

## Überlegungen zur Theorie der Zuggurtung Ermittlung der optimalen Metellanordnung bei dorsaler Zuggurtung einer Olecranonfraktur

R. Labitzke\*

Chirurgische Klinik und Poliklinik der Berufsgenossenschaftlichen Krankenanstalten „Bergmannsheil“ Bochum (Chefarzt: Prof. Dr. med. J. Rehn)

Eingegangen am 10. Oktober 1974

### Reflections on the Theory of Tension Band

*Summary.* This is the analysis of external forces acting on the elbow joint and their influence on the appearance of bending forces, shearing forces and tensions along the ulna and their alterations with fractures of the olecranon. The influence of flexor muscles on the fracture site is being evaluated too. The fracture of the olecranon is being defined by means of statics. All disadvantages of a dorsal tension band i.e. uncertainty to neutralize all forces acting at the fracture site adequately, irregular interfragmentary compression, creation of unwanted shearing forces and moments, rest on its excentric localisation. The optimal distribution of hard ware is being evaluated.

*Zusammenfassung.* Die an einem Ellbogengelenk auftretenden äußeren Kräfte und deren Einfluß auf die Entstehung von Biegemomenten, Querkräften und Spannungen an der Elle und ihre Veränderungen bei einer Olecranonfraktur werden analysiert. Auch der Einfluß der *Beugertätigkeit* auf den Bruchbereich wird ermittelt. Die Olecranonfraktur wird statisch definiert. Alle Nachteile der dorsalen Zuggurtung — Unsicherheit, alle im Bruch herrschenden Kräfte sicher aufzunehmen, ungleichmäßige interfragmentäre Unterdrucksetzung, Erzeugung eigener unerwünschter Querkräfte und Momente — beruhen auf ihrer Exzentrizität. Die optimale Metellanordnung wird ermittelt.

1963 führte Weber zur operativen Behandlung bestimmter Knochenbruchformen das von Pauwels in die Medizin übernommene Verfahren der Zuggurtung ein. Es ist aus dem Betonbau entlehnt, dem System der Finsterwalderschen Spannbetonkonstruktion. Hierbei induziert das Eigengewicht eines gelenkigen Betonbalkens über das fest verankerte zugfeste Element (vorgespanntes Stahlkabel) im Gesamtelement Druckkräfte, die den zu erwartenden Zugspannungen entgegengesetzt sind.

Man nennt in der Bautechnik die Verbindung eines zugfesten mit einem druckfesten Element Verbundbau. Sein Charakteristikum ist hohe Festigkeit bei minimalem Materialaufwand. Knese hat nachgewiesen, daß der menschliche Knochen seine enorme Festigkeit einem mehrdimensionalen Verbundbau verdankt: Cal-

---

\* Herrn Dipl.-Ing. R. Hapke, Meerbusch, danke ich herzlich für seine anregenden Gespräche und die mathematische Absicherung der statischen Grundlagen.

cium-Apatit und kollagene Fasern sind die druck- und zugfesten Materialien. Am Skelettsystem werden statische Drücke und Biegekräfte außerdem durch äußere variable Zugspannungen kompensiert. Pauwels hat das z. B. am System Femur—Musculus et tractus iliotibialis demonstriert.

Bei biomechanischen Überlegungen zu einer Fraktur läßt man gewöhnlich außer acht, daß nicht nur die harte Knochensubstanz, sondern auch die zur Erhaltung der Stabilität nicht minder wichtigen kollagenen, auf Zug belastbaren Fasern durchtrennt werden. Ein Knochenbruch zerstört das Verbundbausystem in seinen *beiden* Elementen. Bei der Behandlung eines Knochenbruches mit äußeren Kraftträgern (z. B. Platten) wird nicht nur einfach eine Adaptation der Bruchflächen, sondern durch Anbringen und Vorspannen der Platte an der Zugspannungsseite — sofern eine solche eindeutig bestimmbar ist — die Wiederherstellung des Verbundsystems erreicht: Die die Zugspannung aufnehmenden, zerrissenen kollagenen Fasern werden bis zu ihrer Heilung in ihrer Funktion durch die Platte ersetzt. Bei einer Femurfraktur kann die Platte also nur sinnvoll an der äußeren Seite angebracht werden (sog. Zuggurtungsplatte, im Sprachgebrauch häufig Druckplatte genannt, da sie im Frakturbereich Druck erzeugt).

An manchen Knochen, die stark auf Zug und Biegung beansprucht werden, an denen aber aus anatomischen Gründen eine Platte nicht anwendbar ist oder überdimensioniert wäre, z. B. an Olecranon, Patella, Knöchel, Trochanter major, kann eine Fraktur durch Anlegen einer Zuggurtung ausgeheilt werden. Als Prinzip gilt, die Zuggurtung immer an der Seite der muskulären Zugspannungen anzulegen. Bei den beiden wichtigsten Indikationen, den Frakturen des Olecranon und der Patella, gilt die Streckseite als Zugspannungsseite, da sie dem Triceps- bzw. Quadricepszug ausgesetzt ist. Der Einfluß der Beuger ist in beiden Fällen bisher unberücksichtigt geblieben.

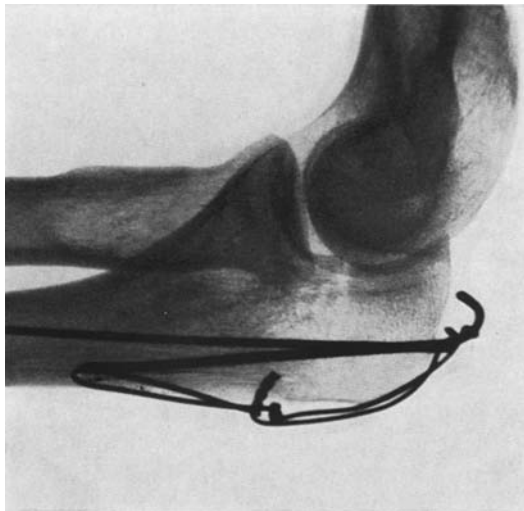


Abb. 1. Zuggurtung einer Olecranonfraktur nach Weber. Beachte: Klaffender ventraler Bruchspalt, Kreuzung der Cerclage etwa in Höhe der Bruchlinie. Eine dorsokonkave Verbiegung der Kirschner-Drähte liegt hier nicht vor

Am Beispiel eines Ellenhakenbruches sei das Prinzip der Zuggurtung kurz rekapituliert: Bei Bruch des Olecranon wird durch Zerreißung der vorgespannten kollagenen Fasern der Zug des Triceps in der Weise wirksam, daß das proximale Fragment sofort in Streckstellung gebracht, also weitspaltig distrahiert wird. Da der Triceps einen kräftigen Zug ausübt, würde alleinige Fixation ohne Wiederherstellung resp. Ersatz des zugfesten Elements eine baldige erneute Lockerung und Distraction zur Folge haben, wenn nicht zusätzlich eine äußere, langdauernde Fixation durch Gips — mit all ihren Nachteilen — den Tricepszug ausschalten würde.

