

**Aus der orthopädischen Klinik König-Ludwig-Haus  
Lehrstuhl für Orthopädie der Universität Würzburg  
Direktor: Professor Dr. med. M. Rudert**

**Bestimmung der optimalen Positionierung eines Kirschner-  
Drahtes zur temporären Transfixation des AC-Gelenks bei  
der operativen Behandlung der AC-Sprengung**

**Inauguraldissertation  
zur Erlangung der Doktorwürde der  
Medizinischen Fakultät  
der  
Julius-Maximilians-Universität Würzburg**

**vorgelegt von  
Miriam Löffler  
aus Kiel**

**Würzburg, August 2022**



**Referent:** Professor Dr. med. F. Gohlke  
**Korreferent:** Professor Dr. med. S. Ergün  
**Dekan:** Professor Dr. med. M. Frosch

**Tag der mündlichen Prüfung 28.08.2023**

**Die Promovendin ist Ärztin**

## **Dem Helden meiner Kindheit**

*11.09.1989 – 04.10.2018*

Du fehlst, großer Bruder!

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Zielsetzung.....	2
<b>2. Grundlagen</b> .....	<b>3</b>
2.1 Anatomie und Biomechanik.....	3
2.1.1 Knöchernes Gerüst.....	3
2.1.2 Kapsel, Bänder, Biomechanik.....	5
2.2 Pathomechanismus der AC-Sprengung.....	6
2.3 Epidemiologie.....	6
2.4 Klassifikation .....	7
2.5 Diagnostik .....	9
2.5.1 Klinische Untersuchung.....	9
2.5.2 Radiologische Aufnahmetechniken und Darstellung .....	10
2.6 Assoziierte Verletzungen.....	11
2.7 Therapie.....	12
2.7.1 Konservative Therapie.....	12
2.7.1.1 Ergebnisse und Prognose .....	13
2.7.2 Operative Therapie .....	14
2.7.2.1 Kirschner-Draht .....	14
2.7.2.2 Hakenplatte .....	16
2.7.2.3 Bosworth-Schraube .....	16
2.7.2.4 TightRope® Technik.....	17
2.7.2.5 Weaver-Dunn Methode.....	19
2.7.2.6 Distale Clavicularesektion.....	20
2.7.2.7 Operativer Goldstandard .....	20
2.7.2.8 Postoperatives Vorgehen .....	21
2.7.2.9 Ergebnisse und Prognose .....	21
2.7.3 Therapie der Rockwood III Verletzung.....	21
<b>3. Material und Methoden</b> .....	<b>25</b>
3.1 Patientenkollektiv .....	25
3.1.1 Einschlusskriterien.....	25
3.1.2 Ausschlusskriterien.....	25
3.1.3 Umfang und Zusammensetzung des Patientenkollektivs .....	27

3.2	Virtuelle Platzierung des Drahtes in optimaler Position.....	28
3.2.1	Definition der optimalen Position.....	28
3.3	Messungen.....	30
3.3.1	Messungen in der 3D Rekonstruktion .....	31
3.3.2	Messungen in multiplanar-koronarer Ansicht .....	34
3.3.3	Messungen in multiplanar-axialer Ansicht.....	35
3.3.4	Messungen in multiplanar-parasagittaler Ansicht.....	37
3.4	Bestimmung des ACG Typs .....	38
3.5	Lage des Austrittspunktes .....	38
3.6	Statistische Datenauswertung .....	39
3.7	OP-Verfahren .....	40
<b>4.</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>43</b>
4.1	Virtuelle Platzierung des Drahtes in optimaler Position.....	43
4.2	ACG Typ nach Moseley.....	46
4.3	Messergebnisse .....	46
4.3.1	Lage des Eintrittspunktes.....	46
4.3.2	Drahtverlauf .....	52
4.3.3	Drahtlänge .....	58
4.3.4	Lage des Austrittspunktes.....	61
<b>5.</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>64</b>
5.1	Material und Methoden.....	64
5.2	Lage des Eintrittspunktes .....	65
5.2.1	Abstand Eintrittspunkt zu Acromionspitze .....	65
5.2.2	Relative Lage Eintrittspunkt am Acromion .....	66
5.2.3	Vergleich beider Methoden .....	68
5.3	Drahtverlauf.....	68
5.3.1	Winkel Draht zur Fossa supraspinata .....	69
5.3.2	Winkel Draht zum Glenoid .....	69
5.3.3	Vergleich beider Methoden .....	69
5.4	Drahtlänge.....	70
5.5	Lage des Austrittspunktes .....	71
5.6	Einfluss des Geschlechts .....	72
5.7	Einfluss des ACG Typs nach Moseley .....	74
5.8	Anatomische Gegebenheiten mit unmöglicher optimaler Drahtplatzierung ..	75

5.9	Empfehlungen zur Durchführung der OP .....	79
5.10	Limitation der Daten .....	80
5.11	Ausblick und langfristige Ziele .....	82
<b>6.</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>83</b>
<b>7.</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>85</b>
	Abkürzungsverzeichnis	
	Abbildungsverzeichnis	
	Tabellenverzeichnis	
	Danksagung	
	Lebenslauf	

### **Anmerkung**

In dieser Dissertation wird der Leserlichkeit halber das generische Maskulinum verwendet. In diesen Fällen werden – sofern nicht explizit anderweitig kenntlich gemacht – selbstverständlich alle Geschlechter gleichermaßen angesprochen.

### 1. Einleitung

Die Acromioclaviculargelenkssprengung (AC-Sprengung) ist eine häufige Verletzung der Schulter mit einer geschätzten Inzidenz von 1,8 pro 10.000 Einwohner im Jahr <sup>[24]</sup>. Bei 40 % aller Verletzungen des Schultergürtels ist das Acromioclaviculargelenk (ACG) involviert, 8 % aller Luxationen des gesamten Körpers betreffen das ACG <sup>[86]</sup>. Mit einem Verhältnis von 8,5:1 sind vorwiegend sportlich aktive Männer unter 40 Jahren mit einer deutlich höheren Inzidenz als Frauen betroffen <sup>[24]</sup>. Ursächlich ist in aller Regel ein adäquates Trauma mit direkter Krafteinwirkung auf das Acromion durch Sturz auf die Schulter <sup>[93]</sup>. Dieser Mechanismus ist zumeist Folge von Sportverletzungen, insbesondere Kontaktsportarten, und Verkehrsunfällen <sup>[24]</sup>.

Bereits Hippokrates (460 – 377 v. Chr.) berichtet 400 v. Chr. von der Schultergelenkssprengung und warnt vor Verwechslungen mit glenohumeralen Verletzungen <sup>[86]</sup>. Etwa 550 Jahre später zog sich der Arzt und Anatom Galen (129 – 199 n. Chr.) beim Ringen eine Luxation des ACGs zu. Er ertrug die Therapie mittels straffer, die Clavicula supprimierender Bandage nicht und wurde somit zum ersten Patienten in der Literatur mit mangelnder Compliance <sup>[21]</sup>.

Seit jeher gehen die Meinungen über die ideale Therapie einer AC-Sprengung auseinander <sup>[5, 95]</sup>. Die Tatsache, dass mehr als 150 verschiedene operative <sup>[10]</sup> und über 50 konservative <sup>[48]</sup> Behandlungsmethoden in der Literatur genannt werden, zeigt, wie kontrovers die optimale Versorgung der Luxation diskutiert wird. So ist bis heute keine einheitliche Therapieempfehlung in der Literatur zu finden.

Zur Wiederherstellung der physiologischen Anatomie und Vermeidung einer verbleibenden (Sub-) Luxation oder chronischen Instabilität mit schmerzhaften Funktionseinbußen sowie ästhetischer Defizite ist vor allem bei hochgradigen Verletzungen die operative Behandlung anzustreben <sup>[5, 67, 81, 84, 97]</sup>. Die temporäre Transfixation des ACGs mittels Kirschner-Draht (K-Draht) wird bei 89 % zufriedenstellenden Ergebnissen als eine zuverlässige Operationsmethode zur Behandlung der AC-Sprengung angesehen <sup>[13, 30, 37, 50, 56]</sup>. Durch eine sehr große anatomische Variabilität des ACGs gestaltet sich die Zielbohrung des Drahtes jedoch auch für erfahrene Operateure regelmäßig schwierig. Diese Schwierigkeiten machen oftmals mehrfache Bohrungen des Drahtes notwendig, bis dieser durch intraoperative Durchleuchtung nachweislich gut liegt. Wiederholte Bohrungen bringen jedoch eine unnötige Schädigung des Gelenks mit sich, die zur Entstehung einer posttraumatischen Arthrose beitragen können. Zudem wird der Knochen geschwächt,

sodass Drahtwanderungen begünstigt werden. Erstrebenswert ist also, dass der Kirschner-Draht bereits bei der ersten Bohrung optimal positioniert ist. Eine ideale Lage ist zudem Voraussetzung für den Erhalt der Rotation der Clavicula um die eigene Achse und mindert das Risiko für ein Ausbrechen des Drahtes sowie eine gefährliche Materialwanderung. Zusätzlich werden so durch kürzere OP-Zeiten sowohl das Risiko für den Patienten als auch anfallende Kosten gesenkt.

### 1.1 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, anhand computertomographischer Daten fundierte Kenntnisse über die optimale Lage eines transartikulären Kirschner-Drahtes zu erlangen und diese in Beziehung zu operativ-anatomischen Landmarken zu setzen. Unter Berücksichtigung von Körpergröße und Körpergewicht sowie Geschlecht und ACG Typ <sup>[65]</sup> des Patienten wird nach normierten Ein- und Austrittspunkten für den Draht gesucht, die eine optimale Lage des K-Drahtes versprechen. Zudem soll untersucht werden, ob die temporäre Transfixation mit einem K-Draht grundsätzlich und bei allen anatomischen Varianten des ACGs möglich ist und in welchen Fällen auf ein anderes Verfahren zurückgegriffen werden sollte.

Durch Kenntnis der Lagebeziehungen kann das operative Vorgehen erleichtert werden, da der Operateur eine kontrolliertere Platzierung vornehmen kann. Hinsichtlich Komplikationsreduktion und funktionellem Outcome können bessere Resultate erzielt werden.

Explizit werden folgende Fragenstellungen untersucht:

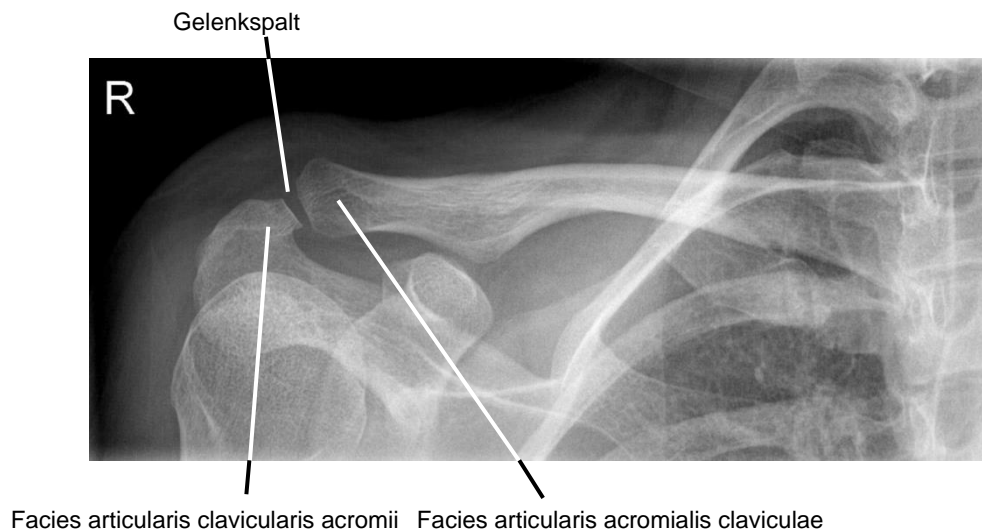
1. Wo im Acromion liegt der Eintrittspunkt des Drahtes bei optimaler Lage?
2. In welchem durchschnittlichen Winkel verläuft der Draht relativ zur Schulter bezogen auf verschiedene anatomische Landmarken?
3. Wie lang ist der durchschnittliche Drahtverlauf?
4. Wo liegt der Austrittspunkt des Drahtes aus der Clavicula bei optimaler Lage?
5. Welche Faktoren beeinflussen den Ein- und Austrittspunkt sowie Verlauf des Drahtes?
6. Unterscheidet sich die optimale Lage des Drahtes bei Frauen und Männern?
7. Ist der optimale Drahtverlauf abhängig vom ACG Typ nach Moseley <sup>[65]</sup>?
8. Bei welchen anatomischen Gegebenheiten ist eine optimale Positionierung des Drahtes nicht möglich?



## 2. Grundlagen

### 2.1 Anatomie und Biomechanik

Das Schulterergelenk wird aus der Facies articularis acromialis der Clavicula und der Facies articularis clavicularis des Acromion gebildet (**Abb. 1**). In seltenen Fällen (8,2 %) bleibt die Verschmelzung der Ossifikationszentren des Acromions entweder vollständig aus oder findet nur unvollständig statt und es existiert ein Os acromiale, das als lateraler Gelenkpartner des ACGs fungiert <sup>[31, 36]</sup>.



**Abb. 1: Acromioclaviculargelenk im Röntgenbild**

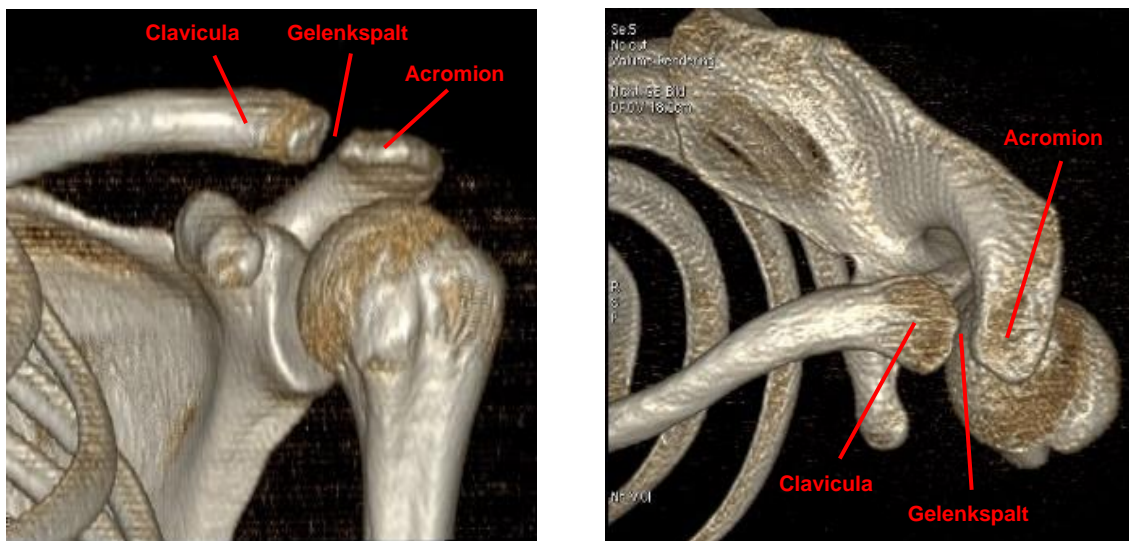
*[mit freundlicher Genehmigung des Rhön-Klinikums Campus Bad Neustadt <sup>[45]</sup>*

Als funktionelles Kugelgelenk erlaubt das Schulterergelenk Bewegungen um drei Achsen. Ihm kommt die tragende Rolle bei der Verbindung der oberen Extremität zum Rumpf durch das Schlüsselbein zu. Gemeinsam mit dem Glenohumeralgelenk, der scapulothorakalen Gleitschicht, dem Sternoclaviculargelenk und dem subacromialen Nebengelenk sorgt das ACG für den großen Bewegungsspielraum der Schulter und des Armes, gleichzeitig garantiert es jedoch eine ausreichende Stabilität des Schultergürtels <sup>[54]</sup>. Deshalb ist eine intakte Anatomie des ACGs unabdingbare Voraussetzung für einen beschwerdefreien Bewegungsablauf der oberen Extremität.

#### 2.1.1 Knöchernes Gerüst (Abb. 2)

Die beiden artikulierenden Gelenkpartner treffen in den meisten Fällen getrennt durch einen sehr variabel ausgeprägten Discus articularis im ACG aufeinander, der die oftmals

inkongruenten Gelenkflächen ausgleicht <sup>[89]</sup>. Der Gelenkspalt wird in der Literatur mit 1 – 4,8 mm Breite angegeben <sup>[15, 104]</sup>.

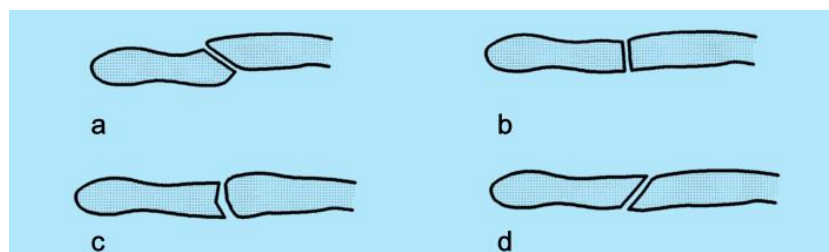


**Abb. 2: Knöchernes Gerüst des Acromioclaviculargelenks**

Dreidimensionale Rekonstruktion computertomografischer Daten in ventraler (links) und kranialer (rechts) Ansicht [Eigene Abbildung]

Moseley <sup>[65]</sup> unterscheidet vier verschiedene ACG Typen anhand der Stellung von Acromion und Clavicula zueinander (vgl. **Abb. 3**):

- a „overriding type“ (ORT): 49 % aller Fälle <sup>[97]</sup> mit schräg nach kaudal weisender Gelenkfläche der Clavicula
- b „vertical type“ (VT): 27 % aller Fälle <sup>[97]</sup> mit vertikal stehenden Gelenkflächen
- c „incongruous type“ (ICT): 21 % aller Fälle <sup>[97]</sup> mit nicht planaren Gelenkflächen
- d „underriding type“ (URT): 3 % aller Fälle <sup>[97]</sup> mit schräg nach kranial weisender Gelenkfläche der Clavicula <sup>[65]</sup>

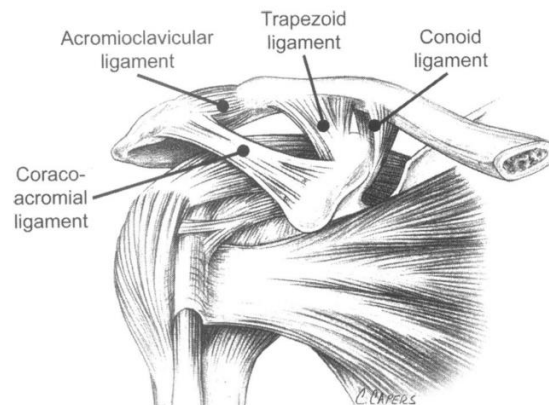


**Abb. 3: ACG Typen nach Moseley <sup>[65]</sup>**

Stellung der Gelenkflächen von Acromion (links) und Clavicula (rechts) zueinander. **a** overriding type, **b** vertical type, **c** incongruous type, **d** underriding type [übernommen aus Klinisch-radiologische Anatomie der Schulterregion, Schmidt und Vahlensieck 2014 <sup>[89]</sup> mit freundlicher Genehmigung des Springer Verlages]

Es wird vermutet, dass insbesondere der overriding type zur AC-Sprengung prädisponiert <sup>[29]</sup> und zudem den Heilungsprozess verzögert <sup>[9]</sup>.

### 2.1.2 Kapsel, Bänder, Biomechanik



**Abb. 4: Ligamentäre Strukturen des ACGs**

[übernommen aus *Acromioclavicular Joint Injuries*, Beim 2000 <sup>[9]</sup> mit freundlicher Genehmigung der National Athletic Trainers Association]

Physiologisch wird das ACG durch mehrere Bänder sowie eine Gelenkkapsel und Muskelsansätze stabilisiert (**Abb. 4**). Die zentrale Rolle als Stabilisatoren spielen sowohl die coracoclaviculären (CC) und acromioclaviculären (AC) Bänder als auch die Deltotrapezoidfaszie (DT-Faszie).

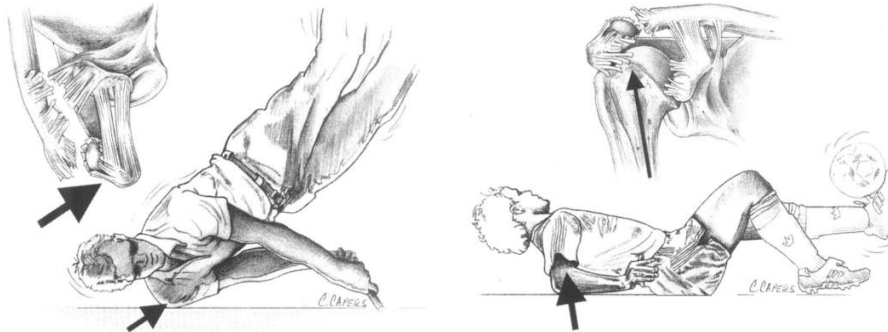
Aus biomechanischer Sicht verstärkt das Acromioclavicularband (AC-Band) die relativ schwache Kapsel <sup>[2, 86]</sup>. Bei dem extraartikulär gelegenen coracoclaviculären Band lassen sich mehrere Anteile unterscheiden: das dorsomedial liegende Lig. conoideum und das etwas lateraler und ventraler liegende Lig. trapezoideum. Für maximale Stabilität verlaufen die Fasern der beiden CC-Bänder senkrecht zueinander und können an ihrer Insertion nahe des lateralen Claviculawinkels ineinander übergehen <sup>[43, 90]</sup>.

Durch experimentelle Beobachtungen konnte Urist 1946 <sup>[97]</sup> den einzelnen Ligamenten ihre Hauptfunktionen zuordnen. Er kam zu dem Ergebnis, dass die CC-Bänder entscheidend für die vertikale Stabilität sind, die AC-Bänder hingegen hemmen hauptsächlich die horizontale Bewegung der Clavicula <sup>[97]</sup>.

Neben den statischen Stabilisatoren um die Ligamente und Kapsel spielen zudem noch der Delta- und der Trapeziusmuskel als dynamische Stabilisatoren eine wichtige Rolle. Sie setzen über die sehr kräftige Deltotrapezoidfaszie am AC-Gelenk an, wobei ihre Fasern in das Lig. acromioclaviculare einstrahlen und dies somit zusätzlich stärken <sup>[43]</sup>. Hauptfunktion der Faszie ist die horizontale Stabilisierung <sup>[33]</sup>.

## 2.2 Pathomechanismus der AC-Sprengung

Es können grundsätzlich zwei Unfallmechanismen unterschieden werden, die zur AC-Sprengung führen (**Abb. 5**). In 85 % der Fälle ist die Verletzung auf ein direktes Trauma mit Sturz auf die superolaterale Schulter bei adduziertem Arm zurückzuführen [77]. Selten ist mit einem Sturz auf den Ellenbogen oder ausgestreckten Arm ein indirektes Trauma ursächlich [8].



**Abb. 5: Pathomechanismus der AC-Sprengung**

*Direktes Trauma (links): Sturz auf superolaterale Schulter bei adduziertem Arm*

*Indirektes Trauma (rechts): Sturz auf Ellenbogen*

*[übernommen aus Acromioclavicular Joint Injuries, Beim 2000 [9] mit freundlicher Genehmigung der National Athletic Trainers Association]*

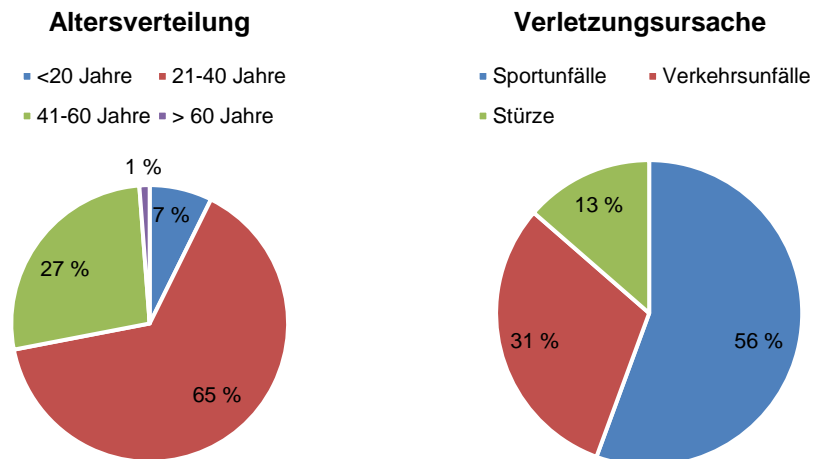
Abhängig von der Stärke des Traumas kommt es zu unterschiedlich stark ausgeprägten Verletzungen von einfachen Distorsionen bis zu kompletten Luxationen.

