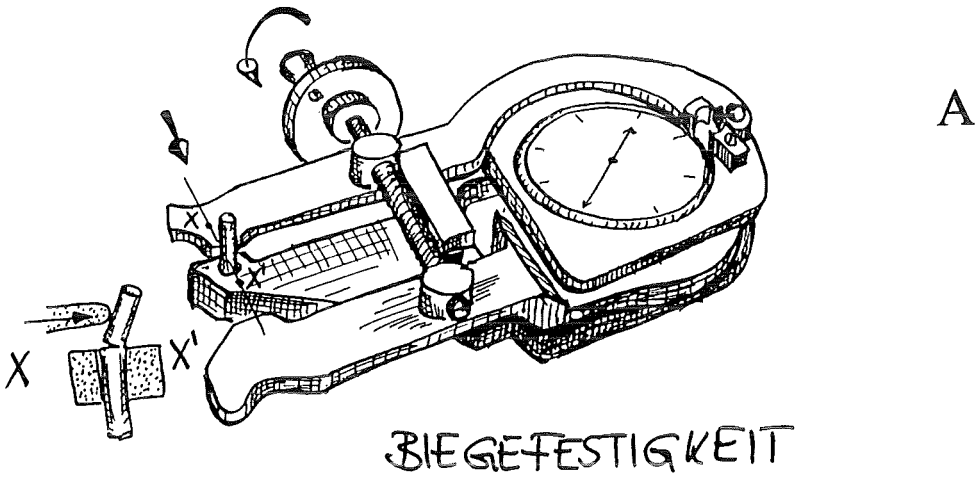


Abb. 24: Foto des Fractometer II und Skizzen seiner Meßoptionen (MATTHECK, KÜBLER, 1995).