Deshalb wird nach genauer anatomischer Reposition das Olecranon durch zwei axiale Kirschner-Drähte an der Elle fixiert. Erst jetzt wird ein Cerclagedraht durch ein queres Bohrloch im Ellenschaft gezogen, dessen Enden um die herausstehenden Kirschner-Drähte herumgeführt und an der Dorsalseite der Elle unter hoher Anspannung verquirlt werden (Abb. 1).

Indem sie das Verbundsystem wiederherzustellen sucht, geht die Zuggurtung über die einfachen Adaptationsmethoden wie Drahtnaht (z. B. Lister; Russe) oder innere Fixation mit Nägeln oder Schrauben (z. B. Küntscher; K. H. Bauer) hinaus.

### Fragestellung

Im folgenden werden die an einem gesunden Ellenbogengelenk auftretenden *äußeren Kräfte* bei Betätigung des Triceps und der Beuger und deren Einfluß auf die Entstehung von *Biegemomenten, Querkräften und Spannungen* an der Elle sowie deren Störungen bei einer Olecranonfraktur analysiert. Ferner wird der Einfluß von *Lage* und *Richtung* der Spickdrähte und der Cerclage auf die Kräfte im Bruchspalt geprüft und eine *optimale Anordnung des Metalls* ermittelt.

#### 1. Voraussetzungen

Voraussetzung für das Gleichgewicht an einem Gelenk ist, daß die Summe aller angreifenden Kräfte gleich Null und die Summe aller Momente (Kraft  $\times$  Hebelarm), bezogen auf einen beliebigen Punkt (hier Schnittpunkt der Knochenachsen des Humerus und der Ulna; *S* in Abb. 2), gleich Null ist. Die zur Errechnung dieser Werte notwendigen Punkte und Strecken zeigt Abb. 2.

#### 2. Ermittlung der äußeren Kräfte am Ellbogengelenk

Das Humero-Ulnargelenk ist ein Scharniergelenk. Äußere Kräfte stellen daher die Betätigung der Beuger und des Triceps dar, die eine Bewegung des Unterarms jeweils *gegen* die Schwerkraft bewirken. (Bei Triceps-Innervation  $G_T$  in Abb. 2.) Die Gesamtdruckkraft  $R_d$  im Gelenk resultiert u. a. als Folge der Muskeltätigkeit. Bei Anspannung der Beuger wird die Aktivität des Triceps als Ausdruck des Antagonismus seiner Wirkung sehr klein und umgekehrt.

Durch Ableitung des EMG bei Beuger- und Tricepsinnervation am unbelasteten Arm wurde folgendes ermittelt:

Bei willkürlich intendierten Beugebewegungen (Heben des gestreckten Unterarmes *gegen* die Schwerkraft) war starke elektrische Aktivität im Biceps und nur geringe Aktivität im Triceps erkennbar.

Bei willkürlich intendierten Streckbewegungen — Heben des gebeugten Unterarmes *gegen* die Schwerkraft (bei im Schultergelenk gestreckten Oberarm) — war starke elektrische Aktivität im Triceps und nur geringe im Biceps erkennbar. Bei Strecken des gebeugt gehaltenen Unterarms *mit* der Schwerkraft (Oberarm im Schultergelenk hängend) war *geringe* elektrische Aktivität sowohl im Biceps als auch im Triceps erkennbar, ebenso bei nahezu unwillkürlichen Beuge- und Streckbewegungen im Ellbogengelenk, wie sie das Mitpendeln des Armes beim

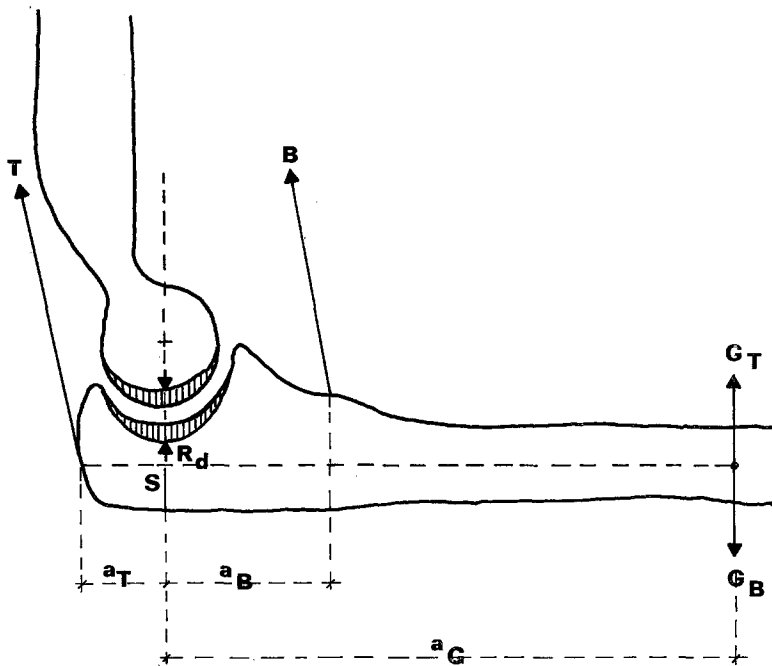


Abb. 2. Schnitt durch das Ellbogengelenk mit den zur Berechnung der äußeren Kräfte notwendigen Strecken und Punkten.  $R_d$  Gesamtdruckkraft im Gelenk,  $T$  Zugkraft des Triceps,  $B$  Zugkraft des Biceps,  $S$  Schnittpunkt der Knochenachsen,  $a_T$  Hebelarm des Triceps bezogen auf  $S$ ,  $a_B$  Hebelarm des Biceps bezogen auf  $S$ ,  $G$  äußere Kraft (Gewicht oder dergl.),  $a_G$  Hebelarm der äußeren Kraft bezogen auf  $S$