Aufgrund unterschiedlicher Reißfestigkeit der ligamentären Strukturen ist klassischer Weise zunächst mit einem Zerreißen der AC-Bänder, erst bei höherer Kraftereinwirkung zusätzlich der CC-Bänder zu rechnen [75].

## 2.3 Epidemiologie

Bezogen auf die Allgemeinbevölkerung fanden Chillemi et al. [24] eine Inzidenz von 1,8 AC-Sprengungen im Jahr pro 10.000 Einwohner. Bei einer Altersspanne von 13 bis 69 Jahren liegt der Altersschnitt der Verletzung bei 37,5 Jahren [24] (**Abb. 6**). Die linke und die rechte Schulter sind gleich häufig betroffen [77]. Aufgrund unterschiedlicher Lebensstile und Freizeitbeschäftigungen sind mit 89,5 % aller Patienten Männer weitaus häufiger betroffen als Frauen [24, 56].

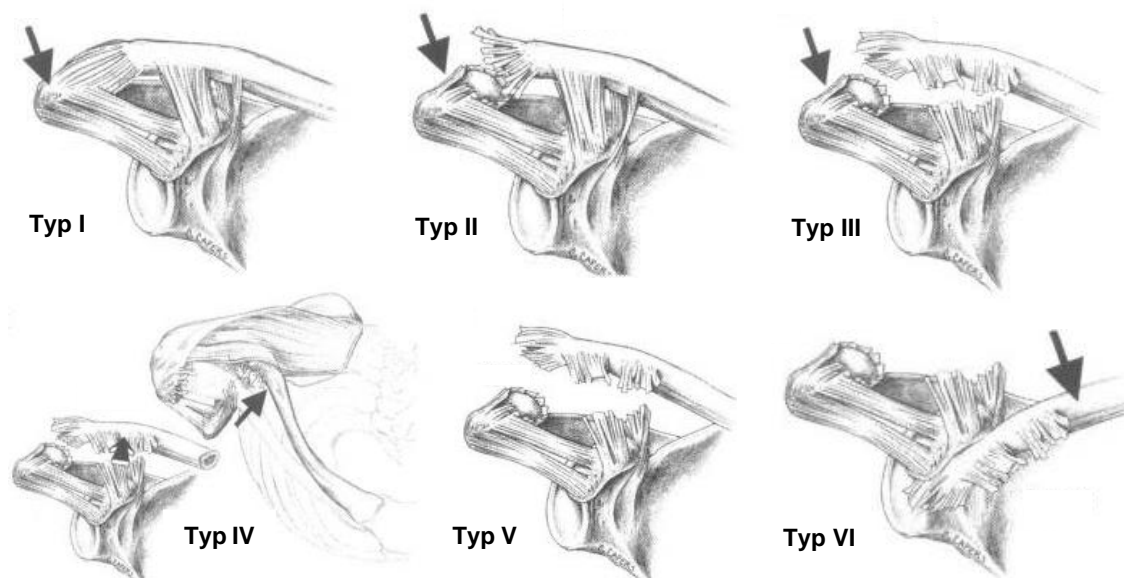
Wie der Unfallmechanismus bereits vermuten lässt, handelt es sich bei der Schulterergelenkssprengung um eine klassische Sportverletzung (43 – 56 % aller Verletzungen). Als weitere häufige Unfallursache werden Verkehrsunfälle (31 % aller Fälle) oder einfache Stürze (13 % aller Fälle) angegeben [24, 29] (**Abb. 7**).



**Abb. 6 (links): Altersverteilung der Patienten mit AC-Sprengung nach Mayr et al. [56]**  
**Abb. 7 (rechts): Häufigkeitsverteilung der Verletzungsursachen nach Dias et al. [29]**

#### 2.4 Klassifikation

Tossy war der erste, der die AC-Sprengung 1963 anhand röntgenmorphologischer Aspekte klassifizierte und abhängig von Ausmaß und Anzahl betroffener Bänder in drei Schweregrade einteilte [96]. 1984 erweiterte Rockwood diese Einteilung auf insgesamt sechs verschiedene Typen (**Abb. 8**) und berücksichtigte im Gegensatz zu Tossy auch die horizontale Instabilität der Clavicula. Diese sechsstufige Klassifikation der AC-Sprengung konnte sich durchsetzen und ist heute allgemein gültig [21] (**Tab. 1**, S. 9).



**Abb. 8: Klassifikation der AC-Sprengung nach Rockwood**  
 [übernommen aus *Acromioclavicular Joint Injuries*, Beim 2000 [9] mit freundlicher Genehmigung der National Athletic Trainers Association]

- *Rockwood I*: Distorsion mit Zerrung/Teilruptur der AC-Bänder bei intakten CC-Bändern ohne Luxation
- *Rockwood II*: Subluxation um bis zur halben Clavicularschafthbreite durch Absinken der oberen Extremität inklusive Scapula gegenüber der Clavicula aufgrund Zerreißens der Kapsel und AC-Bänder bei gegebenenfalls angerissenen CC-Bändern; CC-Abstand nahezu unverändert bei leichter Weitung des AC-Gelenkspalts im Röntgenbild; eventuell Stufenbildung im ACG palpabel, Klaviertastenphänomen durch Suppression der Clavicula auslösbar
- *Rockwood III*: Komplette Luxation um mehr als die Hälfte der Clavicularschafthbreite aufgrund vollständigen Zerreißens der Kapsel, AC- und CC-Bänder, die DT-Faszie ist angerissen; Erweiterung des AC-Gelenkspalts und des CC-Abstandes um  $< 100\%$  im Röntgenbild; klinisch sichtbare Deformität mit Stufenbildung im ACG, Klaviertastenphänomen auslösbar
- *Rockwood IV*: Komplette Luxation der Clavicula nach dorsal in die Fasern des Musculus trapezius oder vollständiges Durchstoßen des Muskelgewebes durch komplettes Zerreißen des Bandapparates (fixierte posteriore Dislokation<sup>[46]</sup>); auffällige horizontale Instabilität bei potentiell kaum vorhandener vertikaler Instabilität. Starke Schmerzen, Bewegungseinschränkungen und Schwellung
- *Rockwood V (Abb. 9)*: Wie Typ III jedoch mit noch stärker ausgeprägter Luxation bei vollständig vom Schlüsselbein abgelöster DT-Faszie; Erweiterung des CC-Abstandes um mehr als  $100\%$ ; manuell nicht behebbare Stufenbildung im ACG



**Abb. 9: Rockwood V Verletzung**

*Stark vergrößerter coracoclaviculärer Abstand (rot) der rechten gegenüber der linken Schulter durch Absinken von Scapula und oberer Extremität (weißer Pfeil) bei insuffizienter Verbindung zwischen Clavicula und Acromion aufgrund eines zerrissenen Bandapparates des ACGs [mit freundlicher Genehmigung des Rhön-Klinikums Campus Bad Neustadt<sup>[45]</sup>*

- *Rockwood VI*: Sehr seltene Verletzung ( $1\%$  aller AC-Sprengungen<sup>[24]</sup>) durch erhebliche Krafteinwirkung auf die laterale Clavicula mit fixierter Luxation der

Clavicula unter den Processus coracoideus <sup>[60]</sup>; klinisch fehlende Konturen der Clavicula im Schulterbereich bei auffällig prominent palpablem Acromion. Da Typ VI nach Rockwood grundsätzlich Folge eines erheblichen Traumas ist, sind assoziierte Verletzungen nicht unüblich (siehe **2.6**).

**Tab. 1: Klassifikation der AC-Sprengung nach Rockwood**  
*AC: acromioclavicular, CC: coracoclavicular, DT: deltotrapezoid*

Rockwood	AC-Bänder	CC-Bänder	DT-Faszie	Ausmaß Luxation
<b>Typ I</b>	Zerrung	Intakt	Intakt	Keine Luxation
<b>Typ II</b>	Gerissen	Angerissen	Intakt	Subluxation um < 50 %
<b>Typ III</b>	Gerissen	Gerissen	Angerissen	Vollständig um < 100 %
<b>Typ IV</b>	Gerissen	Gerissen	Abgerissen	Vollständig nach dorsal
<b>Typ V</b>	Gerissen	Gerissen	Abgerissen	Vollständig um > 100 %
<b>Typ VI</b>	Gerissen	Gerissen	Abgerissen	Vollständig unter Coracoid

## 2.5 Diagnostik

### 2.5.1 *Klinische Untersuchung*

Bei hochgradigen Luxationen ist oft die klassische Schutzhaltung der betroffenen Extremität auffällig. Bei näherer Begutachtung ist auf Asymmetrien der Schultern und einen scheinbaren Hochstand des Schlüsselbeins zu achten. Tatsächlich ist vielmehr durch die insuffiziente Verbindung zwischen Schlüsselbein und Schulterblatt der restliche Schultergürtel rund um die Scapula und obere Extremität nach kaudal abgesackt <sup>[18]</sup>. Zumeist liegen begleitend Weichteilschwellungen und Hämatome vor <sup>[46]</sup>.

Ab einem Rockwood Typ II ist eine Stufenbildung zwischen Clavicula und Acromion zu tasten. Durch Druck auf die laterale Clavicula kann das sogenannte Klaviertastenphänomen ausgelöst werden: die Clavicula wird hierbei manuell reponiert, schnell nach Loslassen jedoch wieder zurück in ihre (sub-) luxierte Stellung. Dieses Phänomen ist bei Rockwood Typ II und III in der Regel positiv und hilft somit bei der Differenzierung zu den Typen IV – VI, bei denen eine manuelle Reponierung der Clavicula nicht möglich ist <sup>[93]</sup>. Für den Patienten angenehmer ist jedoch das umgekehrte Klaviertastenphänomen, bei dem die Clavicula fixiert und mit der anderen Hand vorsichtig der Arm am 90° gebeugten Ellenbogen angehoben wird <sup>[33]</sup>. Beim Rockwood Typ IV ist die dorsale, beim Typ VI die kaudale Verlagerung der Clavicula zu tasten <sup>[43]</sup>.

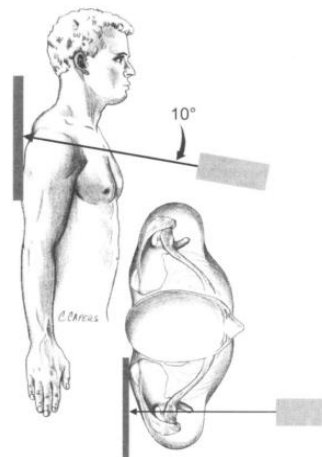
Bei der Prüfung des Bewegungsumfangs ist die schmerzhaft Abduktion besonders bei Elevation von 120° bis 180° typisch für eine AC-Sprengung <sup>[43]</sup>. Wichtig ist zudem die

Beurteilung von horizontaler Instabilität, die durch eine ipsilaterale Adduktion provoziert und so gut palpiert werden kann [46].

### 2.5.2 Radiologische Aufnahmetechniken und Darstellung

Zur exakten Klassifikation der (Sub-) Luxation sowie zum Ausschluss von knöchernen Begleitverletzungen sind Röntgenaufnahmen in mehreren Ebenen unabdingbarer Bestandteil der Diagnostik [54].

Zu den Standardaufnahmen bei Instabilität des Schulterergelenks zählt die sogenannte Zanca-Aufnahme, hierbei handelt es sich um eine a. p. Aufnahme mit ca. 10 – 15° nach kranial gerichtetem Strahlengang (**Abb. 10**). Auf diese Weise ist das ACG frei einsehbar und besser zu diagnostizieren [104].

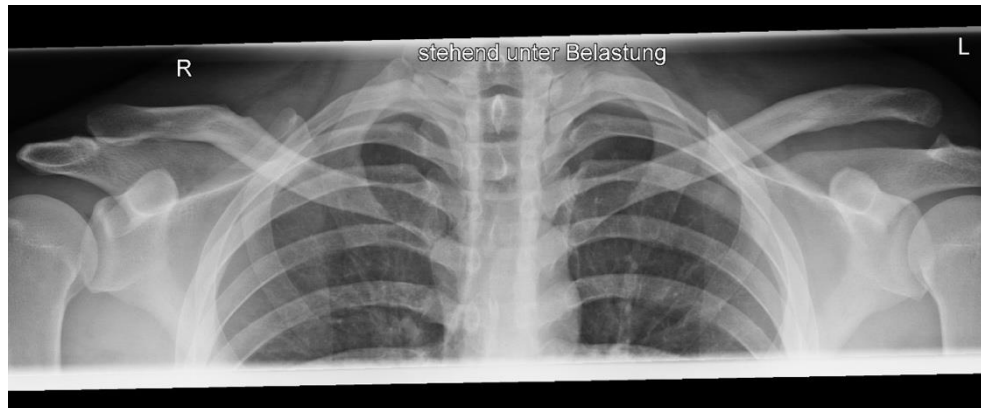


**Abb. 10: Strahlengang bei der Röntgenaufnahme nach Zanca**

*Leicht nach kranial gerichteter Strahlengang zur überlagerungsfreien Darstellung des ACGs [übernommen aus Acromioclavicular Joint Injuries, Beim 2000 [9] mit freundlicher Genehmigung der National Athletic Trainers Association]*

Ziel einer Panoramabelastungsaufnahme (a. p. Darstellung beider Schultern unter Belastung, **Abb. 11**) ist es, das relative Höherentreten der Clavicula gegen die Scapula zu verstärken und so die Diagnose einer AC-Sprengung zu verifizieren. Es werden hierbei beide Handgelenke des Patienten mit 5 – 15 kg schweren Gewichten belastet [18, 46]. Beurteilt wird in erster Linie der CC-Abstand im Vergleich zur gesunden Seite, um die Verletzung nach Rockwood zu klassifizieren [7]. Ein nahezu seitengleicher CC-Abstand spricht für Typ II, bei Typ III findet sich eine Erweiterung um bis zu 100 %, höhere Werte weisen auf Typ V hin [86]. Zudem kann sich auch ein verbreiteter Gelenkspalt finden [86, 97].





**Abb. 11: Panoramabelastungsaufnahme einer Rockwood Typ III Verletzung**  
 Vergrößerung des coracoclaviculären Abstandes der linken Schulter unter Belastung [mit freundlicher Genehmigung des Rhön-Klinikums Campus Bad Neustadt <sup>[45]</sup>]

## 2.6 Assoziierte Verletzungen

Häufig sind neben den ligamentären Schäden auch knöcherne Verletzungen wie eine Fraktur der lateralen Clavicula, des Coracoids oder Acromions zu finden <sup>[9, 97]</sup> (**Abb. 12**). In bis zu 30 % der Fälle können zudem intraartikuläre glenohumerale Läsionen festgestellt werden <sup>[77]</sup>. Besonders häufig sind SLAP- (superior labrum anterior posterior) und Rotatorenmanschetten-Läsionen <sup>[1, 76, 77]</sup>.



**Abb. 12: Kombinierte AC-Sprengung und Clavículaschaftfraktur**  
 [übernommen aus Midshaft clavicle fracture and acromioclavicular dislocation: A case report of a rare injury, Yeh, Miller et al. 2009 <sup>[103]</sup> mit freundlicher Genehmigung des Elsevier Verlages]

## 2.7 Therapie

*„There has been more controversy concerning the acromioclavicular joint regarding treatment for injuries and complications than that for any other joint of its size in the body.“*

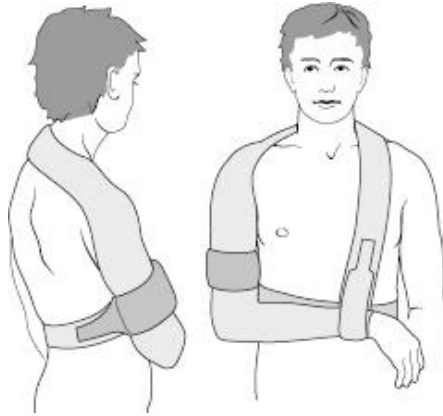
**C.R. Rowe (1988)** <sup>[88]</sup>

Rowe spielt hier auf die kontroversen Diskussionen über die Behandlung an, die die akute ACG Luxation schon lange begleiten. Nicht nur die grundsätzliche Entscheidung zwischen konservativer und operativer Therapie sondern auch die Debatte bezüglich der besten Operationsmethode ist nach wie vor in der Literatur und auf Kongressen gegenwärtig <sup>[26, 62, 64]</sup>.

Weitreichende Einigkeit besteht darin, bei Rockwood I und II Verletzungen konservativ zu therapieren sowie bei Rockwood IV – VI Verletzungen die operative Versorgung anzustreben. Was die Rockwood III Luxation jedoch betrifft, gibt es derzeit keine eindeutige Therapieempfehlung. Allerdings ist hier aktuell ein Trend in Richtung nicht-operative Therapie zu verzeichnen <sup>[4, 10, 52, 93]</sup>, präferierten 2001 laut Umfragen noch 84 % der deutschen Schulterchirurgen die operative Versorgung der Rockwood III Verletzung <sup>[6]</sup>, sind es 2015 nur noch 67 – 74 % <sup>[4]</sup>.

### 2.7.1 Konservative Therapie

Mit über 50 verschiedenen Methoden gibt es eine Vielzahl an Varianten, eine Schultergelenkssprengung konservativ zu behandeln <sup>[48, 97]</sup>. Nach aktuellem Stand umfasst diese eine adäquate Schmerztherapie, Kühlung sowie vorübergehende Immobilisation für gewöhnlich mittels Gilchristverband <sup>[46]</sup> (**Abb. 13**). Dieser sollte, je nach Rockwood Typ, für eine (Typ I) bis zu vier Wochen (Typ III) getragen werden <sup>[6, 44, 52]</sup>. Es folgt eine möglichst frühe Mobilisation zur Regeneration der Beweglichkeit <sup>[93]</sup>. Anschließend beginnt das Krafttraining der dynamischen Stabilisatoren des ACGs. Hierdurch soll zusätzlich auch die Scapula stabilisiert und eine mitunter schmerzhafte Scapuladyskinesie verhindert werden, die häufig Folge einer chronifizierten ACG-Instabilität ist <sup>[35]</sup>. Die physiotherapeutische Rehabilitation dauert dabei idealerweise bis zu 12 Wochen an <sup>[23]</sup>. Auf Kontaktsport und schweres Heben sollte zunächst noch verzichtet werden, da eine nicht vollständig ausgeheilte niedriggradige Verletzung bei erneutem Trauma in einen Typ III nach Rockwood übergehen kann <sup>[93]</sup>.



**Abb. 13: Gilchristverband**

*[übernommen aus Kindertraumatologie, Worel und Slongo 2016 <sup>[102]</sup> mit freundlicher Genehmigung des Springer Verlages]*

Als weitere Optionen stehen seltener verwendete Methoden wie Retentionsbandagen oder Tapeverbände (z. B. mit Dacron® Tape) zur Verfügung <sup>[6]</sup>. Inzwischen obsolet sind redressierende Therapien wie brachioclaviculäre Schlingen und verschiedene Gipsvarianten wie z. B. der Thoraxabduktionsgips. Diese können die Haut über der prominenten lateralen Clavicula stark schädigen und führen zu keiner dauerhaften Reposition der Clavicula <sup>[9, 52, 97]</sup>.

#### 2.7.1.1 Ergebnisse und Prognose

Insgesamt hat die konservativ behandelte (niedriggradige) AC-Sprengung eine sehr gute Prognose. Obwohl durch eine konservative Therapie nicht die physiologische Anatomie des ACGs wiederhergestellt wird und eine Subluxation des Gelenks verbleibt, sind die Ergebnisse in den meisten Fällen zufriedenstellend <sup>[84]</sup>. Laut Phillips et al. sowie Bannister et al. erreichen mindestens 87 % aller Patienten nach konservativer Therapie einer Tossy III Verletzung ein zufriedenstellendes Ergebnis <sup>[5, 81]</sup>. Jedoch entwickeln zwischen 12 und 27 % aller Patienten eine chronische Instabilität, die im späteren Verlauf eine Operation notwendig macht <sup>[5, 67, 97]</sup>. Zudem wird berichtet, dass bei bis zu 50 % aller konservativ behandelten Patienten innerhalb von 3,5 Jahren eine posttraumatische Arthrose des ACGs entsteht <sup>[11, 81]</sup>.

Ist nach 6 Wochen konservativer Therapie noch keine angemessene Besserung eingetreten, sollten assoziierte Verletzungen des Glenohumeralgelenks ausgeschlossen werden <sup>[2]</sup>. Eine persistierende, dann meist horizontale Instabilität stellt eine Indikation zur OP, beispielsweise nach Weaver und Dunn inklusive lateraler Clavicularesektion (siehe **2.7.2.5**), dar <sup>[54]</sup>.

Schmerzen nach konservativer Therapie können ein Hinweis auf posttraumatische Arthrose sein <sup>[44]</sup>. Therapeutisch kommt hier eine arthroskopische oder offene Clavicularesektion in Frage (siehe **2.7.2.6**). Ergebnisse der lateralen Clavicularesektion sind meist sehr gut, nur in seltenen Fällen – vor allem wenn zu viel Knochen reseziert wurde – kommt es zu persistierenden Schmerzen oder Instabilität <sup>[72]</sup>. Daher sollte eine maximale Resektion von ca. einem Zentimeter, die bereits 8 % des Trapezoid Bandes und nahezu die vollständige Kapsel mitbetrifft, nicht überschritten werden <sup>[16]</sup>.

### 2.7.2 Operative Therapie

Die operative Behandlung ist derzeit Therapie der Wahl für Rockwood IV – VI sowie selektiv bei Typ III Verletzungen <sup>[52]</sup>. Indikationen für eine Operation bei einer Rockwood III Verletzung sind vor allem Probleme bei Überkopfarbeiten, kosmetische Gründe bei hochstehender Clavicula, assoziierte Verletzungen, die einer Operation bedürfen, offene Verletzungen sowie Gefahr einer Hautnekrose durch den Druck der schwer dislozierten Clavicula <sup>[2, 28]</sup> (siehe auch **Tab. 3**, S. 24).

Es hat sich eine Vielzahl verschiedener Operationsmethoden (derzeit über 150 <sup>[10]</sup>) mit diversen Modifikationen zur Versorgung der AC-Sprengung etabliert. Keine dieser Varianten kann jedoch die physiologische Stabilität eines intakten Gelenks wiederherstellen <sup>[28]</sup>.

#### 2.7.2.1 Kirschner-Draht (**Abb. 14**)

Hauptinteresse dieser Arbeit ist die operative Versorgung der AC-Sprengung mittels Kirschner-Draht zur temporären Transfixation des Gelenks. Murray hat diese heute mehrfach abgewandelte Technik 1940 erstmalig durchgeführt <sup>[69]</sup>. Hierbei wird ein 1,6 bis 2,5 mm dicker K-Draht mit oder ohne Gewinde <sup>[39, 52, 56]</sup> von lateral in das Acromion eingebohrt, der zentral durch das ACG verläuft und in der reponierten Clavicula verankert wird. Die Clavicula wird zusätzlich mit einem Fadensystem am Coracoid befestigt. Es existiert ein breites Spektrum an verfügbaren Nahttechniken mit resorbierbaren (z. B. PDS) und nicht-resorbierbaren Systemen (z. B. Tight-Rope) <sup>[56]</sup>. Bei offenen Eingriffen können auch die DT-Faszie, AC-Bänder sowie die Gelenkkapsel erreicht und genäht werden <sup>[56]</sup>.