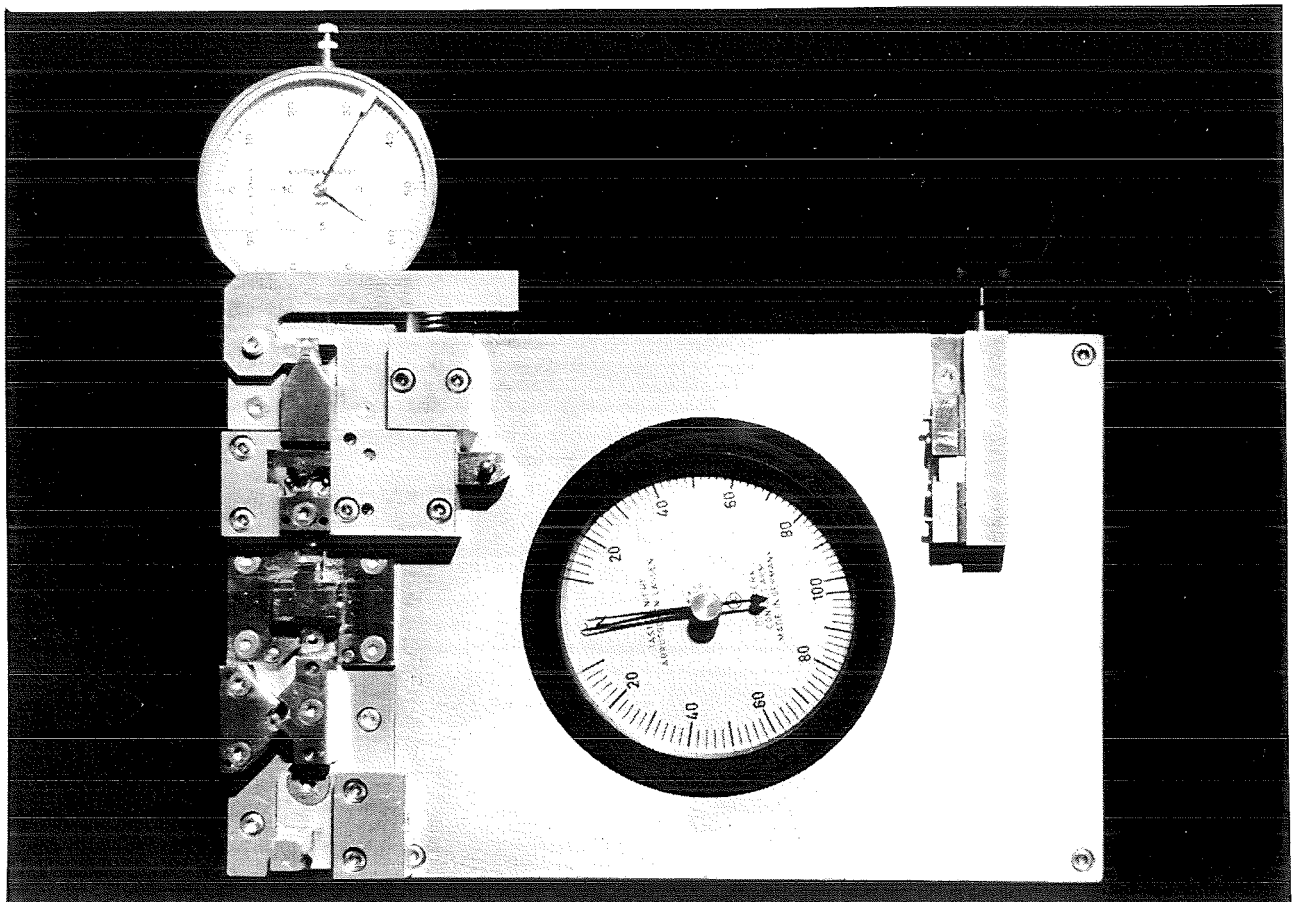
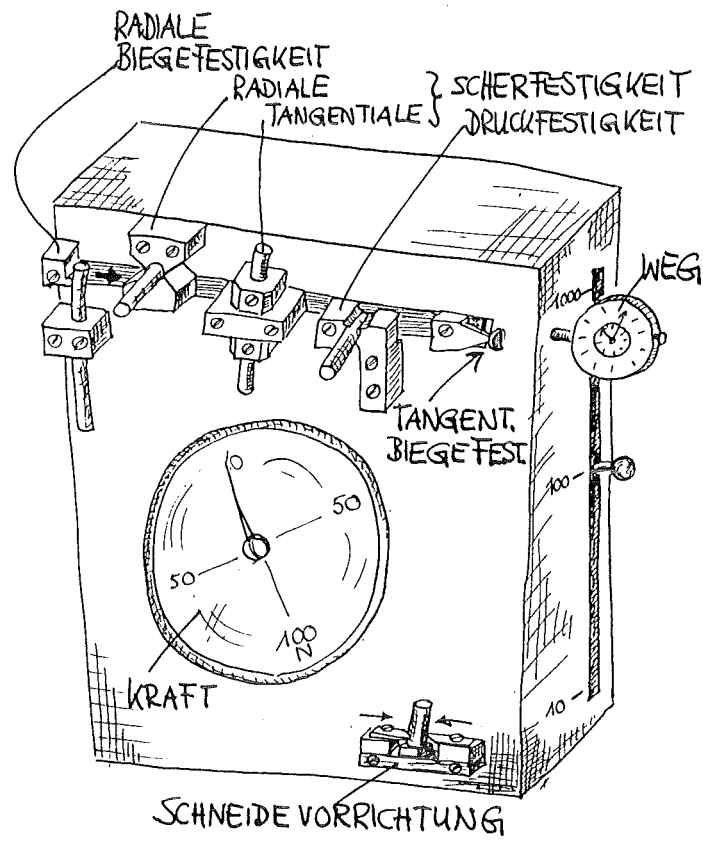


Abb. 25: Zeichnung und Foto des Fractometer III.