Gehen darstellen. Der jeweilige Antagonist bei Beugung oder Streckung ist nicht völlig ausgeschaltet. Auch das Strecken des Unterarms mit der Schwerkraft sowie Pendelbewegungen beim Gehen stellen eine durch Triceps und Biceps geführte *aktive* Bewegung dar, die Kräfte im Ellbogengelenk erzeugt.

a) *Beugerwirkung*<sup>1</sup>

$$\begin{aligned} (1) \quad & B - G + R_d = 0 \\ (2) \quad & B \times a_B - G \times a_G = 0 \\ (3) \quad & B = \frac{G \times a_G}{a_B} \\ (4) \quad & R_{d(B)} = G - \frac{G \times a_G}{a_B} \\ (5) \quad & R_{d(B)} = G \times \frac{a_B - a_G}{a_B} \end{aligned}$$

b) *Tricepswirkung*<sup>1</sup>

$$\begin{aligned} (1) \quad & T - G + R_d = 0 \\ (2) \quad & T \times a_T - G \times a_G = 0 \end{aligned}$$

<sup>1</sup> An einem Leichenunterarm wurden das Gewicht  $G$  (1,750 kg) und entspr. Abb. 2 röntgenologisch die Strecken  $a_B$  (3,2 cm),  $a_T$  (2,5 cm) und  $a_G$  (17,5 cm) bestimmt.

Für die Beugung und Streckung des unbelasteten Unterarms errechnen sich die erforderlichen Kräfte zu  $B = 9,6$  kp,  $T = 12,2$  kp, wobei im Gelenk Druckkräfte von  $R_{d(B)} = 7,85$  kp und  $R_{d(T)} = 13,95$  kp entstehen.

$$(3) T = \frac{G \times a_G}{a_T}$$

$$(4) R_{d(T)} = G - \frac{G \times a_G}{a_T}$$

$$(5) R_{d(T)} = G \times \frac{a_T + a_G}{a_T}$$

### 3. Ermittlung der Zug- und Druckspannungen an der intakten oder operierten Elle bei Bewegungen im Ellbogengelenk

Zur Ableitung der Druck- und Zugkräfte, die auf Grund äußerer Kräfte bei Triceps- und Beugerinnervation an der Elle entstehen, erfolgte die grafische Darstellung der planmäßigen Schnittlasten und Beugelinien nach statischen Regeln. Zur besseren Anschauung zunächst folgender Vergleich:

Ein waagrechtes Dach sei wie in Abb. 3 in einer Mauer gelenkig befestigt. Infolge seines Gewichtes, das über einen langen Hebelarm angreift ( $G$  im Schwerpunkt), biegt es sich nach unten durch. Hierbei entstehen an seiner *Oberseite* Zugspannungen, an seiner *Unterseite* Druckspannungen. Das Durchbiegen kann durch ein an der Zugseite angebrachtes, vorgespanntes Seil wie in Abb. 3 b verhindert werden. Wenn eine gegen die Schwerkraft wirkende Kraft — z. B. eine sehr starke Windbö — das Dach nach oben drückt, kehren sich Zug- und Druckspannungsseite um, das bisherige Spannseil wird nutzlos. Ein vorgespanntes Seil jenseits der Mauer liegt im Moment der Windbö auf der Zugspannungsseite und kann daher die jetzt auftretenden Kräfte aufnehmen (Abb. 3 c). Der Zusammenhang dieses Vergleichs mit dem Ellbogengelenk geht aus Abb. 3 d hervor: Das Dach symbolisiert die Elle, die beiden Seile die Streck- und Beugesehnen und der Oberarm die Trennlinie der Mauer.

#### a) Lastfall 1, Zug- und Druckspannungen bei Tricepswirkung

Die grafische Darstellung der planmäßigen Schnittlasten an der intakten Elle (Abb. 4 a) für die Tricepsinnervation ergibt eine Fläche mit einem nach *dorsal* gerichteten positiven Moment mit Maximum am Bruchspalt des Olecranon. Das positive Moment bedeutet Zugspannung an der Dorsalseite der Elle. Beachtenswert ist, daß auch im Bereich des Olecranon (kleines Dreieck) ein Moment wirksam wird!

Die Darstellung der sogenannten Beugelinie für den Zeitpunkt der Tricepsinnervation läßt erkennen, daß an der *gesamten* ventralen Ellenseite Druckspannungen und im *gesamten* dorsalen Bereich Zugspannungen auftreten. Gleiche Druck- und Zugspannungsverhältnisse wie bei Tricepsbetätigung liegen bei *gestrecktem Arm unter Belastung* vor!

Im Falle einer durch Zuggurtung stabilisierten Olecranonfraktur bedeutet das, daß sowohl *proximal* (links von  $S$ ) als auch *distal* (rechts von  $S$ ) der Oberarmachse bei Tricepsbetätigung ventralseitig Druck- und dorsalseitig Zugspannungen auftreten.

#### b) Lastfall 2, Zug- und Druckspannungen bei Beugerwirkung

Die grafische Darstellung der planmäßigen Schnittlasten und der Beugelinie (Abb. 4 b) für die Beugerinnervation zeigt vom Lastfall 1 grundsätzlich verschie-