Der Draht sollte nach 6 – 8 Wochen wieder entfernt werden. Wichtig ist, dass die Abduktion und Anteversion bis zu diesem Zeitpunkt auf maximal 70° limitiert ist, da es sonst zu Komplikationen wie Materialbrüchen beziehungsweise einer Lockerung oder Wanderung kommen kann <sup>[56, 87]</sup>. Es gibt Berichte über Drähte, die aus dem ACG bis in die

Lunge, die großen Gefäße oder den Spinalkanal gewandert sind [57, 71, 91]. Die Inzidenz für wandernde oder gebrochene Drähte wird mit 4 bis zu 17 % angegeben [39, 50]. Ein laterales Umbiegen des Drahtes kann das Wandern vermindern, jedoch nicht vollständig unterbinden [99]. Selbst bei einem Bruch oder Wandern des Drahtes werden jedoch oft gute oder exzellente Resultate erzielt [56].

Den potentiell gefährlichen Komplikationen dieser Methode stehen jedoch auch große Vorteile gegenüber, die insgesamt deutlich überwiegen. Bei keiner anderen Operationstechnik ist es möglich, die anatomische Stellung der Gelenkpartner in allen drei Ebenen so exakt einzustellen [54]. Eine dauerhafte Reponierung der Clavicula kann so in 71,9 – 94,3 % der Fälle erreicht werden [56, 73]. Leidel et al. zeigten, dass eine temporäre K-Draht Fixierung des ACGs nicht nur kurz- und mittelfristig zufriedenstellende Ergebnisse erzielt, sondern auch sehr gute Langzeitresultate – insbesondere hinsichtlich eines funktionellen Outcomes [50, 51]. Dies bestätigten auch Lateur et al., die in der klinischen Untersuchung durchschnittlich 12,5 Jahre postoperativ nur bei ca. jedem zehnten Patienten eine signifikant seitendifferente Schulterfunktion fanden [49]. Eine ACG Arthrose wurde in Langzeit-Follow-up Untersuchungen nicht signifikant häufiger beobachtet als in nicht operierten Schultern. Sie verblieb zudem meistens asymptomatisch [49].

Ferner ist es der Clavicula – vorausgesetzt der K-Draht verläuft zentral durch das Gelenk hindurch – nach wie vor möglich, um ihre eigene Achse zu rotieren [56], was eine wichtige Bewegung im ACG darstellt. Die Verwendung von zwei K-Drähten für eine bessere Stabilität, wie sie von einigen Autoren bevorzugt wird, verhindert diesen Bewegungsspielraum jedoch [39, 50].

Zuletzt imponiert dieses Operationsverfahren auch aus ökonomischer Sicht durch sehr geringe Materialkosten [39, 98].



**Abb. 14: Kirschner-Draht**

*[mit freundlicher Genehmigung des Rhön-Klinikums Campus Bad Neustadt [45]]*

### 2.7.2.2 Hakenplatte (**Abb. 15**)

Die sogenannte Hakenplatte wurde ursprünglich für die Behandlung der lateralen Claviculafraktur entwickelt, wofür sie heute noch immer Verwendung findet <sup>[2]</sup>. Die Platte wird kranial auf der Clavicula verschraubt und reicht transartikulär mit einem Hakenfortsatz unter das Acromion, wodurch die kraniale Luxation der Clavicula unterbunden wird. Nach 8 – 12 Wochen ist eine Materialentfernung notwendig, um eine Schädigung des Acromions durch den Hakenfortsatz zu verhindern <sup>[52, 54]</sup>. Zu den Komplikationen zählen eine ACG Arthrose, Verbiegen und Brechen der Platte sowie Schädigung des empfindlichen Subacromialraums durch den Hakenfortsatz mit Ossifikationen und seltener Acromionfrakturen <sup>[2, 52, 54, 92]</sup>.

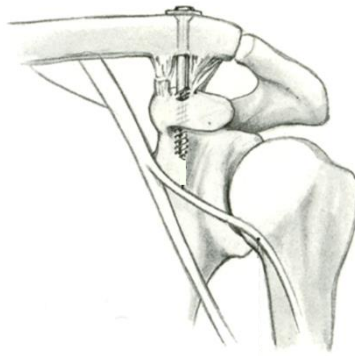


**Abb. 15: Hakenplatte**

*[übernommen aus Diagnostik und Therapie der akuten Luxation des Acromioclaviculargelenks, Martetschläger, Kraus et al. 2019 <sup>[55]</sup> mit freundlicher Genehmigung des Deutschen Ärzteverlages GmbH]*

### 2.7.2.3 Bosworth-Schraube (**Abb. 16**)

Das Prinzip der 1941 von Bosworth eingeführten und nach ihm benannten Schraube ist die coracoclaviculäre Fixierung <sup>[19]</sup>. Die Zugschraube wird dabei von kranial durch die Clavicula eingebracht und nach kaudal in der Basis des Proc. coracoideus verankert. Da die Schraube den Bewegungsumfang des ACGs stark einschränkt, handelt es sich um eine sehr rigide Konstruktion. Hierdurch wirken hohe Kräfte auf die Bosworth-Schraube, was zu Komplikationen wie Materialbrüchen, Lockerung, Wanderung der Schraube (Materialversagen in bis zu 31 % aller Fälle) oder Frakturen von Clavicula oder Coracoid führen kann <sup>[2, 20, 42]</sup>. Nach ca. 8 Wochen muss die die Schraube in einer erneuten Operation entfernt werden <sup>[52]</sup>. Heutzutage findet dieses OP-Verfahren kaum noch Anwendung <sup>[3]</sup>.



**Abb. 16: Bosworth Schraube**

*[übernommen aus Die Technik der korakoklavikulären Verschraubung bei Rupturen des akromioklavikulären Gelenks, Poigenfürst 1990 <sup>[82]</sup> mit freundlicher Genehmigung des Springer Verlages]*

#### 2.7.2.4 TightRope® Technik (**Abb. 17**)

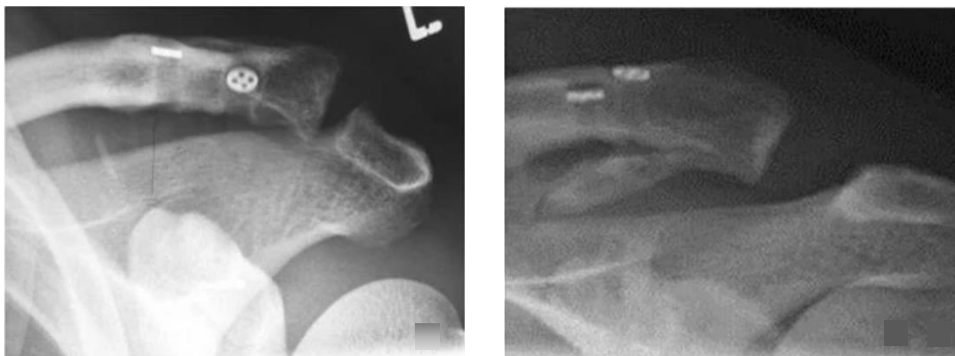
Die TightRope® Variante ist eine coracoclaviculäre Fixierungstechnik mittels einer variablen Anzahl von Metallknöpfen zur Verankerung der Fäden im Knochen, sogenannte Endo- oder Flip Buttons <sup>[100]</sup>. Ein Vorteil dieses Verfahrens ist, dass die Operation minimalinvasiv erfolgen kann und somit auch eine Arthroskopie des Glenohumeralgelenks erfolgen kann, um weitere mit dem Trauma assoziierte Verletzungen auszuschließen und gegebenenfalls gleich zu adressieren. Im Gegensatz zu den meisten anderen Verfahren fällt zudem keine zweite Operation zur Materialentfernung an <sup>[39]</sup>.



**Abb. 17: TightRope® Technik**

*[übernommen aus Biomechanics and treatment of acromioclavicular and sternoclavicular joint injuries, Bontempo und Mazzocca 2010 <sup>[17]</sup> mit freundlicher Genehmigung der BMJ Publishing Group Ltd.]*

Nach Versorgung der Luxation mittels TightRope® kommt es allerdings regelmäßig zu erneuten, verbleibenden (Sub-) Luxationen in ca 25 % aller Fälle [61, 74, 94]. Auftretende Subluxationen sind meistens auf einen Sägeeﬀekt des TightRope® Bandes mit konsekutiver Erweiterung des Bohrlochs vor allem in der Clavicula bis hin zu Osteolysen zurückzuführen. Hieraus resultiert eine Schwächung der superioren Clavicula-Corticalis bis zur Osteolyse. Dies führt nach einiger Zeit zwangsläufig zum Durchbruch des Flip Buttons durch die Corticalis mit Verlagerung nach intraossär, wodurch es folglich zur Re-subluxation des ACGs kommt [47, 105] (**Abb. 18**). Im Gegensatz zur Subluxation ist die vollständige Reluxation hingegen in Fällen eines Materialversagens beobachtet worden. Ursächlich hierfür scheint eine ebenfalls aus dem Sägeeﬀekt resultierende Materialschwächung und anschließendes Materialversagen zu sein [105]. Insbesondere fehlplatzierte Bohrkanäle scheinen die beiden oben genannten Eﬀekte und somit erneute Luxationen des ACGs zu begünstigen [32, 66, 105].



**Abb. 18: Intraossäre Verlagerung von Flip Buttons nach Durchbruch durch die Corticalis**  
 [übernommen aus *Arthroscopically assisted stabilization of acute high-grade acromioclavicular joint separations in a coracoclavicular Double-TightRope technique: V-shaped versus parallel drill hole orientation*, Kraus, Haas et al. 2013 [47] mit freundlicher Genehmigung des Springer Verlags]

Als weiterer Nachteil gilt es zu nennen, dass bei einem arthroskopischen Vorgehen eine Naht von Ligamenten und DT-Faszie in der Regel nicht möglich ist [54]. Der Heilungsprozess des Bandapparates kann ohne Naht allerdings über ein Jahr andauern, wobei anschließend noch immer eine hohe Verletzungsanfälligkeit besteht [105]. Bei TightRope® basierten Rekonstruktionen kann außerdem lediglich eine vertikale, nicht hingegen eine horizontale Stabilität erreicht werden [40, 105]. In der Literatur finden sich zudem Hinweise auf eine Begünstigung von Infektionen durch das TightRope® Bandmaterial [25, 38]. Anders als das bei alternativen OP-Verfahren verwendete Material verbleibt dies auf Dauer,

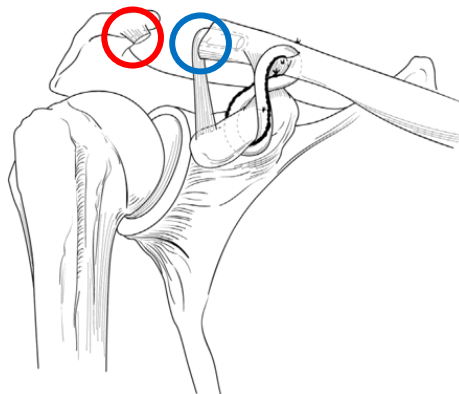


da es weder in einer Zweitoperation entfernt wird noch resorbierbar ist. Somit kann es auch mit großer Latenz nach der Operation noch zu Infektionen kommen [12].

Aufgrund der den Knochen schwächenden Bohrtunnel oder mangelnder Patientencompliance beziehungsweise hoher Belastung, die wiederum den zuvor genannten Sägeeffekt verstärkt [105], kommt es zudem in einigen Fällen zu Frakturen der Clavicula (11 %) oder des Coracoids (20 %) [61]. Ferner sind auch wenige Fälle bekannt, in denen der Plexus brachialis oder die Arteria axillaris unter der Operation aufgrund ihrer topografischen Nähe zum Coracoid beschädigt wurden [2, 27, 52, 93].

#### 2.7.2.5 Weaver-Dunn Methode (**Abb. 19**)

Eine 1972 von Weaver und Dunn [99] entwickelte Operationsmethode beruht auf dem Bandtransfer des coracoacromialen (CA) Ligaments in Kombination mit einer lateralen Clavicularesektion und ist derzeit der Versorgung der chronischen ACG Instabilität vorbehalten. Das CA-Band hat keinen Einfluss auf die Stabilität des intakten ACGs [97] und kann somit im Verlauf verändert werden. Es wird vom Acromion abgetragen und an der Clavicula fixiert, um den Verlauf der CC-Bänder zu simulieren. Aufgrund eines anderen anatomischen Verlaufs als bei den natürlichen CC-Bändern kann die Weaver-Dunn Operation nur ca. einen Viertel der biomechanischen Stärke der eigentlichen CC-Bänder bieten [58]. Folge sind häufig erneute Subluxationen. Dennoch ist die Weaver-Dunn Technik mit 94 % guten und sehr guten Ergebnissen eine etablierte Methode und das Operationsverfahren der Wahl zur Behandlung der chronischen ACG Instabilität [78].

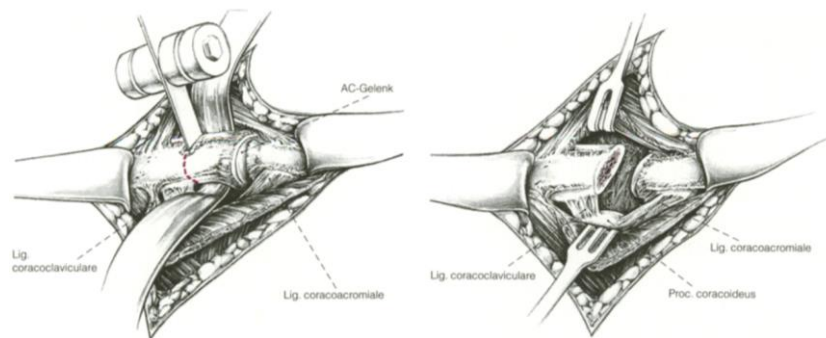


**Abb. 19: Weaver-Dunn Methode**

*Abtragung des AC-Bandes vom Acromion (rot) und Fixierung an resezierter Clavicula (blau)  
[übernommen aus Biomechanics and treatment of acromioclavicular and sternoclavicular joint  
injuries, Bontempo und Mazzocca 2010 [17] mit freundlicher Genehmigung der BMJ Publishing  
Group Ltd.]*

### 2.7.2.6 Distale Clavicularesektion (**Abb. 20**)

Die distale Clavicularesektion wird heutzutage lediglich noch in Kombination mit anderen Techniken angewandt [23]. Die Methode wurde 1941 von Mumford ursprünglich zur Versorgung der chronischen AC-Luxation entwickelt [68]. Die Clavicularesektion kann jedoch eine schmerzhafte Instabilität des Gelenks verursachen oder verschlechtern, sodass sie nur sparsam [93] und in Kombination mit anderen Operationstechniken durchgeführt werden sollte [23].



**Abb. 20: Distale Clavicularesektion**

*[übernommen aus Die akromiale Klavikuläresektion, Wirth 1989 [101] mit freundlicher Genehmigung des Springer Verlages]*

### 2.7.2.7 Operativer Goldstandard

Der Goldstandard zur operativen Behandlung der AC-Sprengung konnte bis jetzt noch nicht festgelegt werden. Weaver und Dunn beschrieben 1972, welche Charakteristika ein solches optimales Operationsverfahren aufweisen müsste [99]:

1. Lockerung und Wanderung von Material ausgeschlossen
2. Erreichen einer dauerhaften Reposition der Clavicula
3. Keine Folgeschäden wie degenerative Veränderungen im ACG
4. Einmalige Operation ohne Bedarf einer Zweitoperation (Materialentfernung oder Revision)
5. Kosmetisch vertretbares Endergebnis
6. Rasche Regeneration der vollen Funktionalität der Schulter [99]

Derzeit kann keine Operationsmethode alle Anforderungen erfüllen – eine ideale Operationstechnik zur Behandlung der Schulterreckgelenkssprengung existiert demnach schlichtweg (noch) nicht [10, 28, 34, 85].

### 2.7.2.8 Postoperatives Vorgehen

Das postoperative Vorgehen ist abhängig davon, welche Art der Fixierung stattgefunden hat. Bei den meisten Operationstechniken ähnelt sich jedoch die Nachbehandlung. Der Patient trägt für ca. sechs Wochen einen Gilchristverband (**Abb. 13**) und beginnt frühzeitig mit passiver Mobilisation <sup>[28, 39]</sup>. Mit etwas Verzögerung kann er mit eingeschränkten aktiven Bewegungen beginnen, wobei jedoch Abduktion und Flexion in der Schulter zunächst 70 – 90° und Außenrotation bei maximaler Abduktion 30° nicht übersteigen sollten, um die Zugkräfte auf die Bandrekonstruktion, respektive temporären Fixationen zu reduzieren <sup>[29, 50]</sup>.

Durch assistierte Mobilisation im Rahmen von Physiotherapie kann meist wieder ein voller Bewegungsumfang erreicht werden <sup>[29]</sup>. Für ca. 10 – 12 Wochen nach der Operation sollte der Patient weiterhin auf Überkopfarbeiten, schweres Heben von über 2,5 kg sowie Schieben und Ziehen schwerer Gegenstände verzichten. Anschließend können aktives Krafttraining (langsamer Kraftaufbau bereits ab der siebten Woche möglich <sup>[52, 93]</sup>) und Sport wieder aufgenommen werden <sup>[39, 46, 50]</sup>.

### 2.7.2.9 Ergebnisse und Prognose

Die Ergebnisse operativer Therapie sind abhängig von dem angewandten Operationsverfahren. Phillips et al. fanden in ihrer Metaanalyse zu 87 % zufriedenstellende Resultate nach Behandlung der AC-Sprengung mit verschiedenen Operationsmethoden <sup>[81]</sup>. Eine dauerhafte Reposition der Clavicula kann durch eine Operation allerdings nicht gewährleistet werden, regelmäßig werden erneute Subluxationen auch nach operativer Behandlung beobachtet <sup>[22, 34]</sup>.

### 2.7.3 *Therapie der Rockwood III Verletzung*

Seit jeher begleitet eine lebhafte Diskussion „konservativ oder operativ?“ die Therapie der AC-Sprengung einer Rockwood III Verletzung (**Tab. 2**). Befürworter operativer Versorgung begründen dies mit der Wiederherstellung der Anatomie durch Reposition der Clavicula sowie besseren kosmetischen Ergebnissen <sup>[56, 79]</sup>. Dem gegenüber argumentieren Befürworter der konservativen Therapie, dass eine Operation keine funktionellen Vorteile bringt und bei höheren Komplikationsraten und unnötigem Operationsrisiko nur zu einem ebenbürtigen Endergebnis führt <sup>[83, 95]</sup>. Aufgrund mangelnder, dieser Diskussion zugrundeliegender und qualitativ hochwertiger Studien sowie eindeutiger Evidenz ist es bisher noch nicht möglich, sich auf eine Therapie als Goldstandard zu einigen <sup>[63]</sup>.

**Tab. 2: Vor- und Nachteile von operativer und konservativer Therapie der AC-Sprengung**

	<b>Operative Therapie</b>	<b>Konservative Therapie</b>
<b>Vorteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Regeneration von Bewegungsumfang und Kraft</li> <li>- Weitestgehende Schmerzfreiheit</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wiederherstellung der Anatomie</li> <li>- Gute kosmetische Ergebnisse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geringe Komplikationsrate</li> <li>- Rasche Rehabilitation</li> </ul>
<b>Nachteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Operationsrisiken, postoperative Komplikationen in 6 – 20 % der Fälle (Infektionen, Materialversagen) <sup>[48, 81]</sup></li> <li>- Längerfristige Rehabilitation</li> <li>- Erneute Operation zur Materialentfernung in 59 % der Fälle <sup>[81]</sup></li> <li>- Begünstigung von Arthrose und Verkalkung der coracoclaviculären Bänder</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chronische (v. a. horizontale) Instabilität in 12 – 27 % der Fälle <sup>[5, 67, 97]</sup></li> <li>- Definitiv verbleibende (Sub-) Luxationsstellung</li> <li>- Eventuell kosmetische Defizite/sichtbare Deformitäten in 27 – 37 % der Fälle <sup>[81, 84]</sup></li> </ul>

In Metaanalysen und Studien von Phillips et al., Beitzel et al. und Bannister et al. erzielten bei insgesamt vergleichbaren Resultaten Operationen in 84 – 97 % und konservative Therapie in 85,5 – 100 % der Fälle zufriedenstellende Ergebnisse <sup>[5, 10, 48, 81]</sup>. Signifikante Unterschiede gibt es jedoch bei der Zeit bis zur Rückkehr zu Alltagsaktivitäten, Arbeit und Sport. Hier benötigten Patienten, die sich einer Operation unterzogen, im Schnitt doppelt so lange wie Patienten nach konservativer Therapie. Eine nichtoperative Therapie begünstigt demnach eine raschere Rehabilitation <sup>[5, 10, 18, 48, 81]</sup>.

Zu den postoperativen Komplikationen zählen Infektionen in 6 – 15 % sowie Versagen der verwendeten Fixierungsmaterialien in 20 % aller Fälle <sup>[48, 81]</sup>. Meist hat ein Materialversagen jedoch keinerlei Einfluss auf das Endergebnis und führt gleichwohl zu guten bis exzellenten Resultaten <sup>[48]</sup>. Dass eine erneute Operation im weiteren Verlauf der Behandlung notwendig wird, ist unter primär operierten Patienten mit 59 % rund zehnmal häufiger als unter den konservativ versorgten Patienten (6 %) <sup>[81]</sup>. Dies lässt sich jedoch leicht mit der oftmals zwangsläufig folgenden Materialentfernung erklären und ist somit nur in wenigen Fällen auf eine Komplikation zurückzuführen.

Durch beide Therapieoptionen kann eine weitestgehende Schmerzfreiheit erreicht werden. Der Großteil aller Patienten regeneriert zudem auch einen vollständigen Bewegungsumfang und Kraft, wobei diese Regeneration bei konservativ therapierten Patienten sehr viel schneller erfolgt <sup>[18, 48, 81]</sup>.

Trotz oftmals erreichter Beschwerdefreiheit zeigt eine klinisch radiologische Auswertung der Ergebnisse beider Gruppen nur in wenigen Fällen tatsächlich unauffällige Befunde. Gerade unter nicht chirurgisch versorgten Patienten verbleibt die Clavicula nahezu grundsätzlich in subluxierter oder luxierter Stellung, da konservativ keine Reponierung erreicht werden kann <sup>[10, 41, 54, 84]</sup>. Allerdings kann diese auch durch eine Operation nicht dauerhaft garantiert werden. Operativ behandelte Patienten weisen jedoch mit 20 – 50 % eine deutlich geringere Wahrscheinlichkeit von erneut aufgetretenen (Sub-) Luxationen auf <sup>[10, 22, 44]</sup>.

Hingegen scheinen Arthrose des ACGs sowie Verkalkung der CC-Bänder durch eine Operation begünstigt zu werden und treten in dieser Gruppe dreifach häufiger auf als nach konservativer Therapie <sup>[22]</sup>. Durch Studien konnte allerdings nachgewiesen werden, dass weder eine posttraumatische Arthrose noch Verkalkung der Bänder oder eine persistierende (Sub-) Luxation einen signifikanten Einfluss auf das klinische Endergebnis oder das Befinden des Patienten haben <sup>[22, 41, 48]</sup>. Auch eine potentiell sichtbare Deformität durch die verbleibende luxierte Stellung des ACGs (bei 27 – 37 % der konservativ behandelten Patienten <sup>[81, 84]</sup>) wird nur selten als störend empfunden <sup>[22, 84]</sup>.

Sollte jedoch nach Versagen primär konservativer Therapie eine sekundäre Operation notwendig werden, so sind die Ergebnisse hier signifikant schlechter als nach primärer Operation. Ist also davon auszugehen, dass eine konservative Behandlung nicht zu zufriedenstellenden Resultaten führt, sollte frühzeitig eine Operation geplant werden <sup>[63, 87]</sup>. Nach derzeitigem Stand (2015) präferieren 73 % aller deutschen Chirurgen die operative Therapie einer Rockwood Typ III Verletzung <sup>[4]</sup>. Interessanterweise befürworten in anderen Ländern teilweise deutlich weniger Ärzte eine Operation, z. B. lediglich 14 – 19 % in den USA (2007) <sup>[70]</sup>.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass bei Rockwood III Verletzungen weder eine eindeutige Empfehlung für eine Operation noch für eine konservative Therapie ausgesprochen werden kann. Eine Entscheidung sollte grundsätzlich nach gründlicher Aufklärung des Patienten und unter Berücksichtigung seiner Bedürfnisse (beispielsweise sportliche Aktivität) als Einzelfallentscheidung getroffen werden (**Tab. 3**).