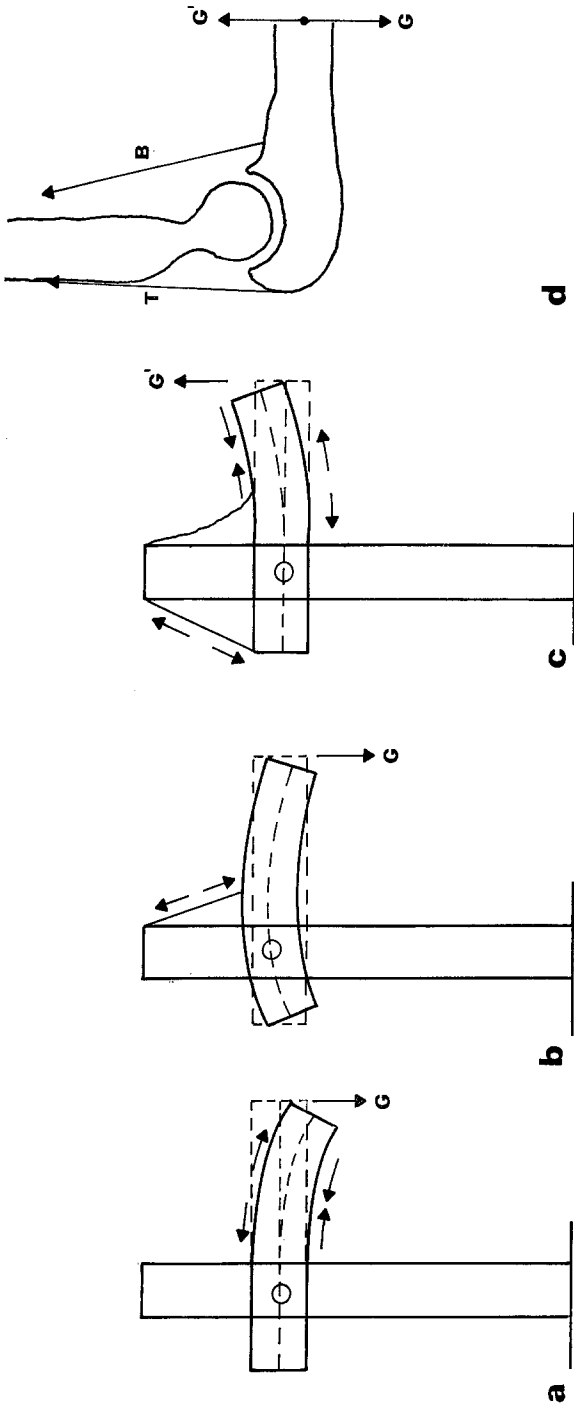


Abb. 3a—d. Beschreibung im Text S. 183

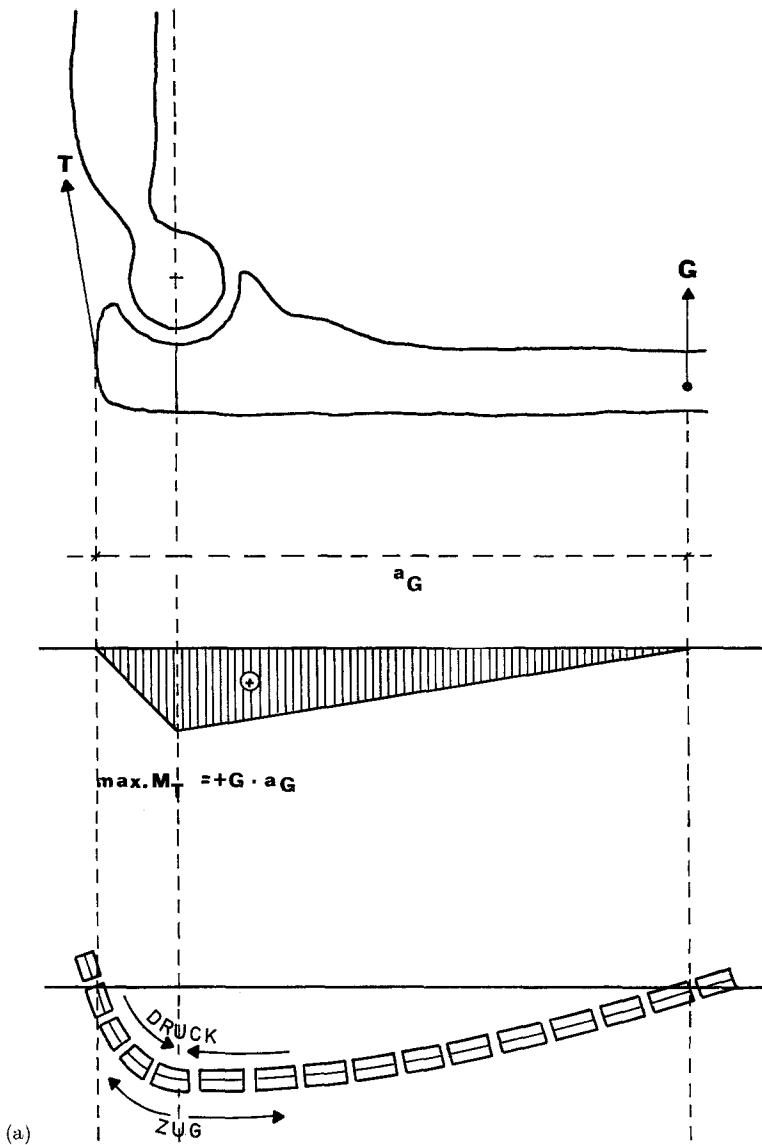


Abb. 4a u. b. Darstellung der Momente und der Beugelinie zur Erfassung der Druck- und Zugspannungen an der Elle (a) bei Tricepsbetätigung, (b) bei Beugerbetätigung. Beachte: Das Moment und die Spannungsverhältnisse am Olecranon bei (a) lassen sich bei (b) *nicht* nachweisen

dene Spannungsbilder: Es entsteht ein negatives Moment mit dem Maximum über dem Beugeransatz. Im Bruchbereich und proximal davon ist *kein* Moment mehr erkennbar. Das negative Moment bedeutet *Druckspannung* am *Ellendorsum* und *Zugspannung* auf der *Ventralseite* soeben bis in Höhe des Bruchbereiches. Das zeigt auch der Verlauf der Beugelinie, die im Olecranonanteil *keine Krümmung* mehr aufweist, also keine Druck- oder Zugspannungen mehr anzeigt.