**Tab. 3: Indikationen zur operativen und konservativen Therapie der AC-Sprengung**

<b>Indikationen zur operativen Therapie</b> <small>[2, 28]</small>	<b>Indikationen zur konservativen Therapie</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rockwood IV – VI Verletzung</li> <li>- Versagen konservativer Therapie zu erwarten</li> <li>- Probleme bei Überkopfarbeiten</li> <li>- Schultersteife</li> <li>- Kosmetische Aspekte bei hochstehender Clavicula</li> <li>- Assoziierte Verletzungen, die einer Operation bedürfen</li> <li>- Offene Verletzungen</li> <li>- Gefahr einer Hautnekrose durch Druck stark dislozierter Clavicula</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rockwood I – II Verletzung</li> <li>- Rockwood III Verletzung mit Dislokation &lt; 2 cm <sup>[5]</sup></li> <li>- Rockwood III Verletzung mit Notwendigkeit einer raschen Rehabilitation (professionelle Sportler etc.) <sup>[59]</sup></li> </ul>

### 3. Material und Methoden

#### 3.1 Patientenkollektiv

##### 3.1.1 *Einschlusskriterien (Tab. 4)*

Für die Durchführung dieser Studie wurden von der Klinik für Schulterchirurgie des Rhön-Klinikums Campus Bad Neustadt zusammengestellte CT Datensätze eines anonymisierten Patientenkollektivs zur Verfügung gestellt. Angegeben waren lediglich Körpergröße, Körpergewicht, Alter sowie Geschlecht des zugehörigen Patienten. Es waren Fälle zusammengestellt worden, bei denen in dem Zeitraum von 2010 bis 2015 aufgrund rezidivierender glenohumeraler Luxationen eine daraus resultierende offene Stabilisierung des Glenohumeralgelenks erfolgt war. Alle ACGs der verwendeten Computertomografien waren röntgenmorphologisch intakt. Dieses Kollektiv wurde für die vorliegende Arbeit gewählt, da die von einer Schulterluxation betroffene Patientengruppe (Altersdurchschnitt 37,4 Jahre, 74 % der Betroffenen männlichen Geschlechts<sup>[53]</sup>) epidemiologisch dem von AC-Sprengungen betroffenen Patientenkollektiv (Altersdurchschnitt 37,5 Jahre, 89 % männlichen Geschlechts<sup>[24]</sup>) ähnelt und somit hinsichtlich Alter und Geschlecht repräsentativ für Patienten mit AC-Sprengung ist. Aus der Kongruenz dieser Patientengruppen ergibt sich die Möglichkeit, bereits vorhandene CT Datensätze gesunder ACGs oben genannter Patientengruppe zu verwenden.

In dem inbegriffenen Zeitraum waren insgesamt 120 Patienten mittels Beckenkammspan zur Stabilisierung des Glenohumeralgelenks in der Klinik für Schulterchirurgie des Rhön-Klinikums operiert worden (**Tab. 5**). Für eine objektivierbare Vergleichbarkeit sowie Kompatibilität des radiologischen Programmes waren von diesen 120 Patienten nur diejenigen in das zu untersuchende Kollektiv aufgenommen worden, deren Schulter CT aus der Klinik für Radiologie des Rhön-Klinikums Campus Bad Neustadt stammte. Dies traf auf insgesamt 84 Patienten zu. Bei 10 Patienten war ein Revolution CT der Firma GE Healthcare (Chalfont, UK) und bei 74 Patienten das Somatom Sensation 16 der Firma Siemens (Berlin, Deutschland) verwendet worden.

##### 3.1.2 *Ausschlusskriterien (Tab. 4)*

Um eine Beeinflussung der Messungen durch Störfaktoren zu verhindern, waren zudem als primäre Ausschlusskriterien vorherige Verletzungen des ACGs, ipsilaterale Voroperationen oder Frakturen, Os acromiale, Tumoren, systemische Störungen des Knochenstoffwechsels/Calciumhaushalts, Erbleiden mit Affektion des Knochens/Bindegewebes, systemisch-inflammatorische Erkrankungen sowie dauerhafte systemische Einnahme

von Steroiden festgelegt worden. Weitere 16 Patienten wurden durch diese Kriterien aus dem Patientenkollektiv ausgeschlossen (**Tab. 5**). In den meisten dieser Fälle war ein Os acromiale oder eine Fraktur – vornehmlich der lateralen Clavicula oder multiple Frakturen des Schultergürtels – ursächlich für den Ausschluss.

**Tab. 4: Ein- und Ausschlusskriterien für das Patientenkollektiv**

Einschlusskriterien	Ausschlusskriterien
<ul style="list-style-type: none"> <li>- OP in der Klinik für Schulterchirurgie des Rhön-Klinikums Campus Bad Neustadt zwischen 2010 und 2015 zur offenen Stabilisierung des Glenohumeralgelenks aufgrund rezidivierender Schulterluxationen</li> <li>- CT der Schulter aus der Klinik für Radiologie des Rhön-Klinikums Campus Bad Neustadt</li> </ul>	<p><i>Primäre Ausschlusskriterien</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vorherige Verletzungen des ACGs</li> <li>- Ipsilaterale Voroperation</li> <li>- Os acromiale</li> <li>- Ipsilaterale Fraktur</li> <li>- Tumoren</li> <li>- Systemische Störungen des Knochenstoffwechsels/Calciumhaushalts</li> <li>- Erbleiden mit Affektion des Knorpels/Bindegewebes</li> <li>- Systemisch-inflammatorische Erkrankungen</li> <li>- Dauerhafte systemische Einnahme von Steroiden</li> </ul> <p><i>Sekundäres Ausschlusskriterium</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Messungen beeinträchtigender, ausgeprägter Glenoiddefekt</li> </ul>

Bei der Mehrzahl der Fälle lag eine bilaterale CT der Schultern vor (56,1 % der CTs), sodass in diesen Fällen die gesunde, nicht von der Schulterluxation und Bankart-Läsion betroffene Seite für die Vermessung gewählt wurde. Sofern nur eine einseitige CT Aufnahme vorlag und die betroffene Schulter vermessen wurde, führte es nachträglich zum Ausschluss, wenn der Glenoiddefekt potentiell die das Glenoid einbeziehende Messung (siehe **3.3.2**) beeinträchtigt hätte. Da allerdings bei der knöchernen Bankart-Läsion zu meist das anteriore Glenoid beschädigt ist, hatte dies für gewöhnlich keinen Einfluss auf die Messungen, für die lediglich das superiore und inferiore Glenoid von Interesse ist. Weitere zwei Patienten wurden dennoch aufgrund ausgeprägter Glenoidschäden aus dem Patientenkollektiv ausgeschlossen (**Tab. 5**).



**Tab. 5: Größe Patientenkollektiv nach Anwendung aller Ein- und Ausschlusskriterien**

	Anzahl ausgeschlossener Patienten	Größe Patientenkollektiv
<b>Vorauswahl</b>		<b>120</b>
Auswärtige CT Aufnahme	36	
Primäre Ausschlusskriterien	16	
Sekundäres Ausschlusskriterium	2	
<b>Summe Ausschlusskriterien</b>	<b>54</b>	
<b>Finales Kollektiv</b>		<b>66</b>

### 3.1.3 Umfang und Zusammensetzung des Patientenkollektivs (**Tab. 6-7**)

Nach Anwendung aller Ein- und Ausschlusskriterien umfasst das endgültige Kollektiv anonymisierte CT Datensätze von 66 Patienten, darunter Schultern von 59 Männern (89,39 %) und 7 Frauen (10,61 %).

In 41 Fällen wurden Computertomografien der linken, in 25 Fällen der rechten Schulter für die Messungen verwendet. Für die Messung lagen 37 CT Datensätze der intakten Schulter vor, in 29 Fällen wurde auf die Aufnahmen der durch einen Glenoiddefekt betroffenen Schulter zurückgegriffen. Bei einer Altersspanne von 16 bis 57 Jahren liegt der Altersschnitt bei 30,8 Jahren (SD 9,5 Jahre) zum Zeitpunkt der CT Aufnahme (**Tab. 6**). Die Zusammensetzung der Patientengruppe dieser Arbeit im Vergleich zu dem von Chillemi et al. erhobenen durchschnittlichen Patientenkollektiv der AC-Sprengung<sup>[24]</sup> ist **Tabelle 6** zu entnehmen. Das Alter der Patienten ist auf den jeweiligen Zeitpunkt der CT Aufnahme bezogen und auf zwei Dezimalstellen gerundet angegeben.

**Tab. 6: Vergleich eigenes Patientenkollektiv mit Patientenkollektiv der AC-Sprengung<sup>[24]</sup>**

	Eigenes Patientenkollektiv	Patientenkollektiv AC-Sprengung <sup>[24]</sup>
<b>Altersschnitt</b>	30,82 Jahre	37,5 Jahre
<b>Altersspanne</b>	16 – 57 Jahre	13 – 69 Jahre
<b>Geschlecht ♂: ♀</b>	8,4:1	8,5:1
<b>Seite</b>	37,9 % rechts 62,1 % links	53,3 % rechts 46,7 % links

**Tabelle 7** gibt einen Überblick über Körpergröße und Körpergewicht des Kollektivs.

**Tab. 7: Körpergröße und Körpergewicht des Patientenkollektivs**<sup>1</sup>Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov

SD: Standardabweichung

	Mittelwert	Minimum	Maximum	SD	Mittelwert ♂	Mittelwert ♀	Normalverteilung <sup>1</sup>
<b>Körpergröße [cm]</b>	177,97	158	192	7,46	179,42	165,71	0,055
<b>Körpergewicht [kg]</b>	79,80	51	115	13,20	81,88	62,29	0,200

### 3.2 Virtuelle Platzierung des Drahtes in optimaler Position

Zur Bestimmung der optimalen Position des Kirschner-Drahtes für die temporäre Fixierung des ACGs wurden multiplanare und dreidimensionale CT Rekonstruktionen der intakten ACGs verwendet. Als radiologische Software für sämtliche Messungen diente AW VolumeShare 5 (AW 4.6) der Firma GE Healthcare (Little Chalfont, UK). Das Programm gibt die Messergebnisse auf eine Dezimalstelle gerundet an. Die Schichtdicke der vorliegenden computertomographischen Daten betrug 2,0 mm.

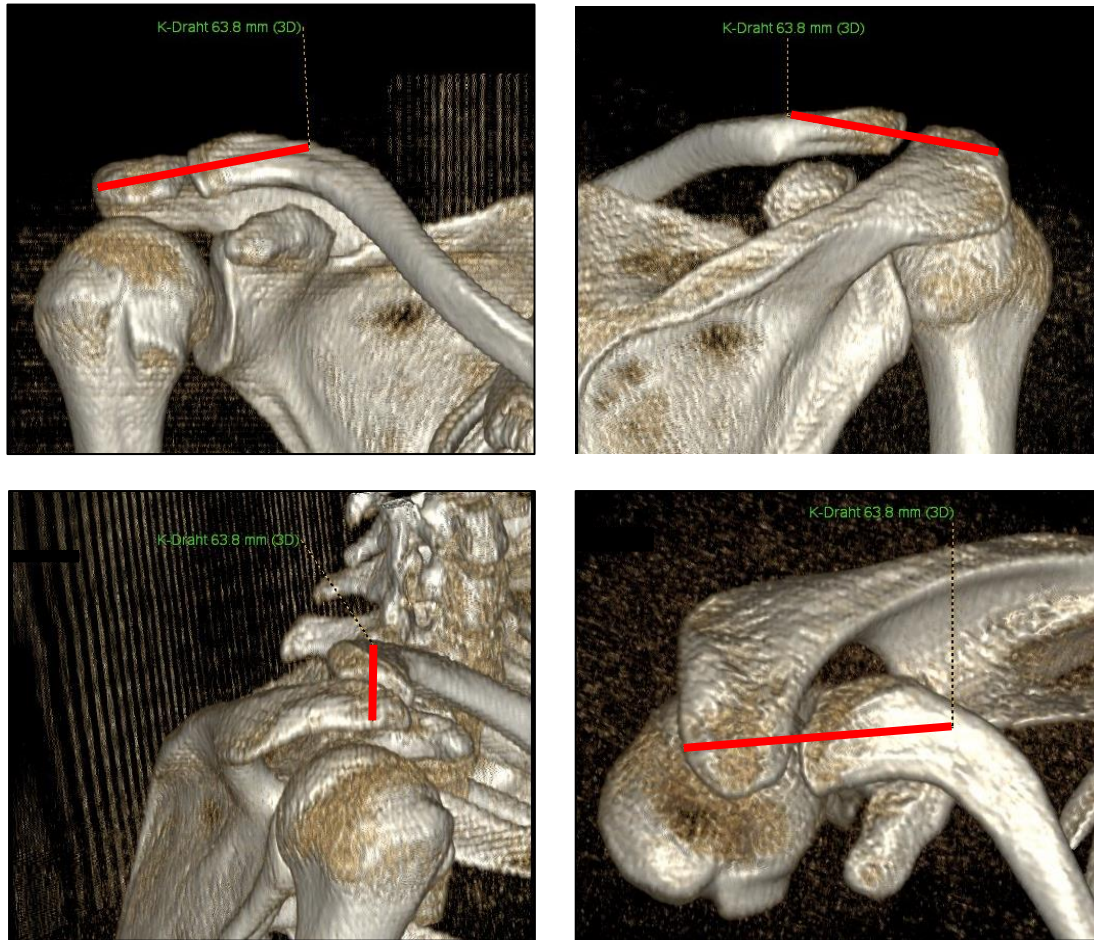
Zunächst wurde der Draht virtuell in der 3D Rekonstruktion (Volume Viewer) optimal positioniert (siehe **3.2.1, Abb. 21**). Zur Simulation des Drahtverlaufs wurde eine Entfernungsmessung verwendet, die zugleich die Länge des gesamten Drahtes anzeigt.

#### 3.2.1 *Definition der optimalen Position*

Die optimale Lage des Drahtes (**Abb. 21**) wurde wie folgt definiert:

- Lateraler Eintritt ins Acromion und Verlauf mittig in Acromionebene
- Mindestabstand des Eintrittspunktes zur Acromionspitze von 1 cm
- Zentraler Durchtritt durch das ACG <sup>[56]</sup>
- Möglichst senkrechter Eintritt in Clavicula und Verlauf mit lateraler Claviculalängsachse
- Mindestens 2 cm Drahtlänge in Clavicula <sup>[14, 80]</sup>
- Austritt aus Clavicula kranial bis dorsal etwa auf Höhe der CC-Bänder und des lateralen Claviculawinkels

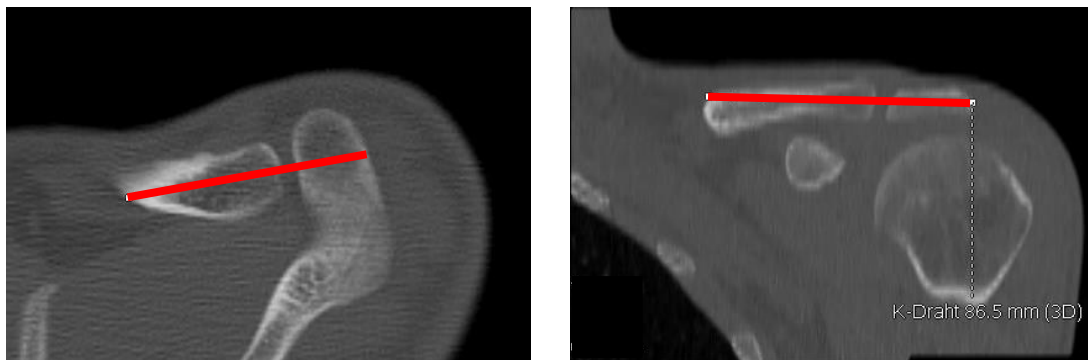
Nur bei Erfüllung aller genannten Lageparameter kann der K-Draht einerseits eine ausreichende Stabilität gewährleisten ohne die Gefahr eines Ausbrechens des Drahtes und andererseits die Rotationsfähigkeit der Clavicula um die eigene Achse im ACG erhalten bleiben <sup>[56]</sup>.



**Abb. 21: Optimale Position eines Kirschner-Drahtes**

Ventrale, dorsale, laterale und kraniale Ansicht zur Darstellung des Drahtverlaufs (rot) [Eigene Abbildung]

Im Anschluss an die Platzierung des Drahtes wurde in den multiplanaren Schnittbildern die Lage des Drahtes kontrolliert (**Abb. 22**), die Erfüllung der einzelnen Kriterien überprüft und bei Bedarf der Drahtverlauf optimiert.



**Abb. 22: Drahtverlauf im multiplanar-axialen und -koronaren Schnittbild**

[Eigene Abbildung]

**Tab. 8: Übersicht aller bei jedem CT Datensatz durchgeführten Messungen**  
 ICT: incongruous type, ORT: overriding type, URT: underriding type, VT: vertical type

**Nummer CT Datensatz:**

Geschlecht	<input type="checkbox"/> weiblich	<input type="checkbox"/> männlich
Alter zum Zeitpunkt CT [Jahre]		
Körpergröße [cm]		
Körpergewicht [kg]		
Vermessene Schulter	<input type="checkbox"/> links <input type="checkbox"/> verletzte	<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> gesunde Schulter
ACG Typ nach Moseley <sup>[65]</sup>	<input type="checkbox"/> ORT	<input type="checkbox"/> URT <input type="checkbox"/> ICT <input type="checkbox"/> VT

<b>3D Rekonstruktion</b>	Länge gesamter Kirschner-Draht [mm]	
	Acromioclaviculärer Winkel [°]	
	Länge laterale Clavicula [mm]	
	Winkel Draht zur Fossa supraspinata [°] Öffnungsrichtung Winkel	<input type="checkbox"/> medial <input type="checkbox"/> lateral
<b>Koronar</b>	Winkel Draht zum Glenoid [°]	
	Winkel Draht zu lat. Claviculagelenkfläche [°]	
<b>Axial</b>	Länge Draht in Acromion [mm]	
	Länge Draht in Clavicula [mm]	
	Abstand Eintrittspunkt zu Acromionspitze [mm]	
	Länge Acromion [mm]	
<b>Parasagittal</b>	Abstand Draht zu Oberrand Acromion [mm]	
	Abstand Draht zu Unterrand Acromion [mm]	
	Abstand Draht zu Oberrand Clavicula [mm]	
	Abstand Draht zu Unterrand Clavicula [mm]	
	Abstand Draht zu Vorderrand Clavicula [mm]	
	Abstand Draht zu Hinterrand Clavicula [mm]	

### 3.3 Messungen

Zunächst wurden die drei Ebenen in der multiplanaren Darstellung an den Drahtverlauf angepasst, sodass die koronare und axiale Ebene parallel und die sagittale Ebene orthogonal zum Drahtverlauf eingestellt waren. Eine Übersicht über sämtliche durchgeführte Messungen bietet **Tabelle 8**.

Es gilt bei allen Abstandsmessungen zu beachten, dass der Draht in der verwendeten radiologischen Software stets als Gerade ohne Durchmesser dargestellt ist. Folglich entsprechen die angegebenen Abstände nicht denen von der Oberfläche der Cortikalis bis zur Oberfläche eines realen Drahtes, sondern bis zum Drahtzentrum. Da ein Kirschner-Draht einen Durchmesser von ca. 2,0 mm hat <sup>[56]</sup>, muss berücksichtigt werden, dass die tatsächlichen Abstände zum Draht in alle Richtungen real etwa 1 mm geringer sind.

#### 3.3.1 *Messungen in der 3D Rekonstruktion*

##### Länge gesamter K-Draht (Abb. 23)

Die Gesamtlänge des Drahtes ist automatisch durch die zur Simulation des Drahtverlaufs verwendete Entfernungsmessung angegeben.

Die Angabe der Drahtlänge bezieht sich auf die Länge des Drahtes vom Eintrittspunkt im Acromion bis zum Austrittspunkt aus der Clavicula. Da der in der Operation eingebrachte K-Draht jedoch lateral am Acromion überstehen und zur Verhinderung gefährlicher Materialwanderung zwingend umgebogen werden sollte <sup>[99]</sup>, muss die tatsächliche Drahtlänge entsprechend länger sein. Die zusätzliche Länge des lateral überstehenden Drahtes wurde in dieser Arbeit vernachlässigt, die angegebene Drahtlänge entspricht somit der Länge des Bohrkanals.

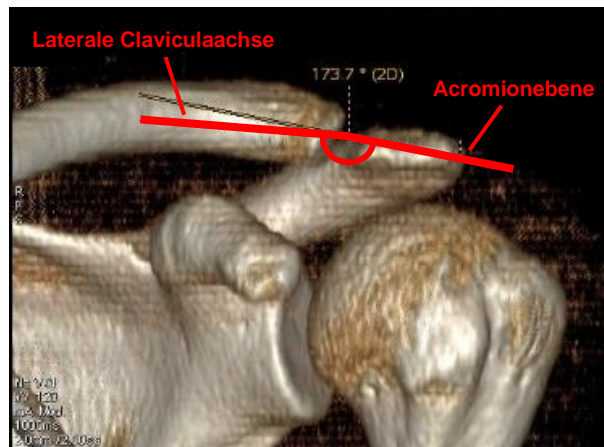


**Abb. 23: Länge des gesamten Kirschner-Drahtes**

[Eigene Abbildung]

Acromioclaviculärer Winkel (Abb. 24)

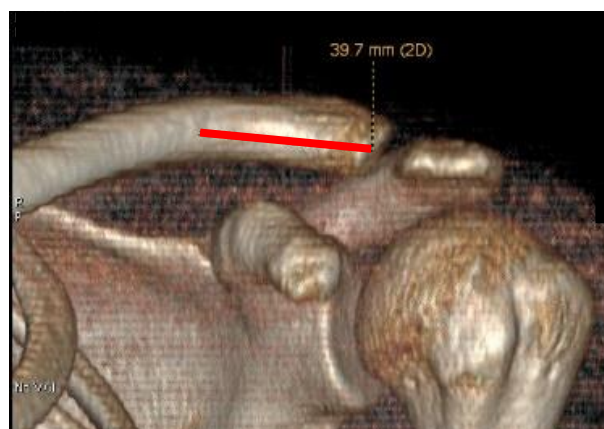
Der Winkel zwischen der lateralen Clavicula (Claviculaabschnitt zwischen Facies articularis acromialis und lateralem Claviculawinkel) und der Acromionebene wurde in dem 3D Bild zweidimensional in frontaler Ansicht auf das ACG (frei einsehbarer Gelenkspalt) gemessen. Als Orientierung zur Lage der Acromionebene wurde hierfür der Drahtverlauf herangezogen, da dieser definitionsgemäß stets innerhalb der Acromionebene liegt. Der Draht bildete demnach den lateralen Schenkel des Winkels, der mediale Schenkel entspricht der Achse der lateralen Clavicula.



**Abb. 24: Acromioclaviculärer Winkel**  
[Eigene Abbildung]

Länge laterale Clavicula (Abb. 25)

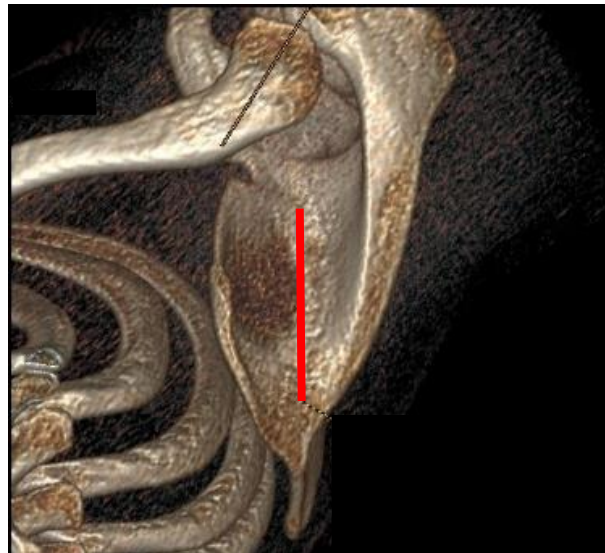
Die Messung erfolgte ebenfalls unter frontaler Ansicht auf das ACG in der dreidimensionalen Rekonstruktion. Gemessen wurde entlang der lateralen Claviculaachse von der Facies articularis acromialis bis zum lateralen Claviculawinkel.



**Abb. 25: Länge laterale Clavicula**  
[Eigene Abbildung]

Winkel Draht zur Fossa supraspinata (**Abb. 26-27**)

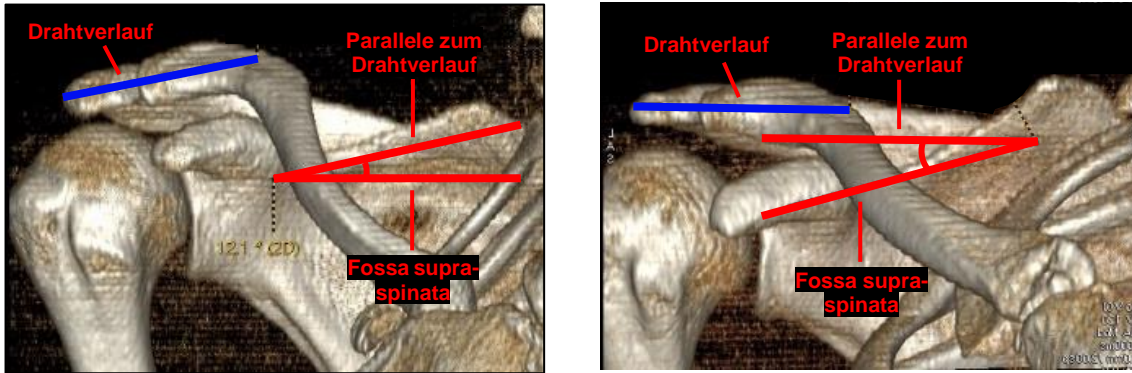
Um den Winkel, in dem der Draht optimalerweise zur Schulter verläuft, besser beurteilen zu können, wird dieser in Bezug zur Fossa supraspinata angegeben. Hierfür wurde zunächst in der dreidimensionalen Ansicht eine Linie in die tiefste Stelle der Fossa supraspinata gelegt (**Abb. 26**) und die Lage dieser Linie in den parasagittalen Schnittbildern überprüft. Anschließend wurde mithilfe der koronaren multiplanaren Schnittbilder eine weitere Gerade, die exakt parallel zum Draht verlief, durch die Linie der Fossa gezogen. Schließlich konnte in der 3D Rekonstruktion aus True a. p. Ansicht (frontale Ansicht des Glenohumeralgelenks mit frei einsehbarem Gelenkspalt) der zweidimensionale Winkel zwischen Draht und Fossa supraspinata ermittelt werden. Hierbei bildete die Parallele zum Draht den oberen Schenkel des Winkels, der untere Schenkel wurde durch die Linie in der Fossa dargestellt.



**Abb. 26: Gerade in Fossa supraspinata**

[Eigene Abbildung]

Da der Winkel je nach Schulter variabel nach medial (Bohrrichtung von der Fossa weg, **Abb. 27** links) oder nach lateral (Bohrrichtung auf die Fossa zu, **Abb. 27** rechts) öffnend war, wurde ein nach medial öffnender Winkel mit positivem und ein nach lateral öffnender Winkel mit negativem Vorzeichen gekennzeichnet.



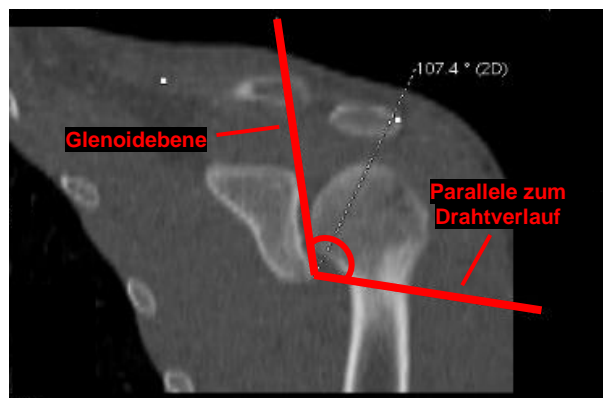
**Abb. 27: Medial und lateral öffnender Winkel zwischen Draht und Fossa supraspinata**

Links: Steiler Drahtverlauf mit Bohrrichtung von der Fossa supraspinata weg  
 Rechts: Horizontaler Drahtverlauf mit Bohrrichtung auf die Fossa supraspinata zu  
 [Eigene Abbildung]

### 3.3.2 Messungen in multiplanar-koronarer Ansicht

#### Winkel Draht zum Glenoid (Abb. 28)

Um den Winkel, den der K-Draht zur Glenoidebene bildet, messen zu können, wurde zunächst mithilfe der 3D Ansicht der Mittelpunkt des Glenoids bestimmt. Dieser wurde anschließend in allen drei Schnittebenen in der multiplanaren Ansicht überprüft und bei nicht idealer Lage optimiert. Die Messung des Winkels erfolgte zweidimensional in der koronaren Schnittebene durch den Mittelpunkt des Glenoids, demnach auf Höhe des maximalen Glenoiddurchmessers. Die Glenoidebene wurde als eine Gerade durch das superiore und inferiore Labrum dargestellt. Der gemessene Winkel ist definiert als der nach kraniallateral öffnende Winkel, den eine parallel zum Draht verlaufende Gerade (lateralen Schenkel des Winkels) mit der Glenoidebene (medialen Schenkel) bildet.



**Abb. 28: Winkel zwischen Draht und Glenoidebene**

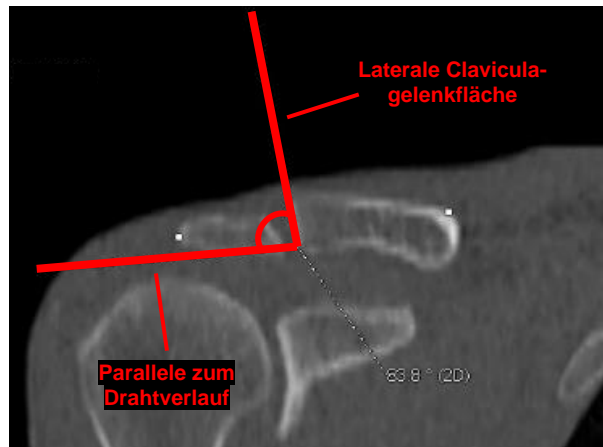
[Eigene Abbildung]



Winkel Draht zu lateraler Claviculagelenkfläche (Abb. 29)

Die Messung des Winkels, den der Draht nach kranio-lateral mit der lateralen Claviculagelenkfläche bildet, erfolgte ebenfalls in den frontalen Schnittbildern. Als Schnittbild wurde hierfür exakt die Ebene ausgewählt, die den Drahtverlauf vollständig darstellt.

Da die Gelenkfläche der Clavicula oft nicht planar ist (laut Moseley in 21 % der Fälle <sup>[65]</sup>), wurde sie im Schnittbild als gemittelte Gerade dargestellt, die anschließend zur zweidimensionalen Winkelmessung verwendet wurde. Der gemessene Winkel ist definiert als der nach kranio-lateral öffnende Winkel, den eine parallel zum Draht verlaufende Gerade (lateraler Schenkel des Winkels) mit der (gemittelten) Claviculagelenkfläche (medialer Schenkel) bildet.



**Abb. 29: Winkel zwischen Draht und lateraler Claviculagelenkfläche**

[Eigene Abbildung]

3.3.3 Messungen in multiplanar-axialer Ansicht

Länge Draht in Acromion (Abb. 30)

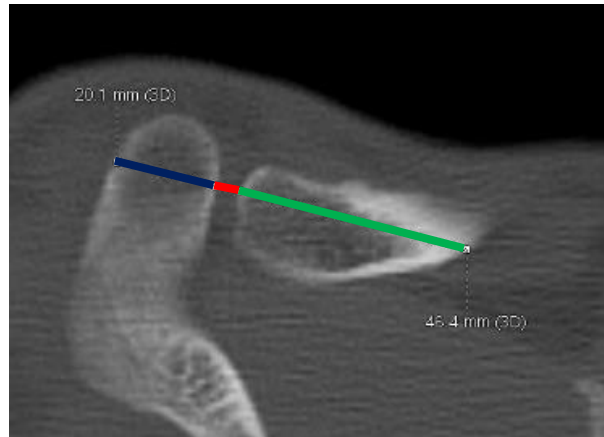
Um die Länge des Drahtes innerhalb des Acromions zu bestimmen, wurde der Abstand von Ein- und Austrittspunkt des Drahtes im Acromion im axialen Schnittbild ausgemessen. Eine Kontrolle der Messung erfolgte im koronaren Schnittbild. Die Länge des Drahtes innerhalb des Acromions entspricht der Breite des Acromions.

Länge Draht in Clavicula (Abb. 30)

Die Längenbestimmung des Drahtes innerhalb der Clavicula erfolgte analog zur Längenmessung im Acromion.

Breite Gelenkspalt ACG (Abb. 30)

Die Differenz der gesamten Drahtlänge und den Längen des Drahtes in Acromion und Clavicula lässt die Breite des Gelenkspalts berechnen.



**Abb. 30: Längen der Drahtabschnitte nach anatomischer Lage**  
 Länge Draht in Acromion (blau) und Clavicula (grün), Breite Gelenkspalt (rot) [Eigene Abbildung]

Abstand Eintrittspunkt zu Acromionspitze (Abb. 31)

Zur Definition des optimalen Eintrittspunktes eines K-Drahtes wurde der zum Drahtverlauf orthogonale Abstand zur Acromionspitze, dem ventralsten Punkt des Acromions, vermessen. Um letzteren eindeutig bestimmen zu können, erfolgte diese Messung bei manuell erhöhter Schichtdicke (ca. 15 mm), sodass die gesamte Acromiondicke in einem Schnittbild sichtbar war. Eine Kontrolle der Messung erfolgte anschließend in parasagittaler Ansicht.



**Abb. 31: Messungen zur Bestimmung der relativen Lage Eintrittspunkt K-Draht**  
 Entfernung Eintrittspunkt zur Acromionspitze (blau), Länge gesamtes Acromion (grün), Lage Eintrittspunkt (schwarzes Kreuz), Lage Austrittspunkt (gelbes Kreuz) [Eigene Abbildung]

Länge gesamtes Acromion (Abb. 31)

In demselben Schnittbild bei identischen Einstellungen erfolgte zusätzlich die Messung der gesamten Länge des Acromions vom ventralsten zum dorsalsten Punkt, ebenfalls orthogonal zum Drahtverlauf und bei erhöhter Schichtdicke. Auch hier wurde die Messung im parasagittalen Bild kontrolliert.

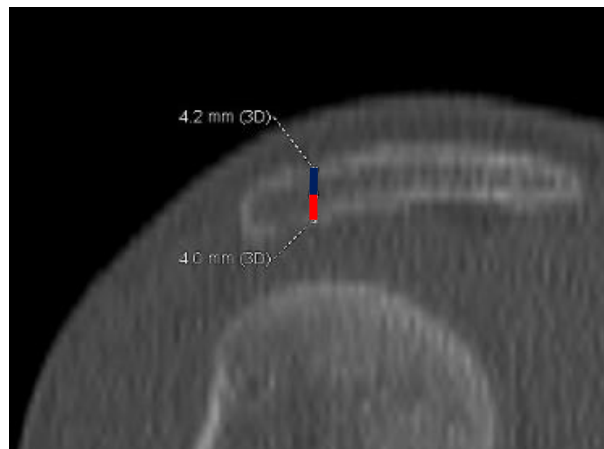
Relative Lage Eintrittspunkt am Acromion (Abb. 31)

Der Abstand vom Eintrittspunkt des Drahtes zur Acromionspitze wurde in Relation zur vollständigen Länge des Acromions gesetzt, um so die Lage des Eintrittspunktes relativ zur gesamten Acromionlänge definieren und in Prozent angeben zu können.

3.3.4 Messungen in multiplanar-parasagittaler Ansicht

Abstand Draht zu Ober- und Unterrand Acromion (Abb. 32)

In einem parasagittalen Schnittbild mittig im Acromion, dem Ort der maximalen Dicke, wurden die Abstände des Drahtes nach kranial und nach kaudal zum Rand des Acromions gemessen. Eine Kontrolle erfolgte in frontaler Ansicht.



**Abb. 32: Abstand Draht zu Ober- (blau) und Unterrand (rot) Acromion**

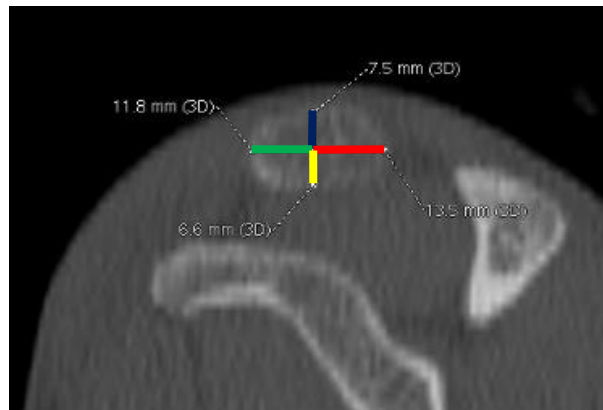
[Eigene Abbildung]

Abstand Draht zu Ober- und Unterrand Clavicula (Abb. 33)

Zur Messung des Abstandes des Drahtes zum Ober- und Unterrand der Clavicula wurden ebenfalls die parasagittalen Schnittbilder herangezogen. Als Ebene wurde hier der Punkt unmittelbar nach Eintritt des Drahtes in die Clavicula gewählt, an dem diese ihren vollen Durchmesser erreicht. Die Messung wurde im koronaren Schnittbild überprüft.

Abstand Draht zu Vorder- und Hinterrand Clavicula (Abb. 33)

In derselben Ebene wie der kraniale und kaudale Abstand wurde zudem der Abstand nach ventral und dorsal zum Rand der Clavicula gemessen. Die Kontrolle erfolgte hingegen in axialer Ansicht.



**Abb. 33: Abstände vom Draht zur Claviculaoberfläche**

Abstand Draht zu Ober- (blau), Vorder- (grün), Unter- (gelb) und Hinterrand (rot) der Clavicula  
[Eigene Abbildung]

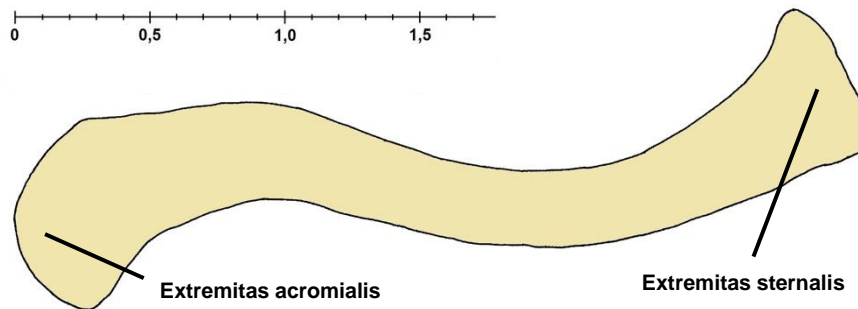
3.4 Bestimmung des ACG Typs

Um zu untersuchen, ob die optimale Lage eines Kirschner-Drahtes abhängig vom ACG Typ ist, wurde zudem bei jeder Schulter der anatomische Typ des Schultergelenks nach Moseleys Kriterien <sup>[65]</sup> bestimmt. Hierfür wurde in multiplanar-koronarer Ansicht die Stellung von acromialer und claviculärer Gelenkfläche zueinander beurteilt und in overriding type (ORT), vertical type (VT), incongruous type (ICT) und underriding type (URT) klassifiziert (siehe 2.1.1).

3.5 Lage des Austrittspunktes

In die Grafik einer standardisierten Clavicula (Abb. 34) wurde für jeden Patienten der Punkt markiert, an dem der Draht aus der Clavicula ausgetreten ist. Als Orientierung hierfür diente der Quotient aus der Drahtlänge innerhalb der Clavicula und der Länge der gesamten lateralen Clavicula. Dieser Quotient gibt die relative Lage des Austrittspunktes zwischen lateraler Claviculagelenkfläche und lateralem Claviculawinkel an.

In die Abbildung der Clavicula wurde ein Maßstab für diesen Quotienten eingezeichnet, der entlang der Claviculaachse von der lateralen Claviculagelenkfläche (0,0) über den lateralen Claviculawinkel (1,0) verläuft. Als zusätzliche Orientierung diente die Lage des Austrittspunktes bezogen auf die Claviculabreite.



**Abb. 34: Standardisierte Clavicula**

*Abbildung einer standardisierten Clavicula in kranialer Ansicht zur Darstellung der Austrittspunkte des K-Drahtes mit verwendetem relativem Maßstab der Längen der lateralen Clavicula [Eigene Zeichnung]*

### 3.6 Statistische Datenauswertung

Die Zusammenstellung, Datenverarbeitung und anschließende statistische Analyse sowie Erstellung der Grafiken und Diagramme erfolgte mithilfe von IBM SPSS Statistics 25 (Armonk, New York, US).

Zunächst wurde eine deskriptive Statistik der Ergebnisse erstellt. Sowohl optisch mittels Quantil-Quantil-Diagramm (Q-Q-Diagramm) als auch mittels Kolmogorov-Smirnov wurden die erhobenen Daten auf Normalverteilung untersucht.

Es folgte die Untersuchung auf geschlechtsspezifische Unterschiede. Als Grundlage diente der t-Test für unabhängige Stichproben bei Vorliegen einer Normalverteilung. Alternativ erfolgte der nicht parametrische Mann-Whitney-U Test für unabhängige Stichproben. Anschließend wurden die für diese Arbeit relevanten Lageparameter Eintrittspunkt, Drahtverlauf, Drahtlänge sowie Austrittspunkt mit der Körpergröße, dem Körpergewicht und dem AC-Winkel korreliert. Die Berechnung erfolgte mittels Korrelationskoeffizienten  $r$  nach Pearson (Normalverteilung liegt vor) oder  $\rho$  nach Spearman (keine Normalverteilung). Es folgte eine lineare Regression.

Zur Prüfung, ob der ideale Drahtverlauf in Abhängigkeit des ACG Typs nach Moseley<sup>[65]</sup> variiert, wurde eine ANOVA (analysis of variance) mit folgendem Post hoc Test nach Bonferroni durchgeführt. Da innerhalb des Patientenkollektivs die anatomische ACG Variante des URT lediglich bei einer Schulter vorkommt und somit für diese anatomische Variante keine statistische Aussagekraft besteht, wurde der URT nicht mit in die ANOVA einbezogen. Stattdessen wurde geprüft, ob sich der Messwert des URT innerhalb des 95 %-Konfidenzintervalls der anderen drei ACG Typen wiederfindet. In diesem Falle wurde davon ausgegangen, dass kein signifikanter Unterschied besteht.

Sofern nach Kolmogorov-Smirnov keine Normalverteilung der Daten vorliegt, wurde sowohl ein nicht parametrischer Test (Mann-Whitney-U Test für unabhängige Stichproben bzw. Spearman Korrelation) als auch ein parametrischer Test (t-Test für unabhängige Stichproben bzw. Pearson Korrelation) durchgeführt. Sofern nach dem Q-Q-Diagramm eine Normalverteilung der Daten annehmbar war und beide Tests bezüglich ihrer Signifikanz zu dem gleichen Ergebnis kamen, werden für eine bessere Vergleichbarkeit im Folgenden nur die Ergebnisse der parametrischen Tests berichtet.

Das Signifikanzniveau wurde auf 0,05 festgelegt.

### 3.7 OP-Verfahren <sup>[56]</sup>

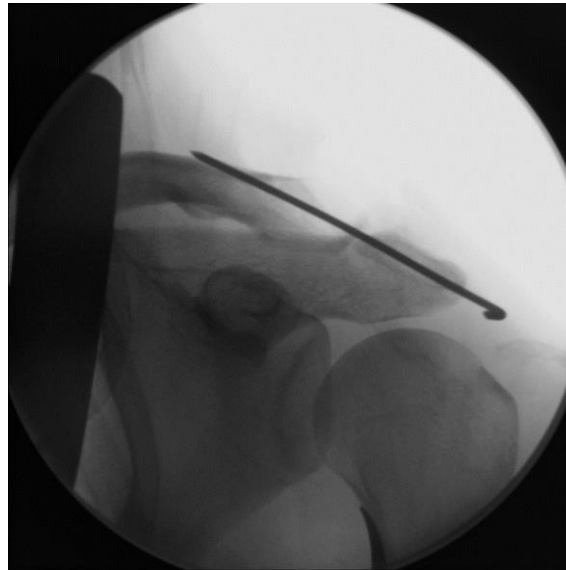
In der Klinik für Schulterchirurgie im Rhön-Klinikum Campus Bad Neustadt wird die Indikation zur operativen Versorgung einer AC-Sprengung bei Rockwood IV – VI Verletzungen sowie bei Rockwood III Verletzungen je nach Ansprüchen und individuellen Gegebenheiten des betroffenen Patienten gestellt (siehe **Tab. 3**, S. 24).

In Intubationsnarkose und in Beachchair Lagerung des Patienten bei einem ca. 30° aufgerichteten Oberkörper wird ein ca. 10-15 cm langer Säbelhiebschnitt zur Darstellung des ACGs und Coracoids durchgeführt. Durch Tasten erfolgt die Beurteilung des Ausmaßes der ligamentären Schäden der AC-Sprengung.

Anschließend wird eine Stichinzision am lateralen Acromion durchgeführt. Es folgt die manuelle Reponierung der Clavicula in eine physiologische Stellung des ACGs mit Einbringung des 2 – 2,5 mm dicken Kirschner-Drahtes von lateral in das Acromion mit zentralem Durchtritt durch das ACG und Austritt etwa auf Höhe der CC-Bänder. Mithilfe eines C-Bogens erfolgt die röntgenologische Kontrolle des eingebrachten K-Drahtes, insbesondere in Hinsicht auf eine korrekte Lage sowie erfolgreiche Reponierung der Clavicula (**Abb. 35**). Sollten Stellung des ACGs oder Lage des K-Drahtes nicht optimal sein, wird der Draht wieder entfernt und ein neuer eingebracht. Dies geschieht so oft, bis der Draht durch intraoperative Durchleuchtung nachweislich gut liegt. Um die Gefahr der Drahtwanderung zu minimieren, wird der überstehende K-Draht beim Austritt aus dem Acromion lateral umgebogen.

Anschließend wird ein 3,2 mm dickes Bohrloch auf Höhe der (beschädigten) CC-Bänder beim Übergang vom mittleren zum vorderen Drittel der Claviculabreite gefertigt. Das Coracoid kann nun mithilfe einer gebogenen Klemme mit einer PDS-Kordel umschlungen werden, die anschließend durch das Bohrloch in der Clavicula gezogen und unter Zug verknotet wird. So wird die Clavicula zusätzlich zu dem K-Draht nach kaudal fixiert und eine Reluxation verhindert. Die PDS-Kordel ist resorbierbar und unterstützt bei einer

Halbwertszeit von bis zu 12 Wochen bis dahin die Stabilität des ACGs durch eine Imitation der CC-Bänder während der Bandapparat langsam wieder an Festigkeit gewinnt.



**Abb. 35: Intraoperative Lagekontrolle des platzierten K-Drahtes**  
[mit freundlicher Genehmigung des Rhön-Klinikums Campus Bad Neustadt <sup>[45]</sup>]

Ist die Clavicula nun durch K-Draht und PDS-Kordel reponiert, folgt je nach Ausmaß der ligamentären Schädigung die Naht der AC- und CC-Bänder sowie der Gelenkkapsel und Deltotrapezoidfaszie. Nach Einlage einer Redondrainage erfolgt die Gewebe- und Hautnaht. Umgehend nach Abschluss der Operation wird dem Patienten ein Gilchristverband angelegt, der postoperativ für 6 Wochen getragen werden muss.

Am zweiten postoperativen Tagen erfolgt eine erneute Röntgenkontrolle der operierten Schulter, um sicherzustellen, dass der K-Draht nicht gewandert oder ausgebrochen ist. Sollte das Röntgenbild unauffällig sein und kann von einem stabilen Zustand des Patienten ausgegangen werden, darf dieser anschließend aus dem Krankenhaus entlassen werden.

Ab dem zweiten postoperativen Tag beginnt die Mobilisation der Schulter durch Physiotherapie. Zur Verhinderung von Materialbruch ist der Bewegungsspielraum hierbei jedoch bei Abduktion und Anteversion streng auf maximal 60° begrenzt.

Nach 6 – 8 Wochen erfolgt in einer ambulanten Zweitoperation über eine Stichinzision in Lokalanästhesie die Materialentfernung des Kirschner-Drahtes.