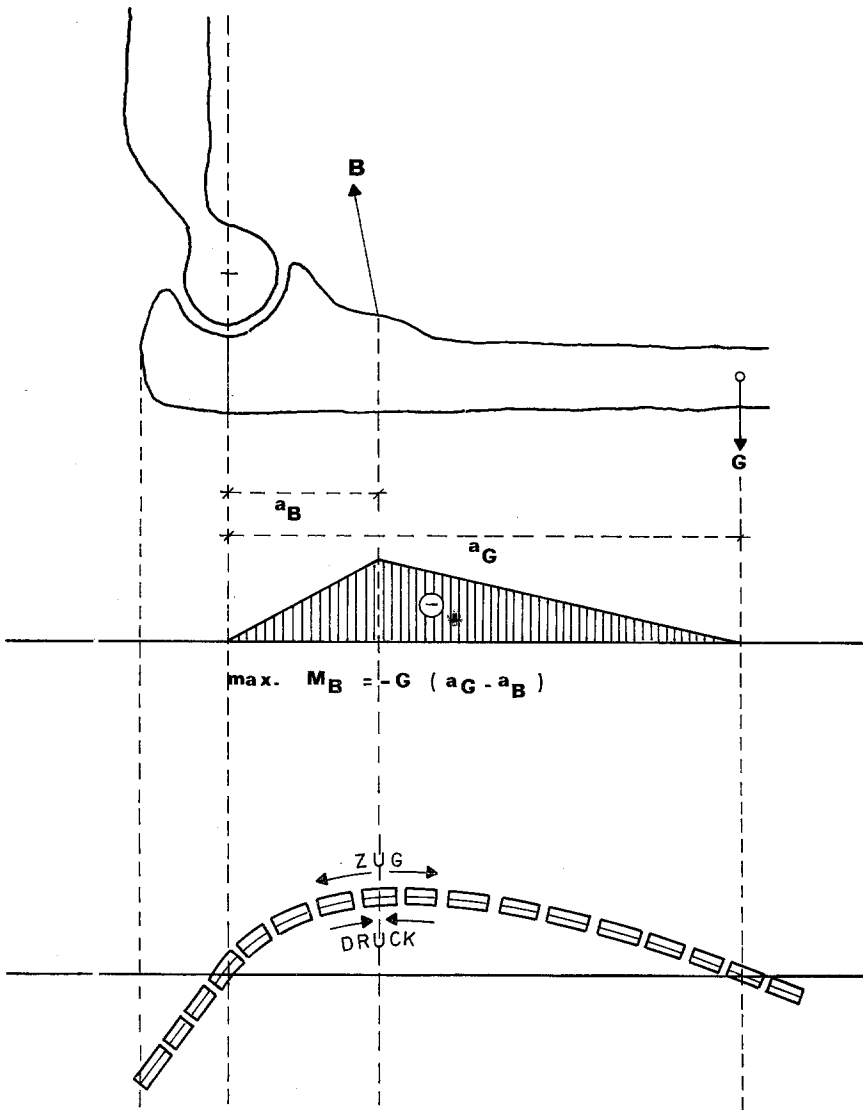


Abb. 4b

Im Falle einer durch Zuggurtung operierten Olecranonfraktur bedeutet das, daß die Beugerinnervation *ohne jede Wirkung* auf den Bruchbereich bleibt, d. h., das Olecranon wird bei der Unterarmbeugung „mitgenommen“.

*c) Definition der Olecranonfraktur*

Nunmehr kann die Olecranonfraktur definiert werden als ein Bruch der Elle *proximal* des Schnittpunktes mit der Oberarmachse.

Frakturen distal dieser Achse müssen bereits zu den proximalen Ellenschaftbrüchen gerechnet werden.



Die bisherigen Einteilungen der Olecranonfraktur (z. B. nach Luther u. Schulitz, Frakturtypen 1—5, oder nach Scheuba, Frakturtypen 1—3) sind statisch falsch. Die Typen 3 + 4 (Luther) und 2 + 3 (Scheuba) sind bereits proximale Ellenschaftbrüche.

#### 4. Querkkräfte (Scherkräfte)

Eine Querkraft ist definiert als eine *längs* zu einer Fläche wirkende Kraft.

Bei einer Olecranonfraktur werden Querkkräfte durch die muskuläre Wirkung des *Triceps* erzeugt<sup>2</sup>. Ihre Größe ist abhängig von der *Richtung* der Bruchfläche zur *Richtung* der Kraft des *Triceps*. Wenn beide Richtungen parallel verlaufen, kann (bei Vernachlässigung der Reibung) die gesamte Kraft des *Triceps* als Querkraft im Bruchbereich zur Wirkung kommen. Parallelität beider Richtungen findet sich bei einer Querfraktur nur bei 90° Beugung des Ellbogengelenks, während bei voller Streckung überhaupt kein Kraftangriff längs der Bruchfläche erfolgen und mithin keine Querkraft erzeugt werden kann. Querkkräfte von nennenswertem Ausmaß können deswegen praktisch nur *zu Beginn* der *Triceps*-betätigung entstehen.

#### 5. Drehmomente

Ein Moment ist definiert als Kraft  $\times$  Weg. Die Kontinuitätsunterbrechung der Elle im Frakturbereich läßt die Kraft des *Triceps* über den Hebelarm „Länge des Olecranonfragments“ wirksam werden: Das Olecranon wird nach dorso-cranial *gedreht*.

Querkkräfte und Momente um die Longitudinalachse der Elle (Torsionsmomente) werden durch die bruchabhängige Inkongruenz der Gelenkflächen, Kapseeinrisse, Knorpel- oder Knocheninterponate etc. erzeugt. Sie können größenordnungsmäßig nicht erfaßt werden.

#### 6. Übertragung der Kräfte von der Modell- auf die wirkliche Fraktur

Bei den bisherigen Betrachtungen wurde eine Modellfraktur benutzt, deren Bruchspalt höchstens bis an den Schnittpunkt mit der Oberarmachse reichte und die eine Querfraktur darstellte. Alle weiter distal liegenden Brüche mußten aus statischen Gründen bereits zu den proximalen Ellenschaftbrüchen gerechnet werden (s. unter 3c). Diese Erinnerung ist deswegen wichtig, weil Frakturen distal dieser Schnittebene (s. Abb. 2) bei *Beuger*betätigung eine *Umkehr* der Zug- und Druckspannungsseite erkennen lassen (Lastfall 2, Abb. 4b): Die *Zugspannung* tritt hier an der *Ventralseite* auf. Eine *dorsal* gelegene Zuggurtung ist hier kontraindiziert, weil sie diese Spannungsverhältnisse verstärkt.

Da die Olecranonfrakturen, wie sie oben statisch definiert wurden, selten glatte Querbrüche sind, sondern ihr Bruchbereich dreidimensionale Formen aufweist, evtl. Ausläufer in den Bereich der proximalen Elle (distal der Schnittebene mit der Oberarmachse) schiebt, können die Spannungsverhältnisse in den *Teil*-bereichen des Bruches nie exakt angegeben werden. Auch die Richtung der Bruchfläche (quer, schräg, einzelne Teilflächen bei Stückfrakturen) hat Einfluß auf die entstehenden muskulären und osteosynthesebedingten Kräfte.