Seit 2017 wird im Rhön-Klinikum Campus Bad Neustadt ein alternatives Verfahren zur offenen Operation mit Einsatz einer PDS-Kordel für die coracoclaviculäre Fixierung nach Einbringung des K-Drahtes erprobt. Hierbei handelt es sich um ein arthroskopisches Vorgehen, bei dem nach Vorbohrung des K-Drahtes die zusätzliche coracoclaviculäre Fixierung mittels TightRope® Technik (siehe **2.7.2.4**) statt einer PDS-Kordel erfolgt. Sowohl das sonstige operative Procedere als auch die Nachbehandlung gleichen sich bei beiden Methoden. Die zwei Verfahren werden aktuell gleichermaßen häufig angewendet. Derzeit läuft eine vergleichende Studie zum Outcome beider Operationsvarianten, die endgültigen Ergebnisse liegen allerdings noch nicht vor. Es ist vorgesehen, die Resultate der hier vorliegenden Untersuchung mit den Ergebnissen der vergleichenden Studie im Rahmen einer Publikation zu diskutieren.



## 4. Ergebnisse

### 4.1 Virtuelle Platzierung des Drahtes in optimaler Position

Bei jeder der 66 im Kollektiv enthaltenen Schultern war eine virtuelle Platzierung des Drahtes in der dreidimensionalen CT Rekonstruktion möglich. In 63 Fällen waren hierbei alle sechs definierten Kriterien für eine optimale K-Drahtposition (siehe **3.2.1**) erfüllt.

Bei 3 Schultern (4,5 % aller Fälle) war eine Platzierung des Drahtes mit mindestens 1 cm Abstand zur Acromionspitze unter gleichzeitiger Beachtung der restlichen Lagekriterien nicht möglich. Der durchschnittliche Messwert dieser Fälle beträgt 8,7 mm mit einem Minimalabstand von 8,3 mm zwischen Draht und Acromionspitze. Die Schultern, deren virtuelle Drahtlage nicht der definierten optimalen Drahtlage entspricht, waren zwei Männern und einer Frau zuzuordnen.

Grundsätzlich trat der Draht von lateral ins Acromion ein. Die Abstände des Drahtes zu Ober- und Unterrand des Acromions weisen eine mittlere Differenz von 0,26 mm auf, sodass von einem mittigen Drahtverlauf innerhalb der Acromionebene auszugehen ist. Die Abstände des Drahtes zu Ober- und Unterrand sowie Vorder- und Hinterrand der Clavicula zeigen mittlere Differenzen von 0,66 mm respektive 0,05 mm. Diese deuten auf einen zentralen Durchtritt des Kirschner-Drahtes durch das ACG und zentralen Eintritt in die Clavicula hin. Der Draht traf stets nahezu senkrecht auf die Clavicula (Mittelwert  $89,42^\circ$ ), verlief dort mit der Achse der lateralen Clavicula und trat dann etwa auf Höhe der CC-Bänder und des lateralen Claviculawinkels nach kranial bis dorsal aus. Bei keiner Schulter wurde die Mindestdrahtlänge von 2 cm innerhalb der Clavicula unterschritten, der minimal gemessene Wert beträgt hier 2,03 cm.

**Tab. 9: Übersicht der erhobenen Messdaten mit deskriptiver Statistik**

<sup>1</sup>Test auf Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov

<sup>2</sup> Relative Lage des Eintrittspunktes in Bezug zur Länge des gesamten Acromions von ventral aus betrachtet

<sup>3</sup> Relative Lage des Austrittspunktes in Bezug zur Länge der gesamten lateralen Clavicula von lateral aus betrachtet

Die exakte Definition der durchgeführten Messungen ist den Seiten 31 ff. zu entnehmen

SD: Standardabweichung

	Mittelwert	Minimum	Maximum	95 %-Konfidenzintervall	SD	Normalverteilung <sup>1</sup>
Abstand Eintrittspunkt zu Acromionspitze [mm]	12,89	8,3	22,4	12,26 – 13,51	2,55	0,022
Länge gesamtes Acromion [mm]	46,44	32,3	56,9	45,01 – 47,87	5,83	0,200
Relative Lage Eintrittspunkt am Acromion <sup>2</sup> [%]	27,96	19,1	45,3	26,63 – 29,29	5,41	0,000
Acromioclaviculärer Winkel [°]	167,24	152,8	179,1	165,55 – 168,93	6,87	0,023
Winkel Draht zur Fossa supraspinata [°]	2,38	-24,8	19,7	-0,16 – 4,91	10,32	0,056
Winkel Draht zum Glenoid [°]	101,24	85,9	115,6	99,67 – 102,81	6,41	0,200
Winkel Draht zu lat. Claviculagelenkfläche [°]	89,42	70,6	112,3	87,25 – 91,59	8,84	0,200
Länge gesamter K-Draht [mm]	58,06	43,3	86,5	55,73 – 60,38	9,46	0,026
Länge Draht in Acromion [mm]	22,32	15,8	28,9	21,59 – 23,05	2,97	0,200
Länge Draht in Clavicula [mm]	32,36	20,3	55,0	30,30 – 34,43	8,39	0,184
Breite Gelenkspalt ACG [mm]	3,37	0,8	7,3	2,97 – 3,78	1,65	0,024
Länge lat. Clavicula [mm]	32,94	22,9	47,3	31,59 – 34,29	5,50	0,200
Relative Lage Austrittspunkt aus lat. Clavicula <sup>3</sup> [%]	99,87	54,7	163,9	93,33 – 106,41	26,62	0,092
Abstand Draht zu Obertrand Acromion [mm]	4,23	2,7	5,6	4,08 – 4,39	0,63	0,058
Abstand Draht zu Unterrand Acromion [mm]	3,97	2,7	7,1	3,77 – 4,17	0,83	0,200
Abstand Draht zu Obertrand Clavicula [mm]	6,42	3,9	9,1	6,10 – 6,73	1,30	0,200
Abstand Draht zu Unterrand Clavicula [mm]	5,76	3,9	8,8	5,49 – 6,02	1,07	0,193
Abstand Draht zu Vorderrand Clavicula [mm]	10,54	6,3	16,3	10,04 – 11,04	2,04	0,200
Abstand Draht zu Hinterrand Clavicula [mm]	10,49	5,9	14,1	10,04 – 10,95	1,86	0,058

Tab. 10: Übersicht über geschlechtsspezifische Messunterschiede

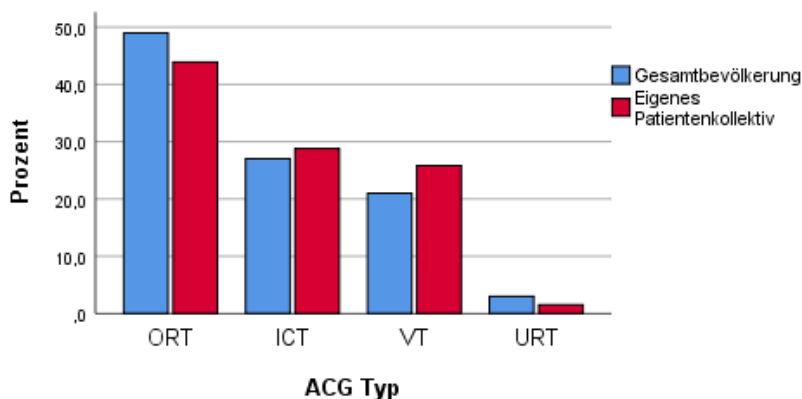
	Mittelwert ♂	Mittelwert ♀	Mittlere Differenz	t-Test	95 %-Konfidenzintervall der Differenz
Abstand Eintrittspunkt zu Acromionspitze [mm]	13,16	10,60	2,56	0,011	0,61 – 4,51
Relative Lage Eintrittspunkt am Acromion [%]	28,27	25,29	2,98	0,169	-1,30 – 7,27
Winkel Draht zur Fossa supraspinata [°]	2,54	1,03	1,51	0,718	-6,79 – 9,80
Winkel Draht zum Glenoid [°]	101,19	101,69	-0,5	0,847	-5,65 – 4,65
Länge gesamter K-Draht [mm]	58,67	52,93	5,74	0,130	-1,74 – 13,22
Relative Lage Austrittspunkt aus lat. Clavicula [%]	100,46	94,93	5,53	0,607	-15,85 – 26,90

Tab. 11: Übersicht der Korrelationen zwischen den Draht-Lageparametern und Körpergröße, Körpergewicht und AC-Winkel  
Korrelationskoeffizient  $r$  nach Pearson mit zugehörigem Signifikanzniveau

	Körpergröße	Körpergewicht	AC-Winkel
<b>Eintrittspunkt</b>			
Abstand Eintrittspunkt zu Acromionspitze	$r = 0,387$ $p = 0,001$	$r = 0,195$ $p = 0,116$	$r = -0,066$ $p = 0,601$
Relative Lage Eintrittspunkt	$r = 0,137$ $p = 0,273$	$r = -0,069$ $p = 0,582$	$r = -0,102$ $p = 0,417$
<b>Drahtverlauf</b>			
Winkel Draht zur Fossa supraspinata	$r = 0,135$ $p = 0,279$	$r = 0,165$ $p = 0,186$	$r = -0,342$ $p = 0,005$
Winkel Draht zum Glenoid	$r = 0,262$ $p = 0,033$	$r = 0,028$ $p = 0,821$	$r = -0,487$ $p = 0,000$
<b>Drahtlänge</b>			
Austrittspunkt	$r = 0,165$ $p = 0,185$	$r = 0,000$ $p = 0,999$	$r = 0,840$ $p = 0,000$
	$r = -0,044$ $p = 0,725$	$r = -0,054$ $p = 0,669$	$r = 0,782$ $p = 0,000$

#### 4.2 ACG Typ nach Moseley

Die Auswertung der ACG Typen nach Moseleys Klassifikation <sup>[65]</sup> zeigt, dass der overriding type mit 43,9 % (29 Schultern) am häufigsten vorkommt, gefolgt vom incongruous type mit 28,8 % (19 Schultern) und dem vertical type mit 25,8 % (17 Schultern). Der underriding type ist die seltenste anatomische Variante mit lediglich 1,5 % (1 Schulter). Diese Zahlen decken sich mit den von Moseley erhobenen Daten <sup>[65]</sup> (**Abb. 36**).



**Abb. 36: Häufigkeit der ACG Typen nach Moseley im Patientenkollektiv und in der Gesamtbevölkerung <sup>[65]</sup>**

*ICT: incongruous type, ORT: overriding type, URT: underriding type, VT: vertical type*

#### 4.3 Messergebnisse

Eine Übersicht über die Ergebnisse aller Messungen einschließlich Mittelwert, Minimum, Maximum, 95 %-Konfidenzintervall, Standardabweichung sowie das Ergebnis des Kolmogorov-Smirnov Tests auf Normalverteilung bietet **Tabelle 9**.

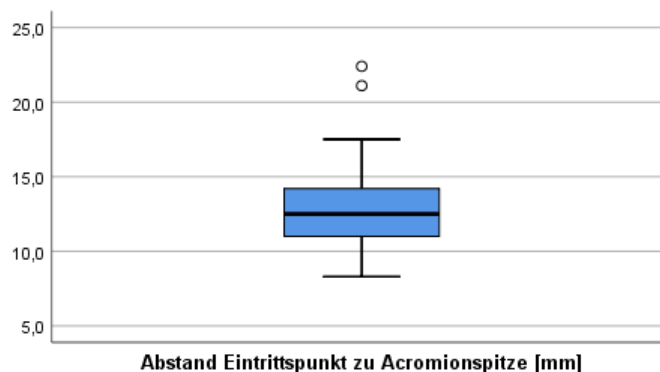
Geschlechtsspezifischen Mittelwerte der relevanten K-Draht Lageparameter sowie die Ergebnisse der entsprechenden t-Tests sind **Tabelle 10** zu entnehmen.

Anhand von Korrelationen nach Pearson zeigt **Tabelle 11** eine Übersicht über den Zusammenhang zwischen den relevanten Lageparametern des Drahtes und Körpergröße, Körpergewicht sowie AC-Winkel.

##### 4.3.1 *Lage des Eintrittspunktes*

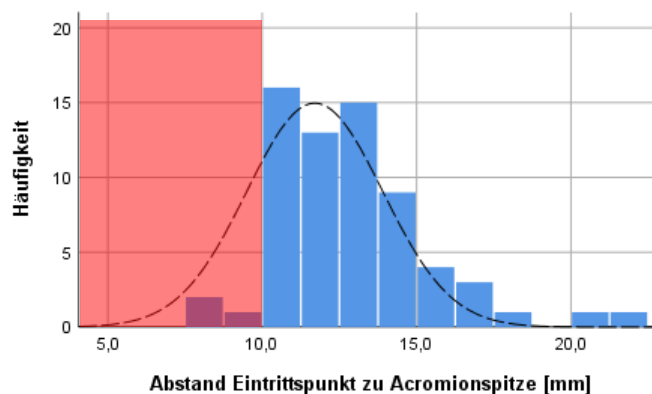
###### Abstand Eintrittspunkt zu Acromionspitze

Die Ermittlung des idealen Eintrittspunktes erfolgte zunächst durch die Bestimmung des Abstandes zur Acromionspitze. Hierbei zeigte sich ein mittlerer Abstand von 12,89 mm bei einem 95 %-Konfidenzintervall von 12,26 bis 13,51 mm (**Abb. 37**).



**Abb. 37: Abstand des Eintrittspunktes zur Acromionspitze**

Der Test auf Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov zeigt mit  $p = 0,022$ , dass keine Normalverteilung der Daten vorliegt. Optisch zeigt das Q-Q-Diagramm (mit Ausnahme von zwei Ausreißern) jedoch normalverteilte Messwerte. Betrachtet man das Histogramm der Daten, so zeigt sich, dass sie weitestgehend der Normalverteilungskurve folgen. Da jedoch aufgrund des vorgegebenen Grenzwertes von mindestens 10 mm Abstand zur Acromionspitze (siehe **3.2.1**) eine natürliche Grenze vorliegt, weichen die Daten im unteren Wertebereich dementsprechend von der Normalverteilungskurve ab (siehe **Abb. 38** rot markierter Bereich). Aufgrund dieser Tatsache wurden im weiteren Verlauf parametrische Tests angewandt.

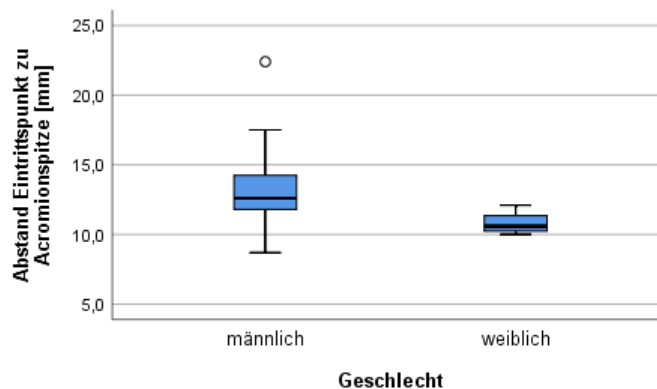


**Abb. 38: Abstand des Eintrittspunktes zur Acromionspitze als Normalverteilungshistogramm**

*Rot markiert: Werte unter 10 mm, die der Normalverteilungskurve größtenteils fehlen, da diese nicht den definierten Kriterien zur optimalen Position des Kirschner-Drahtes entsprechen*

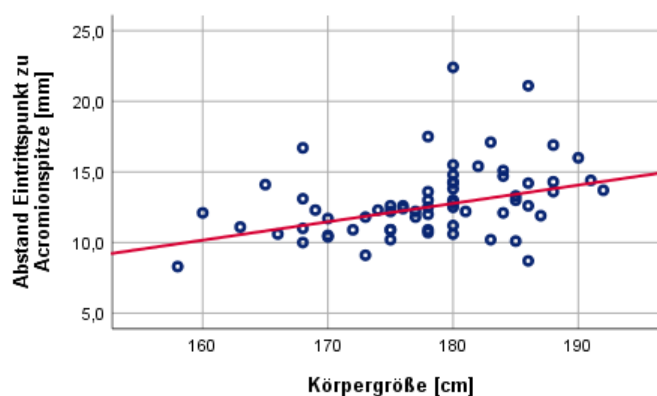
Geschlechtsspezifische Unterschiede der idealen Lage des Eintrittspunktes zeigen **Abbildung 39** sowie **Tabelle 10** (S. 45). Die mittlere Differenz der Abstände vom idealen Eintrittspunkt zur Acromionspitze beträgt 2,56 mm (95 %-Konfidenzintervall 0,61 –

4,51 mm), die der Draht bei Schultern männlicher Personen dorsaler eintritt. Der t-Test für unabhängige Stichproben zeigt hierbei mit  $p = 0,011$ , dass dieser Unterschied signifikant ist.

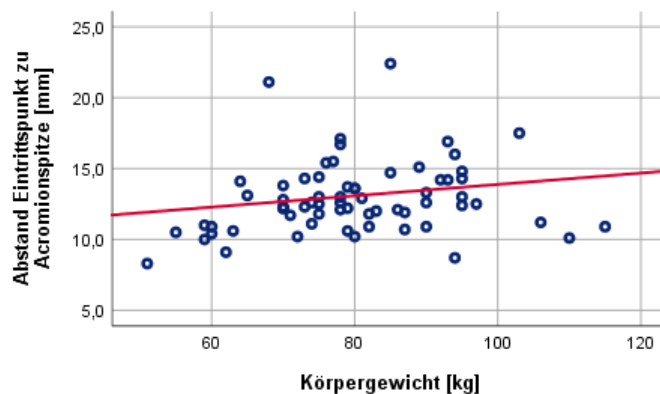


**Abb. 39: Geschlechtsabhängiger Abstand zwischen Eintrittspunkt und Acromionspitze**

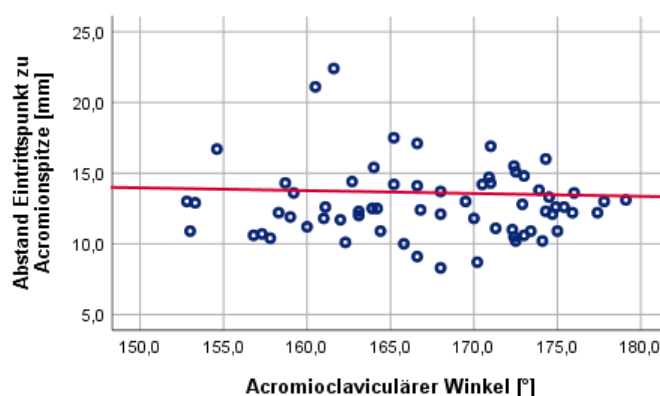
Pearson'sche Korrelationen und lineare Regressionen zwischen dem Abstand des Eintrittspunktes zur Acromionspitze und der Körpergröße, dem Körpergewicht ( $r = 0,195$ ;  $p = 0,116$ ) sowie dem AC-Winkel ( $r = -0,066$ ;  $p = 0,601$ ) sind den **Abbildungen 40-42** sowie **Tabelle 11** (S. 45) zu entnehmen. Eine signifikante Regression stellt hier nur der Zusammenhang zwischen der Körpergröße und dem Abstand des Eintrittspunktes zur Acromionspitze mit  $r = 0,387$  dar ( $p = 0,001$ ). Hier gehen eine geringe Körpergröße und kurze Abstände zwischen Acromionspitze und Eintrittspunkt des Drahtes miteinander einher (**Abb. 40**).



**Abb. 40: Korrelation zwischen Körpergröße und Lage des Eintrittspunktes**

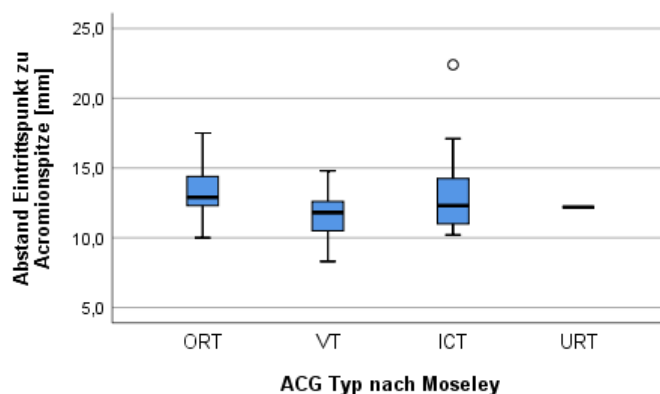


**Abb. 41: Korrelation zwischen Körpergewicht und Lage des Eintrittspunktes**



**Abb. 42: Korrelation zwischen AC-Winkel und Lage des Eintrittspunktes**

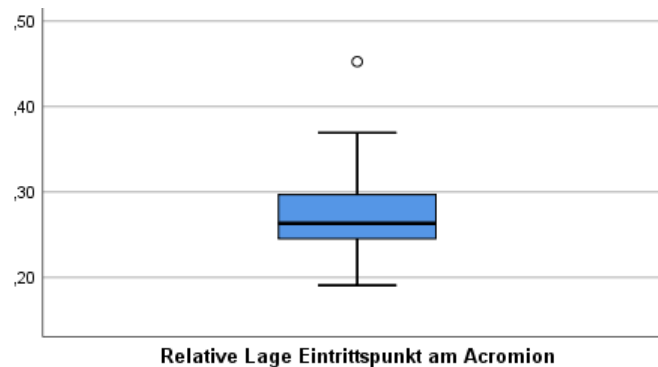
Die ANOVA zeigt bei  $p = 0,022$  einen signifikanten Unterschied zwischen den ACG Typen. Nach dem Bonferroni Post hoc Test ( $p = 0,024$ ) tritt der ideale Draht beim VT im Mittel 2,06 mm ventraler ein als beim ORT (95 %-Konfidenzintervall 0,22 – 3,90 mm). **Abbildung 43** zeigt eine Übersicht der Eintrittspunkte in Abhängigkeit vom zugrunde liegenden ACG Typ.



**Abb. 43: ACG Typ abhängiger Abstand zwischen Eintrittspunkt und Acromionspitze**  
 ICT: incongruous type, ORT: overriding type, URT: underriding type, VT: vertical type

### Relative Lage Eintrittspunkt am Acromion

Betrachtet man die relative Lage des idealen Eintrittspunktes bezogen auf die gesamte Acromionlänge, liegt dieser von ventral aus betrachtet bei 27,96 % der Acromionlänge. Das 95 %-Konfidenzintervall umfasst den Bereich von 26,63 bis 29,29 % (**Abb. 44**).

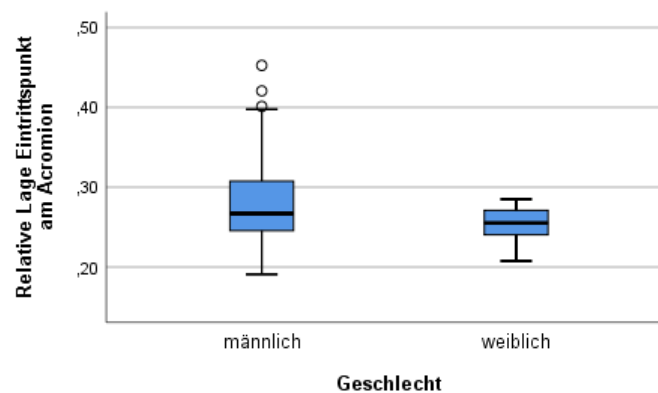


**Abb. 44: Relative Lage des Eintrittspunktes am Acromion**

*Lage des Eintrittspunktes bezogen auf gesamte Acromionlänge von ventral aus betrachtet*

Da die zur Berechnung der relativen Lage des Eintrittspunktes zugrunde liegende Messung des Abstandes zur Acromionspitze aus oben dargelegten Gründen rechnerisch nicht normalverteilt erscheint, trifft dieses auch auf die relative Lage des Eintrittspunktes am Acromion zu (Kolmogorov-Smirnov  $p = 0,000$ , siehe auch S. 47). Aus denselben Gründen wurde dennoch auf parametrische Tests zurückgegriffen.

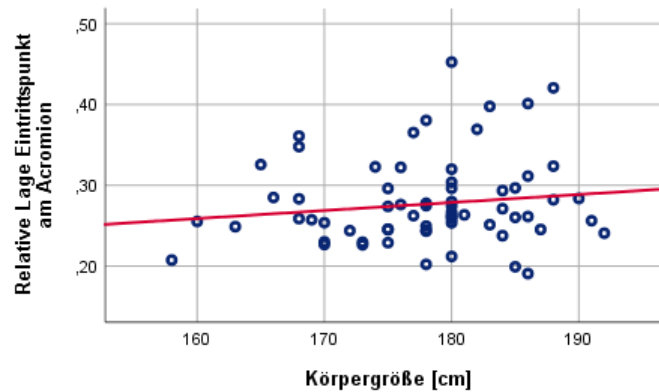
Bei Betrachtung der Datenreihe nach Geschlecht zeigt sich eine mittlere Differenz von 2,98 % (Drahteintritt bei Frauen ventraler). Es besteht hierbei jedoch keine Signifikanz im t-Test ( $p = 0,169$ ) (**Abb. 45, Tab. 10**).



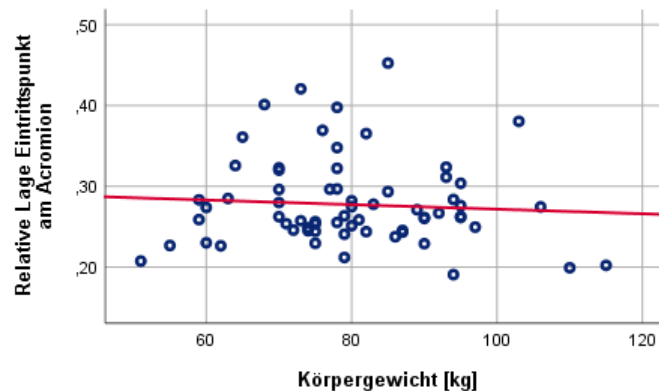
**Abb. 45: Geschlechtsabhängige relative Lage des Eintrittspunktes am Acromion**



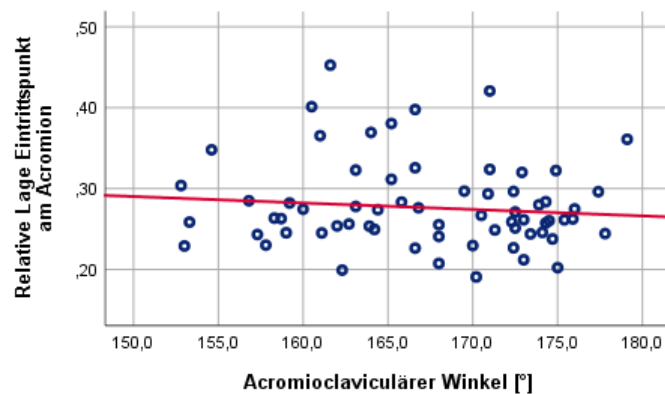
Die **Abbildungen 46-48** zeigen Punktdiagramme mit Korrelationen nach Pearson sowie lineare Regressionen zwischen der relativen Lage des Eintrittspunktes am Acromion und der Körpergröße ( $r = 0,137$ ;  $p = 0,273$ ), dem Körpergewicht ( $r = -0,069$ ;  $p = 0,582$ ) und dem AC-Winkel ( $r = -0,102$ ;  $p = 0,417$ ). Eine signifikante Korrelation bzw. Regression konnte hier in keinem der drei Fälle belegt werden.



**Abb. 46: Korrelation zwischen Körpergröße und relativer Lage des Eintrittspunktes**

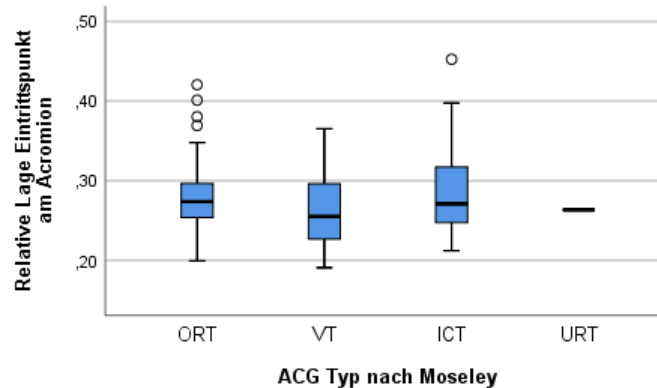


**Abb. 47 Korrelation zwischen Körpergewicht und relativer Lage des Eintrittspunktes**



**Abb. 48: Korrelation zwischen AC-Winkel und relativer Lage des Eintrittspunktes**

Die ANOVA konnte bei den verschiedenen ACG Typen keinen signifikanten Unterschied ( $p = 0,197$ ) bezüglich der relativen Lage des Drahteintrittes am Acromion aufzeigen (**Abb. 49**).



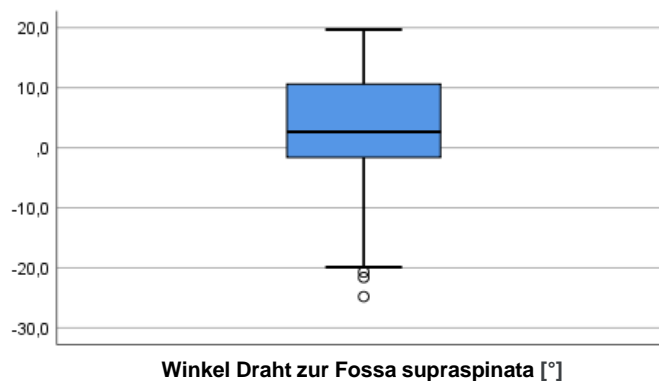
**Abb. 49: ACG Typ abhängige relative Lage des Eintrittspunktes am Acromion**  
 ICT: incongruous type, ORT: overriding type, URT: underriding type, VT: vertical type

#### 4.3.2 Drahtverlauf

Die ideale Richtung, in die der Draht vorgebohrt werden sollte, wird definiert durch die Winkel zwischen dem Draht und den beiden anatomischen Landmarken der Fossa supraspinata sowie der Glenoidebene.

##### Winkel Draht zur Fossa supraspinata

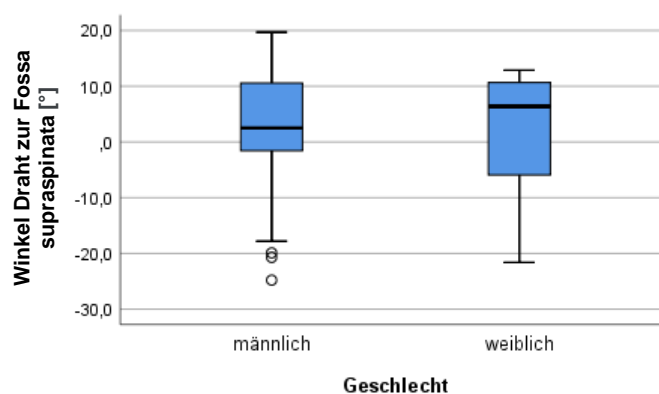
Die Winkelmessung zwischen dem Drahtverlauf und der tiefsten Stelle der Fossa supraspinata ergab Werte zwischen  $-24,8^\circ$  und  $19,7^\circ$  mit einem arithmetischen Mittelwert von  $2,38^\circ$  (Öffnungsrichtung nach medial = Bohrrichtung von der Fossa weg) (**Abb. 50**). Das 95 %-Konfidenzintervall umfasst den Bereich zwischen  $-0,16$  und  $4,91^\circ$ . Sowohl optisch als auch nach Kolmogorov-Smirnov zeigt sich eine Normalverteilung der Messdaten ( $p = 0,056$ ).



**Abb. 50: Winkel Draht zur Fossa supraspinata**

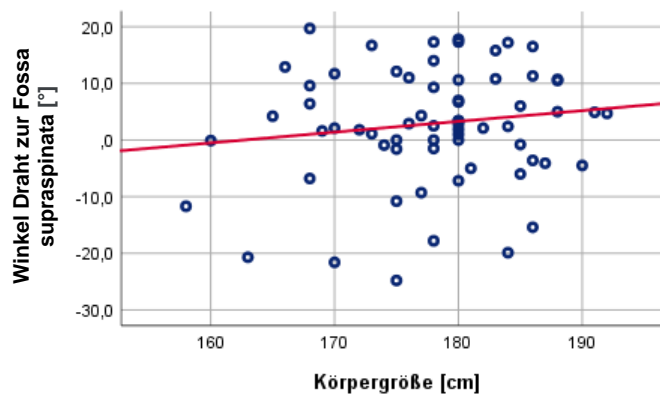
Positive Winkel: mediale Öffnungsrichtung mit Bohrrichtung von der Fossa weg; negative Winkel: laterale Öffnungsrichtung mit Bohrrichtung auf die Fossa zu

Der t-Test für unverbundene Stichproben zeigt bei einer mittleren Differenz von  $1,51^\circ$  keinen geschlechtsabhängigen Unterschied ( $p = 0,718$ ) (**Abb. 51, Tab. 10**).

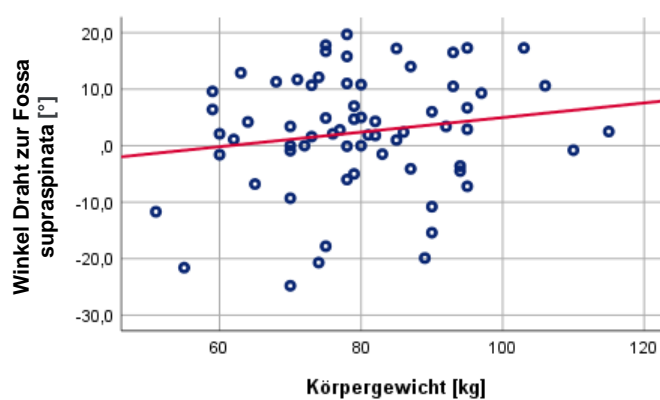


**Abb. 51: Geschlechtsabhängiger Winkel zwischen Draht und Fossa supraspinata**

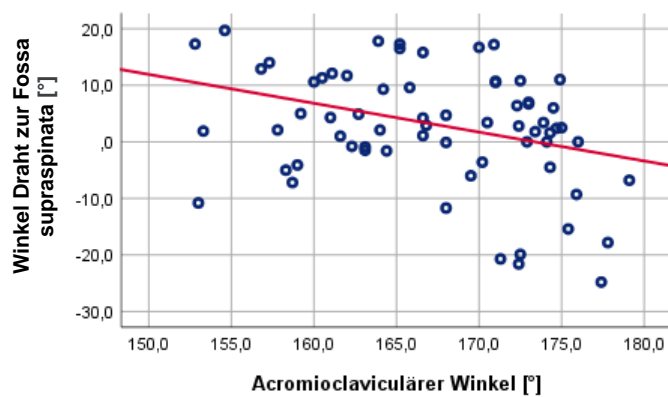
Die ermittelten Korrelationen nach Pearson und linearen Regressionen sind den **Abbildungen 52-54** zu entnehmen. Mit  $r = -0,342$  ( $p = 0,005$ ) zeigt sich der größte und zugleich signifikante Zusammenhang zwischen dem Winkel Draht/Fossa supraspinata und dem AC-Winkel, wobei große AC-Winkel mit kleinen Winkeln zwischen dem Draht und der Fossa supraspinata einhergehen (**Abb. 54**). Keine Signifikanz zeigen die Regressionen zwischen dem gemessenen Winkel und der Körpergröße ( $r = 0,135$ ;  $p = 0,279$ ) oder dem Körpergewicht ( $r = 0,165$ ;  $p = 0,186$ ).



**Abb. 52: Korrelation zwischen Körpergröße und Winkel zur Fossa supraspinata**

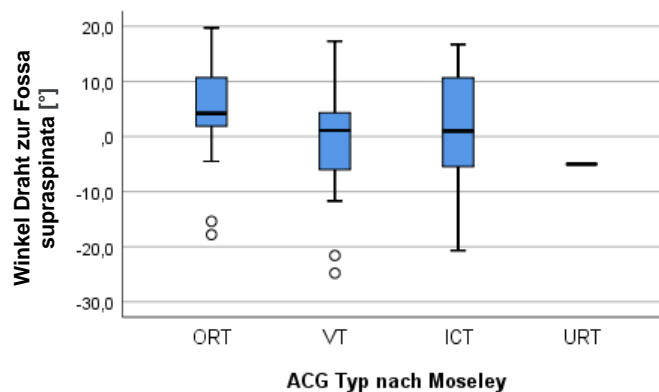


**Abb. 53: Korrelation zwischen Körpergewicht und Winkel zur Fossa supraspinata**



**Abb. 54: Korrelation zwischen AC-Winkel und Winkel zur Fossa supraspinata**

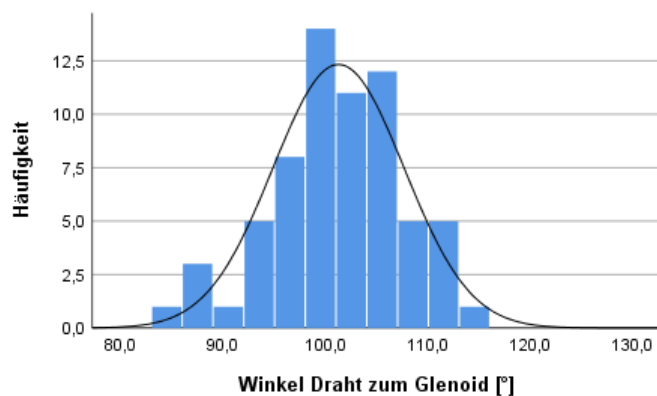
Die ANOVA zeigt keinen signifikanten Unterschied zwischen den ACG Typen ( $p = 0,145$ , **Abb. 55**).



**Abb. 55: ACG Typ abhängiger Winkel zwischen Draht und Fossa supraspinata**  
 ICT: incongruous type, ORT: overriding type, URT: underriding type, VT: vertical type

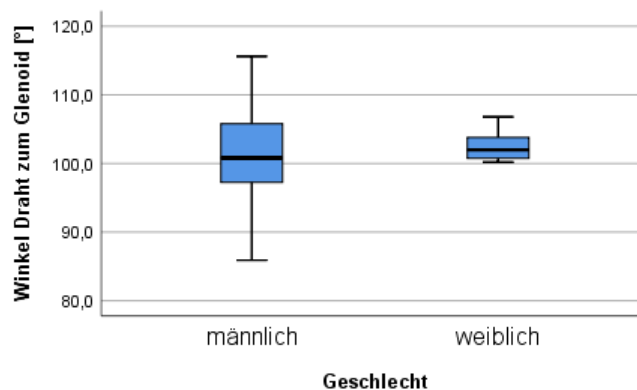
### Winkel Draht zum Glenoid

Der mittlere Winkel zwischen Draht und Glenoid beträgt  $101,24^\circ$ , das zugehörige 95 %-Konfidenzintervall umfasst den Bereich  $99,67 - 102,81^\circ$  (**Abb. 56**). Optisch zeigt sich eine Normalverteilung, der Kolmogorov-Smirnov Test bestätigt dies mit  $p = 0,200$ .



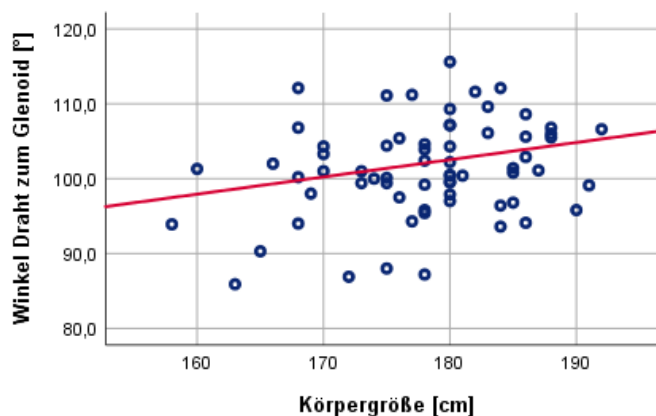
**Abb. 56: Winkel zwischen Draht und Glenoid**

Bei  $p = 0,847$  im t-Test besteht kein signifikanter Unterschied zwischen Schultern männlicher und weiblicher Personen (**Abb. 57, Tab. 10**).

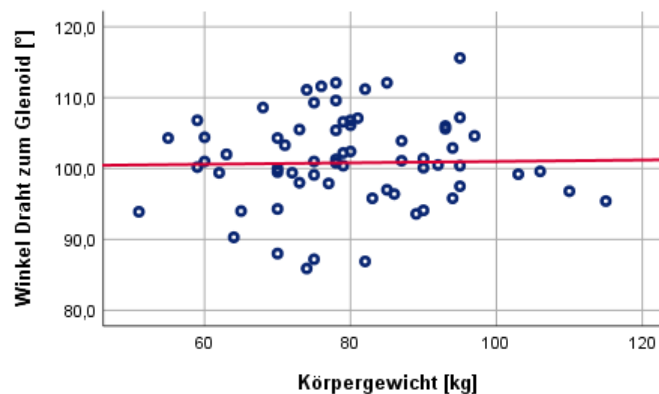


**Abb. 57: Geschlechtsabhängiger Winkel zwischen Draht und Glenoid**

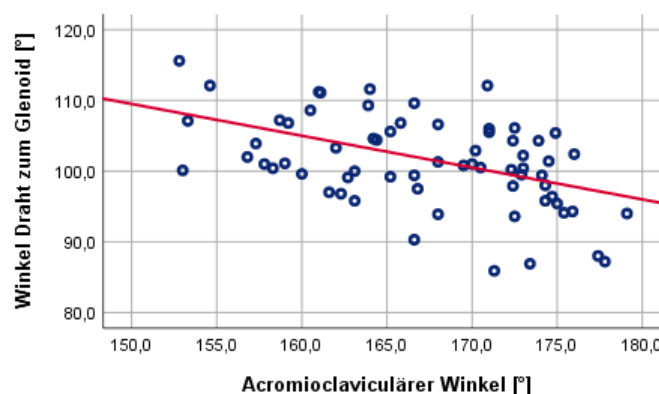
Die ermittelten Regressionen des Winkels zwischen Draht und Glenoid und der Körpergröße, Körpergewicht sowie dem AC-Winkel zeigen die **Abbildungen 58-60**. Hier ist zu sehen, dass der größte, signifikante Zusammenhang zwischen dem Winkel Draht zum Glenoid und dem AC-Winkel (Pearson  $r = -0,487$ ;  $p = 0,000$ ) besteht, gefolgt von der Körpergröße ( $r = 0,262$ ;  $p = 0,033$ ). Im Gegensatz dazu konnte keine signifikante Korrelation zum Körpergewicht ( $r = 0,028$ ;  $p = 0,821$ ) festgestellt werden. Zu sehen ist, dass kleine AC-Winkel mit großen Winkeln zwischen dem K-Draht und dem Glenoid (**Abb. 60**), kleine Körpergrößen hingegen auch mit kleinen Winkeln Draht zum Glenoid (**Abb. 58**) einhergehen.



**Abb. 58: Korrelation zwischen Körpergröße und Winkel zum Glenoid**

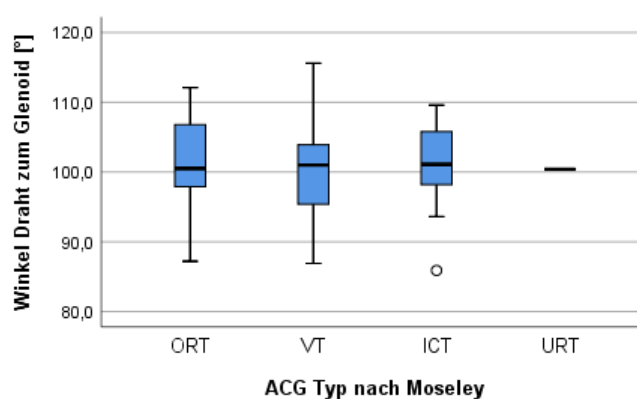


**Abb. 59: Korrelation zwischen Körpergewicht und Winkel zum Glenoid**



**Abb. 60: Korrelation zwischen AC-Winkel und Winkel zum Glenoid**

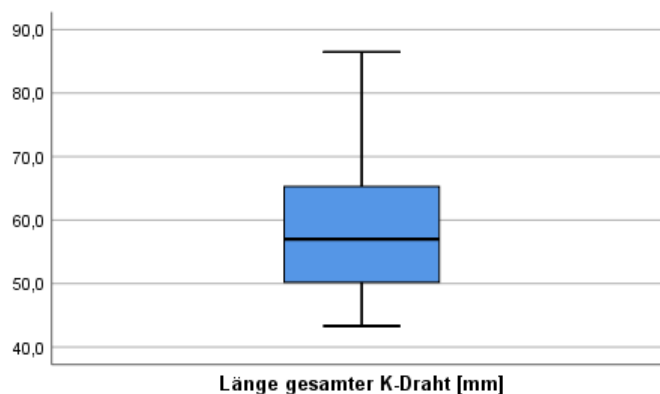
Die ANOVA zeigt keinen signifikanten Unterschied zwischen den verschiedenen ACG Typen ( $p = 0,667$ , **Abb. 61**).



**Abb. 61: ACG Typ abhängiger Winkel zwischen Draht und Glenoid**  
 ICT: incongruous type, ORT: overriding type, URT: underriding type, VT: vertical type

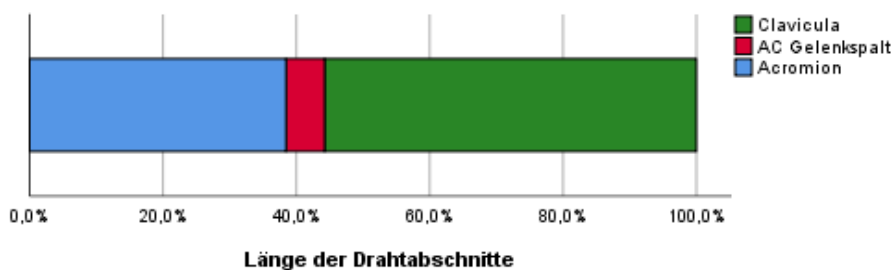
### 4.3.3 Drahtlänge

Als mittlere Drahtlänge wurden 58,06 mm ermittelt (95 %-Konfidenzintervall 55,73 – 60,38 mm) (**Abb. 62**). Die Messwerte sind optisch im Q-Q-Diagramm normalverteilt, nach Kolmogorov-Smirnov ( $p = 0,026$ ) liegt keine Normalverteilung vor.



**Abb. 62: Länge gesamter K-Draht**

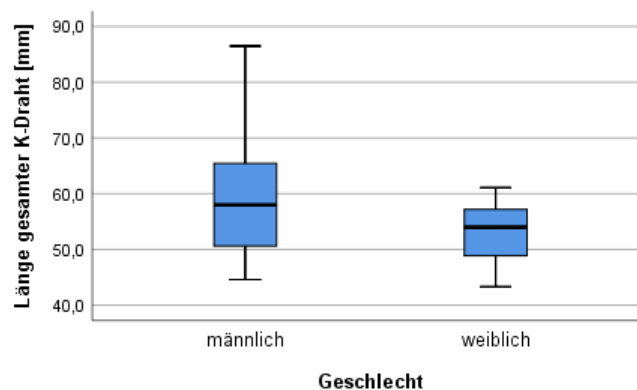
Von dem insgesamt durchschnittlich 58,06 mm langen K-Draht verlaufen im Mittel 38,44 % (22,32 mm) innerhalb des Acromions, 5,80 % (3,37 mm) liegen im AC-Gelenkspalt und die restlichen 55,74 % (32,36 mm) verlaufen innerhalb der Clavicula (**Abb. 63**).



**Abb. 63: Verteilung der Drahtabschnitte nach anatomischer Lage**

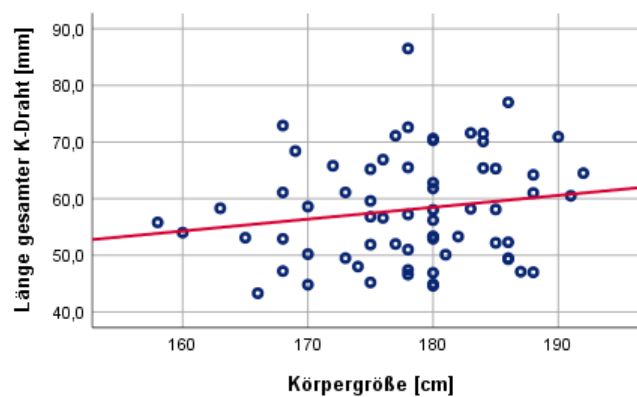
Die Untersuchung auf geschlechtsspezifische Unterschiede erfolgte mit dem t-Test für unverbundene Stichproben. Bei  $p = 0,130$  liegt hier kein signifikanter Unterschied vor (**Tab. 10**). Bei einer mittleren Differenz von 5,74 mm (95 %-Konfidenzintervall -1,74 – 13,22 mm) ist jedoch eine Tendenz zu längeren K-Drähten bei männlichen Patienten zu verzeichnen (**Abb. 64**).