Deshalb ist *die* Modifikation der Zuggurtung am günstigsten, die *alle* planmäßigen (vorhersehbaren) und unbeabsichtigten (unvorhersehbaren) Kräfte im Bruchbereich sicher aufnehmen kann.

<sup>2</sup> Die *Beuger*innervation läßt, wie Abb. 4b zeigt, keine Querkkräfte mehr im Bruchbereich einer Olecranonfraktur erkennen.

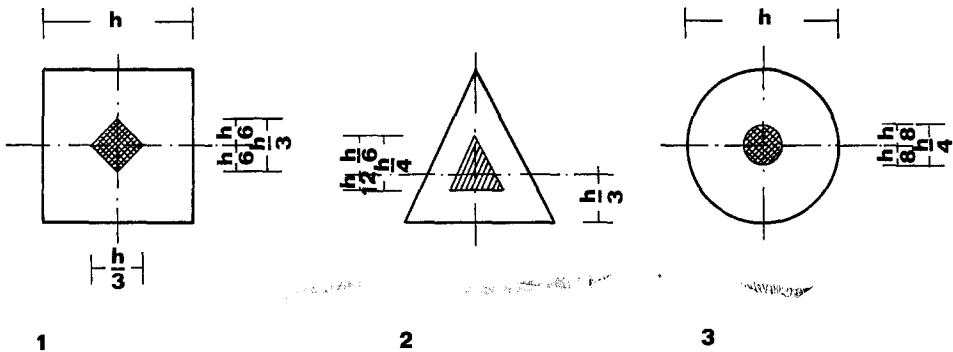


Abb. 5. Ausdehnung des Kernquerschnitts in Abhängigkeit vom Gesamtquerschnitt

### 7. Kritische Würdigung der Zuggurtung nach Weber

Hinter der Anwendung der Zuggurtung steht die Überlegung, im Bruchbereich Verhältnisse zu schaffen, die denen am intakten Knochen weitgehend entsprechen. Die im Falle der Olecranonfraktur durch Tricepszug auftretenden äußeren Zugkräfte sollen durch eine dorsale Cerclage aufgefangen und bei der Bewegung in interfragmentäre Druckkräfte umgewandelt werden.

#### a) Klaffen des gelenknahen Frakturbereiches

Weber sieht als Ausdruck einer optimal angelegten Zuggurtung einer Olecranonfraktur in einem röntgenologisch erkennbaren Klaffen des *gelenknahen* Frakturspalt (Abb. 1) bei möglichst gleichzeitig nach dorso-konkav gebogenen Kirschner-Drähten Anzeichen für besonders starke Unterdrucksetzung der Fraktur.

In der Festigkeitslehre ist mathematisch bewiesen, daß Druckspannungen über einen *Gesamtquerschnitt* nur dann erzeugt werden können, wenn die erzeugende Kraft im sogenannten *Kernquerschnitt* angreift. Dieser erstreckt sich je nach Querschnittsform mit einem Bruchteil der Querschnittshöhe um die Achse (Abb. 5).

Greift eine druckspannungserzeugende Kraft an einem intakten Körper genau in der *Achse* (dem Mittelpunkt des Kernquerschnitts) an, wird über dem *gesamten* Querschnitt ein *gleichmäßiger* Druck erzeugt.

Greift sie am Kernquerschnittsrand an, ist die Druckspannung am *gegenüberliegenden Rand* des Querschnitts gerade *Null*, greift sie *außerhalb* des Kernquerschnittes an, werden *gegenüber* negative Spannungen (*Zugspannungen*) wirksam (Abb. 6).

Ein *klaffender* Bruch ist also *kein Maß für die Größe* der druckspannungserzeugenden Kraft, sondern nur *ein Maß für den Angriffspunkt*, resp. die *Exzentrizität* der Kraft. In der Festigkeitslehre ist dieser Spalt als schädliche, sogenannte „klaffende Fuge“ bekannt. Sein Vorhandensein nach Zuggurtung beweist allerdings, daß der gelenknahe Frakturbereich *überhaupt nicht unter Druck* gesetzt ist. Je *größer* er ist, desto *kleiner* ist der unter Druck gesetzte dorsale Bereich, um so exzentrischer liegt die druckspannungserzeugende Kraft.

#### b) Der Wert der Kirschner-Drähte

Das zunächst augenfälligste Verdienst der Kirschner-Drähte liegt darin, das mit Einzinkerhaken vorübergehend gehaltene Repositionsergebnis zu fixieren.

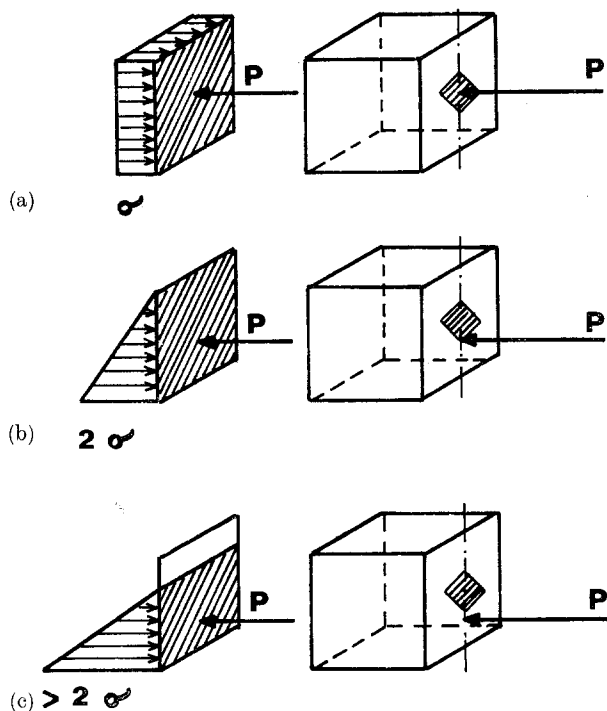


Abb. 6a—c. Druckverhältnisse bei Kraftangriff (a) im Kernquerschnitt, (b) am Rande des Kernquerschnitts, (c) außerhalb des Kernquerschnitts. Bei gleicher Kraft  $P$  ist in allen Fällen der Inhalt der Spannungsfläche gleich

Außerdem geben sie der Verankerung der Cerclage den nötigen Halt, der ein Nachlassen ihrer Spannung verhindert. Ihre wichtigste Funktion jedoch besteht darin, daß sie die planmäßigen und unbeabsichtigten *Querkräfte* in der Bruchstelle aufnehmen müssen. Daraus folgt, daß ihr Kaliber stark genug gewählt werden muß, damit sie selbst keiner Verbiegung unterworfen werden können. Die von Weber gewünschte dorsokonkave *Verbiegung* der Kirschner-Drähte ist schädlich. Sie bedeutet, daß das Anspannen der Cerclage ihrerseits ein Drehmoment erzeugt hat, das die Spickdrähte nicht mehr aufnehmen konnten.

#### c) Die Cerclage

Die Cerclage stellt einen Ersatz für die beim Bruch mitzerrissenen, im Knochen vorgespannten kollagenen Fasern dar. Sie wird damit zum wichtigsten operativen Hilfsmittel der Zuggurtung. Mit ihrer *Vorspannung* steht und fällt die Unterdrucksetzung des Frakturbereichs. Ihre *Lage* und *Richtung* dagegen wird entscheidend sowohl für die Kompensation der muskelbedingten Kräfte im Bruch als auch für das Entstehen neuer ungewollter Kräfte. Es steht außer Zweifel, daß eine optimale Lage der Cerclage ebenso notwendig ist wie eine exakte Spannungsgebung.

#### d) Nachteile der Zuggurtung (Abb. 7a)

Die dorsale Zuggurtung ist *nicht* in der Lage, alle Kräfte im Bruchspalt sicher aufzunehmen. Ihre Nachteile beruhen *alle* auf ihrer Exzentrizität. Ihr exzentrischer

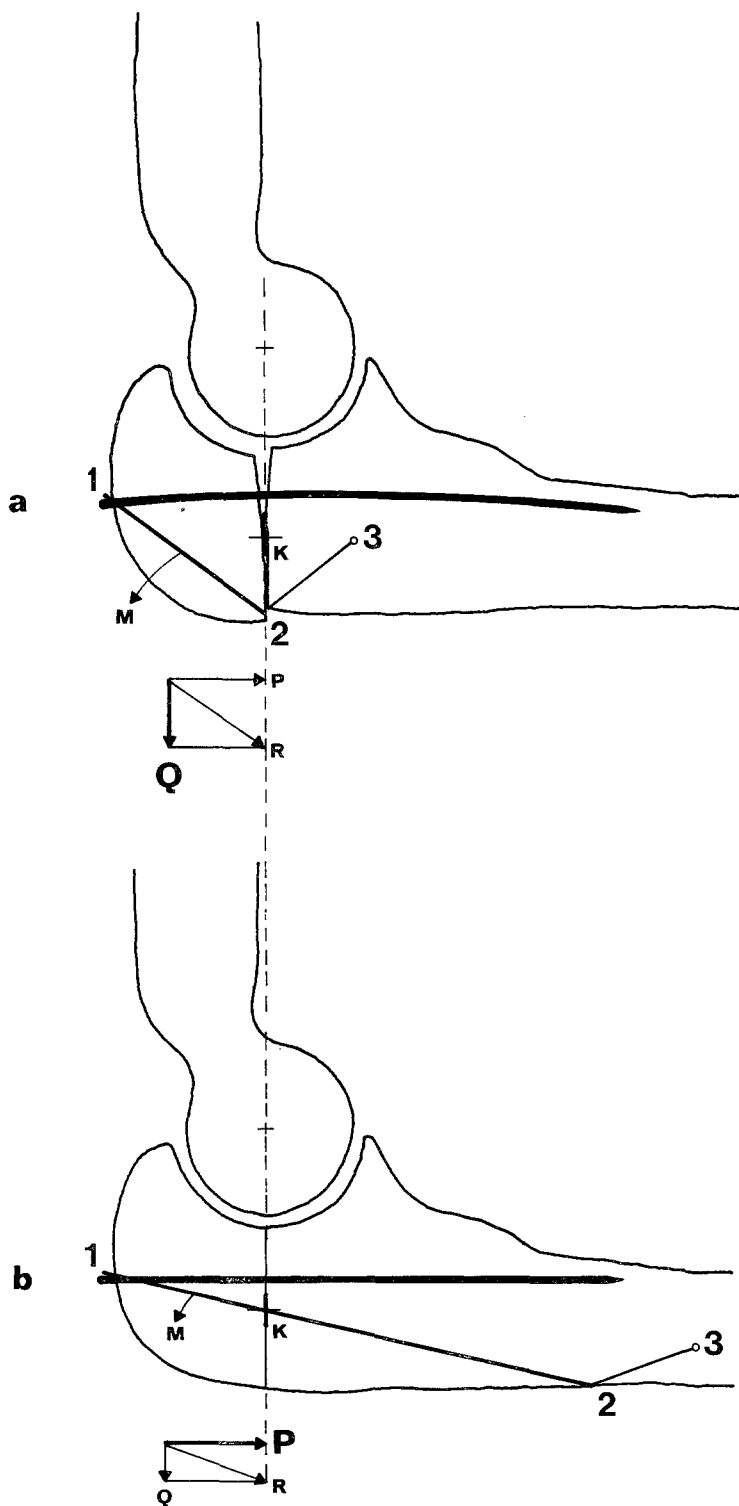


Abb. 7. (a) Exzentrische Ausführung, (b) optimale Metellanordnung bei dorsaler Zuggurtung. Kräfteparallelogramm.  $M$  cerelageabhängiges Moment,  $R$  Resultierende (Richtung der Cerelage),  $Q$  Querkraft im Bruchspalt,  $P$  Druckkraft im Bruchspalt

Kraftangriff erzeugt eigene Querkräfte und Momente, die um so stärker sind, je größer ihre Exzentrizität ist. Sie sind *ständig* wirksam, von umgekehrter Kraft-richtung wie die triceps erzeugten und werden deshalb zu Beginn der Tricepsinnervation abgeschwächt. Die Exzentrizität der Cerclage bedingt, daß der klaffende gelenknahe Frakturbereich *überhaupt nicht* unter Druck gesetzt ist, daß tatsächlich nur ein *kleiner* Bereich dorsal unter Druck adaptiert wird. Die gewünschte zusätzliche Unterdrucksetzung des ventralen Frakturbereichs ist zeitlich nur während der Tricepsbetätigung denkbar. Die volle Wirkung der Zuggurtung ist daher nur phasenhaft gegeben, in der überwiegenden Zeit der Bewegungsruhe bzw. der Beugertätigkeit sind allein die durch die Cerclage erzeugten Kräfte vorhanden. Im Frakturbereich herrscht „Unruhe“.

Die zusätzliche Unterdrucksetzung der Fraktur setzt allerdings eine *isometrische* Tricepsbeübung voraus (Wirkung des Triceps *gegen* die Schwerkraft). Weber simulierte bei *eingespannter* Leichenelle an einer Zuggurtung den Tricepszug durch Gewichte (also isometrische Tricepssimulation) und sah den gelenknahe Bruchspalt verschwinden, was Ausdruck seiner Unterdrucksetzung ist. Die zusätzliche interfragmentäre Unterdrucksetzung durch *isotonische* Tricepsbeübung („Ellbogenbewegung ohne Belastung“), wie sie krankengymnastisch geübt wird, dürfte allerdings nur wenig gewinnbringend sein. Eine isometrische Tricepsbeübung ist aber wegen der Unkontrollierbarkeit der auftretenden Kräfte und der Gefahr der Sprengung der Zuggurtung (sekundäre Fragmentdislokation) nicht zu befürworten.

Die dorsale Zuggurtung ist *kontraindiziert* bei allen Frakturen, deren Bruchfläche über die kritische Grenze der Oberarmachse hinausreicht, und bei allen proximalen Ellenschaftbrüchen, die bisher noch zu den Olecranonfrakturen gerechnet wurden. Bei diesen Brüchen kommen durch *Beugertätigkeit* am *Ellendorsum* Druckspannungen und an der *Ellenventralseite* Zugspannungen zustande, die jeweils durch die erzeugten Spannungen der Cerclage *verstärkt* würden.

#### 8. Optimale Ausführung der dorsalen Zuggurtung (Abb. 7b)

Die beschriebenen Nachteile lassen sich bei der bisher üblichen Ausführung der Zuggurtung *nicht vollkommen ausschalten*, aber durch eine *optimale* Anordnung von Kirschner-Drähten und Cerclage *reduzieren*.

Theoretische Voraussetzung ist, durch Vorspannen ein Spannungsbild zu erzeugen, das im *gesamten* Bruchbereich nur *Druckkräfte* ergibt und so die wechselnden Momente aufnehmen kann. Der gesamte Frakturbereich kann aber nur dann unter Druck gebracht werden, wenn die *Exzentrizität der Cerclage so klein wie möglich* gehalten wird. Die Kraft-richtung der Cerclage *muß* den Kernquerschnitt treffen.

##### a) Die Cerclage

Es lassen sich drei Punkte markieren, an denen der Draht Kontakt mit dem Knochen hat:

1. an den herausragenden Enden der Kirschner-Drähte,
2. an einem dorsalen Ellenpunkt und
3. im Bereich des queren Bohrlochs.

Die Strecke 1—2 (in Abb. 7 dick gezeichnet) wird durch das Anspannen der Cerclage diejenige, die das Olecranon an den Ellenschaft heranzieht. *Ihre* Richtung ist entscheidend für das Unterdrucksetzen des Frakturbereichs. Je stumpf-

winkliger sie den Kernquerschnitt trifft und je zentraler, desto gleichmäßiger ist der interfragmentär erzeugte Druck. Damit sie sicher in den Kernquerschnitt gelangt, muß die dorsale Kreuzungsstelle der 8er-Tour möglichst weit vom Bruchspalt weg nach *distal* gelegt werden (Abb. 7 b). Die Strecke bis zum Bohrloch kann kurz sein.

Grundsätzlich sollte die krafterzeugende Richtung der Cerclage möglichst 90° zur Bruchfläche liegen, weil dann die gesamte Kraft als Druckkraft wirksam und die Entstehung von Querkräften und Momenten verhindert wird. Deshalb muß die Richtung der Bruchfläche beim Legen der Cerclage berücksichtigt werden. Sehr stark von proximal-ventral nach distal-dorsal verlaufende Bruchflächen sind für die Zuggurtung ungeeignet, weil statt Druck überwiegend Querkräfte erzeugt werden (vgl. Schenkelhalsbrüche Pauwels III) und weil die Bruchfläche hierbei in den proximalen Ellenschaftsbereich ragt und damit der schädlichen Beugewirkung ausgesetzt wird. Auch zusätzliche Zugschrauben quer zur Bruchfläche brächten hier keine ausreichende Stabilität.

#### b) Anordnung der Kirschner-Drähte

Die Kirschner-Drähte sollen zur Aufnahme der Querkräfte von ausreichendem Kaliber sein und mit weitem Abstand zueinander parallel eingebohrt werden, damit das Olecranon wie auf einem Schlitten an die Ulna herangezogen werden kann und drehstabil bleibt. Es ist wichtig, sie möglichst *gelenknah* einzubringen, damit die Krafrichtung der Cerclage den Kernquerschnitt treffen kann. Wenn sie zu weit nach dorsal geraten, ist das trotz weit distaler Lage des Bohrloches nicht mehr möglich.

Die optimale Metallage der „klassischen“ Zuggurtung setzt — wie auch experimentell gezeigt werden konnte<sup>3</sup> — den *gesamten* Bruchspalt — unabhängig von der Tricepwwirkung — unter Druck und zeigt die Nachteile der hohen Exzentrizität nur noch abgeschwächt.

Der konsequente Abbau der Exzentrizität der druckerzeugenden Cerclage hat zur Entwicklung der *lateralen* Zuggurtung geführt, die im folgenden Heft dieser Zeitschrift publiziert wird.

Literaturangaben am Ende des III. Teils, s. Seite 205.

Dr. R. Labitzke  
z. Z. Zweckverband-Krankenhaus  
Chirurgische Klinik  
D-4970 Bad Oeynhausen, Wielandstraße 28  
Bundesrepublik Deutschland

<sup>3</sup> Siehe II. Teil.