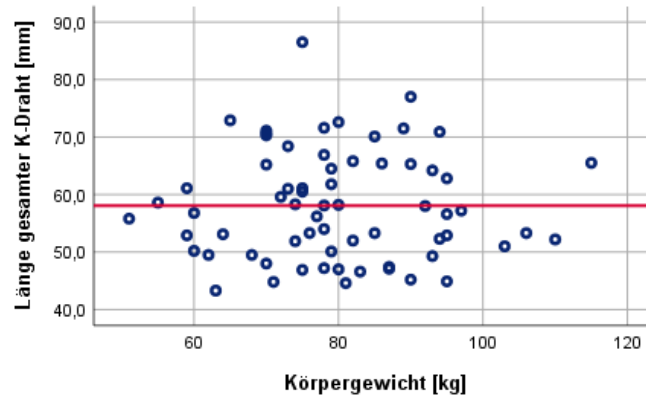


**Abb. 64: Geschlechtsabhängige Drahtlänge**

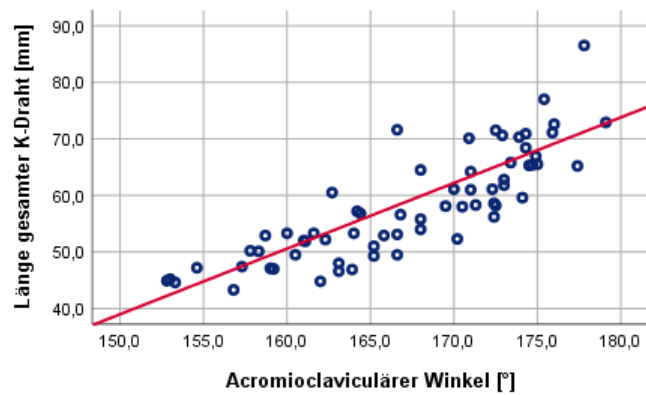
Die Regressionen zwischen der Drahtlänge und der Körpergröße, dem Körpergewicht sowie dem AC-Winkel zeigen klar, dass die Länge des gesamten K-Drahtes am stärksten mit dem AC-Winkel korreliert (Pearson  $r = 0,840$ ;  $p = 0,000$ , **Abb. 67**). Große AC-Winkel gehen signifikant mit langen Drahtverläufen einher. Schultern größerer Patienten haben zwar tendenziell auch längere Drahtverläufe, dieser Zusammenhang ist jedoch nicht signifikant ( $r = 0,165$ ;  $p = 0,185$ , **Abb. 65**). Zwischen der Drahtlänge und dem Körpergewicht konnte kein Zusammenhang aufgezeigt werden ( $r = 0,000$ ;  $p = 0,999$ , **Abb. 66**).



**Abb. 65: Korrelation zwischen Körpergröße und Drahtlänge**

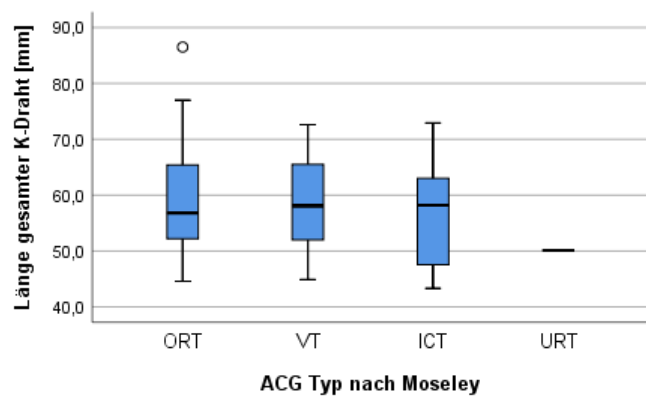


**Abb. 66: Korrelation zwischen Körpergewicht und Drahtlänge**



**Abb. 67: Korrelation zwischen AC-Winkel und Drahtlänge**

Die ANOVA weist keinen signifikanten ACG Typ abhängigen Drahtlängenunterschied nach ( $p = 0,709$ , **Abb. 68**).

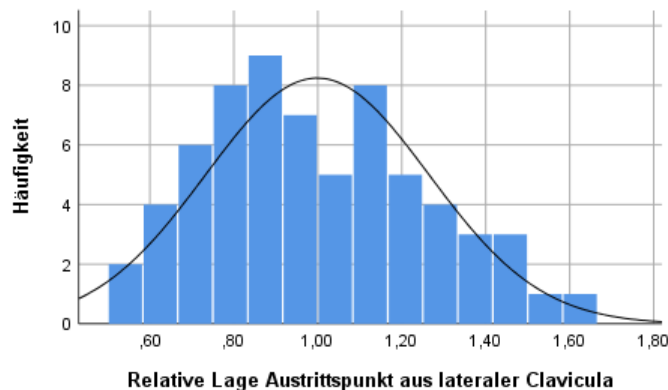


**Abb. 68: ACG Typ abhängige Drahtlänge**

*ICT: incongruous type, ORT: overriding type, URT: underriding type, VT: vertical type*

#### 4.3.4 Lage des Austrittspunktes

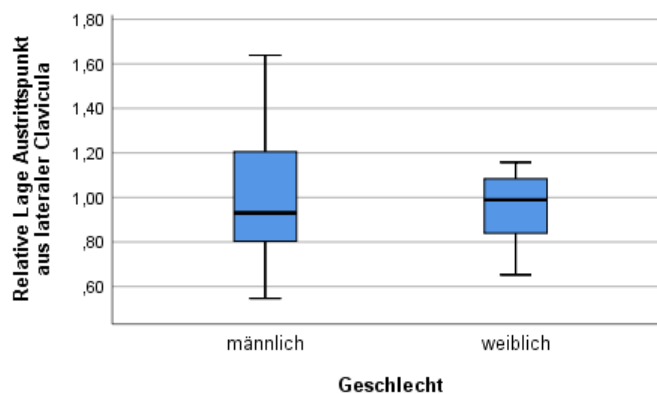
Bezogen auf die Länge der lateralen Clavicula wurde die relative Lage des Austrittspunktes von lateral aus betrachtet ermittelt. Diese belief sich im Mittel auf 99,87 %, also nahezu exakt auf Höhe des lateralen Claviculawinkels. Das 95 %-Konfidenzintervall beträgt 93,33 – 106,41 %. Mit  $p = 0,092$  nach Kolmogorov-Smirnov sind die Daten normalverteilt, optisch kann dies bestätigt werden (**Abb. 69**).



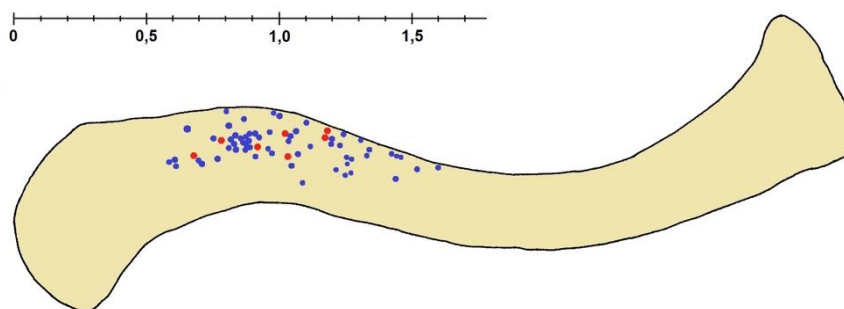
**Abb. 69: Relative Lage des Austrittspunktes**

*Lage des Austrittspunktes bezogen auf die Länge der gesamten lateralen Clavicula von lateral aus betrachtet*

Der t-Test zeigt mit  $p = 0,607$  keinen signifikanten geschlechtsabhängigen Unterschied der Lage des Austrittspunktes (**Abb. 70, Tab. 10**). Die **Abbildung 71** zeigt eine Übersicht der Lage aller Austrittspunkte aus der Clavicula in Abhängigkeit vom Geschlecht.

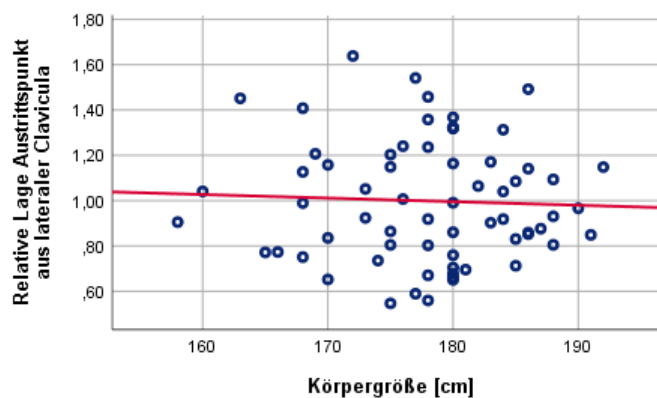


**Abb. 70: Geschlechtsabhängig Lage des Austrittspunktes**

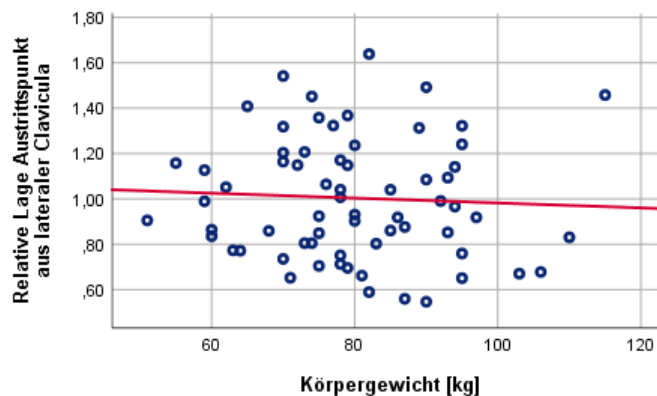


**Abb. 71: Verteilung der Drahtaustrittspunkte aus der Clavicula nach Geschlecht**  
 Markierung der Austrittspunkte anhand eines relativen Maßstabes der Länge der lateralen Clavicula, rot: Patientinnen; blau: Patienten [Eigene Zeichnung]

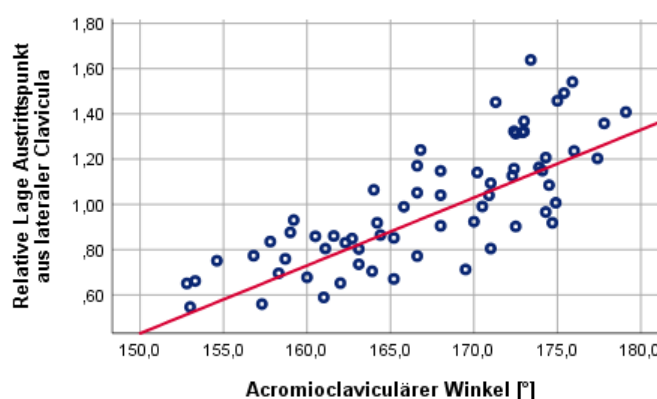
In den **Abbildungen 72-74** sind die linearen Regressionen zwischen der relativen Lage des Austrittspunktes und der Körpergröße (Pearson  $r = -0,044$ ;  $p = 0,725$ ), dem Körpergewicht ( $r = -0,054$ ;  $p = 0,669$ ) sowie dem AC-Winkel ( $r = 0,782$ ;  $p = 0,000$ ) zu sehen. Hier ist zu erkennen, dass die Lage des Austrittspunktes signifikant mit dem acromioclaviculären Winkel korreliert, wobei große Winkel mit medialen Austrittspunkten einhergehen (**Abb. 74**). Zwischen der Lage des Austrittspunktes und der Körpergröße oder dem Körpergewicht konnten keine signifikanten Zusammenhänge nachgewiesen werden.



**Abb. 72: Korrelation zwischen Körpergröße und Lage des Austrittspunktes**

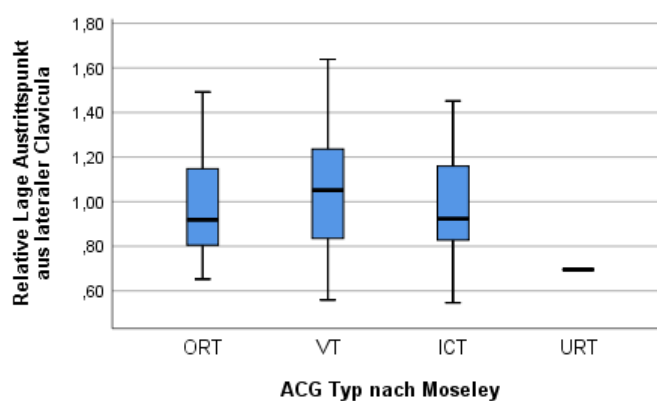


**Abb. 73: Korrelation zwischen Körpergewicht und Lage des Austrittspunktes**



**Abb. 74: Korrelation zwischen AC-Winkel und Lage des Austrittspunktes**

Bei der Untersuchung auf Unterschiede in Abhängigkeit vom ACG Typ fallen bei  $p = 0,543$  keine signifikanten Unterschiede in der ANOVA auf (**Abb. 75**).



**Abb. 75: ACG Typ abhängige relative Lage des Austrittspunktes**  
 ICT: incongruous type, ORT: overriding type, URT: underriding type, VT: vertical type

## 5. Diskussion

### 5.1 Material und Methoden

Betrachtet man die Zusammensetzung des Patientenkollektivs, das den für diese Arbeit herangezogenen CT Datensätzen zugrunde liegt, und vergleicht dieses mit in der Literatur vorbeschriebenen Daten über das von einer AC-Sprengung betroffene Patientenkollektiv, so zeigt sich eine gute epidemiologische Vergleichbarkeit (**Tab. 6**, S. 27). Zwar ist das durchschnittliche Alter mit 30,8 Jahren etwas jünger als in der Literatur angegeben (37,5 Jahre <sup>[24]</sup>), da jedoch kein altersabhängiger Unterschied im Drahtverlauf nachgewiesen werden konnte, wird dies als irrelevant bewertet. Folglich ist von einem für die Fragestellung der Arbeit repräsentativen Patientenkollektiv auszugehen.

Trotz Verwendung der CT Daten zweier verschiedener Computertomographen (siehe **3.1.1**) kann eine gute Vergleichbarkeit subsumiert werden, da alle CT Aufnahmen nach identischen krankenhausinternen Standards gefahren wurden und sich in ihrer Schichtdicke gleichen.

Die Messgenauigkeit des Programms beläuft sich auf eine Dezimalstelle. Die hierdurch verbleibenden Ungenauigkeiten im Zehntel Millimeter- bzw. Gradbereich erscheinen bei Verwendung eines 2 – 2,5 mm dicken Drahtes nicht relevant.

Kritisch zu betrachten sind hingegen Winkelmessungen, die in der dreidimensionalen CT Rekonstruktion erfolgten, da eine Änderung der Ansicht bzw. des Blickwinkels auf die Rekonstruktion bereits eine merkliche Änderung des gemessenen Winkels nach sich zieht. Um hier die größtmögliche Vergleichbarkeit zu erreichen, wurden bei diesen Messungen exakte Positionen der CT Rekonstruktion definiert, sodass die Winkelmessungen stets aus größtmöglich identischer Ansicht erfolgten. Mit einer verbleibenden Messungenauigkeit ist dennoch zu rechnen. Allerdings sollte auch bedacht werden, dass sich intraoperativ die gleichen Schwierigkeiten bei der Bestimmung von Winkeln im dreidimensionalen Raum zeigen. Da eine exakte operative Umsetzung der erhobenen Winkel folglich nicht möglich erscheint, scheinen die geringen Messungenauigkeiten nicht relevant. Daher sind die erhobenen – potentiell leicht ungenauen – Ergebnisse an dieser Stelle lediglich als Orientierung für das operative Vorgehen anzusehen, keinesfalls jedoch als exakt umzusetzende Werte.

## 5.2 Lage des Eintrittspunktes

Die korrekte Identifikation des idealen Eintrittspunktes des Kirschner-Drahtes stellt die Grundvoraussetzung für seine erfolgreiche Platzierung und zugleich eine der Hauptschwierigkeiten der Operation dar.

### 5.2.1 *Abstand Eintrittspunkt zu Acromionspitze*

Die Ergebnisse zeigen, dass sich der Abstand des Eintrittspunktes zur Acromionspitze orthogonal zum Draht gemessen im Mittel auf 12,89 mm beläuft, wobei das 95 %-Konfidenzintervall den Bereich von 12,26 bis 13,51 mm umfasst.

Untersuchungen auf den Einfluss verschiedener Faktoren ergeben, dass die Körpergröße einen großen Einflussfaktor auf die Lage des Eintrittspunktes darstellt. Es besteht eine starke, signifikante Korrelation zwischen der Körpergröße und dem Abstand zwischen Draht und Acromionspitze (**Abb. 40**, S. 48).

Die Daten zeigen zudem bei Frauen einen durchschnittlich 2,56 mm geringeren Abstand zur Acromionspitze gegenüber Männern und einen demnach ventraleren Drahteintritt in das Acromion. Obgleich insgesamt lediglich 7 Schultern von Patientinnen in diesem Kollektiv vorlagen, zeigt dieser Unterschied eine Signifikanz. Eine Ursache für den ventraleren Drahteintritt bei Frauen stellt die signifikant kleinere Körpergröße von Frauen dar (165,71 cm gegenüber 179,42 cm bei Männern). Weitere geschlechtsabhängige Unterschiede, die den Draht bei Frauen ventraler eintreten lassen, konnten nicht identifiziert werden, erscheinen jedoch nicht ausgeschlossen. Der geschlechtsabhängige Unterschied der Lage des Drahtes wird in Kapitel **5.6** ausführlich diskutiert.

Ähnliche Beobachtungen konnten auch bei den verschiedenen ACG Typen gemacht werden. Hier ist ein signifikanter Unterschied zwischen dem ORT und dem VT, bei dem der Draht durchschnittlich 2,06 mm ventraler eintritt, zu erkennen. Auch in diesem Fall ist primär die unterschiedliche Körpergröße als Ursache auszumachen, sind Patienten mit einem ORT mit 179,17 cm im Mittel doch 4,29 cm größer als Patienten mit einem VT (174,88 cm).

Betrachtet man nun die Ergebnisse, dass sowohl Körpergröße als auch Geschlecht und ACG Typ nach Moseley Einfluss auf den Abstand des Eintrittspunktes zur Acromionspitze haben, stellt sich die Frage, welchem der drei Faktoren die größte Gewichtung zukommt. Da jedoch sowohl beim Geschlecht als auch beim ACG Typ deutliche Unterschiede in der Körpergröße bestehen, liegt die Vermutung nahe, dass die Körpergröße in diesen beiden Fällen vornehmlich einen Mediator darstellt, der lediglich einen direkten Zusammenhang zwischen Geschlecht bzw. ACG Typ einerseits und Abstand zwischen

Eintrittspunkt und Acromionspitze andererseits vortäuscht. Daher ist an dieser Stelle davon auszugehen, dass die Körpergröße den größten Einfluss auf den Abstand vom Draht zur Acromionspitze hat und somit als ausschlaggebendes Kriterium für die Festlegung des idealen Eintrittspunktes herangezogen werden kann. Wird die Körpergröße des Patienten präoperativ erfragt, kann anhand einer Regressionsgeraden (Abstand Eintrittspunkt zu Acromionspitze in Abhängigkeit von der Körpergröße) bestimmt werden, wie viel Abstand idealerweise zur Acromionspitze gelassen werden sollte (**Abb. 76**).

Unter welchen Bedingungen sich ein Mindestabstand von 10 mm (siehe **3.2.1**) verwirklichen lässt und wann dies mutmaßlich nicht möglich ist, wird unter **5.8** ausführlich diskutiert.

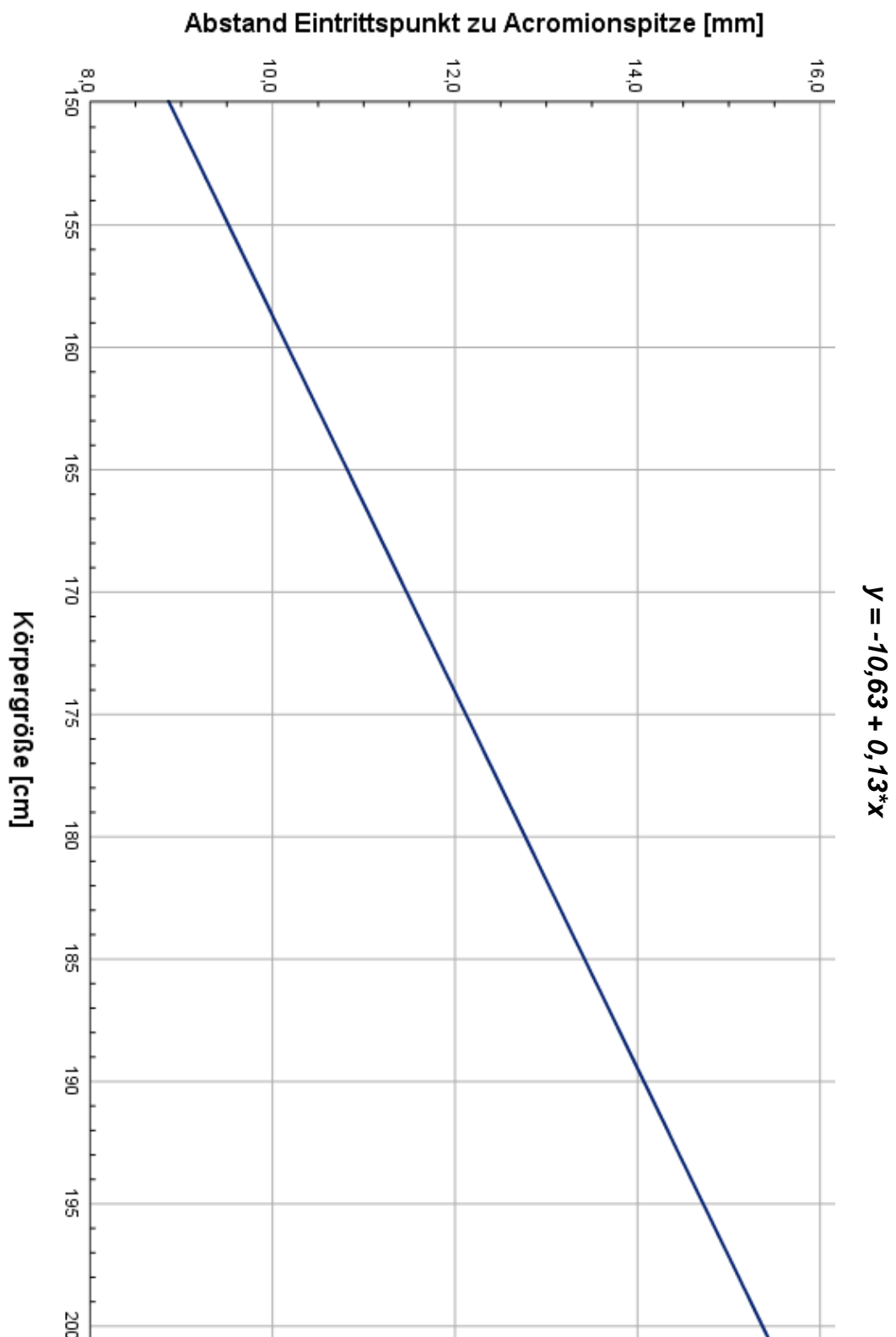
### *5.2.2 Relative Lage Eintrittspunkt am Acromion*

Es zeigt sich, dass der Eintrittspunkt durchschnittlich bei 27,96 % der gesamten Acromionlänge (95 %-Konfidenzintervall 26,63 – 29,29 %) von ventral aus zu liegen kommt. Auch bei dieser Lagedefinition ist zu erkennen, dass der Draht bei Frauen tendenziell etwa 2,98 % ventraler eintritt als bei Männern. Erneut ist davon auszugehen, dass dies durch die unterschiedliche Körpergröße erklärt wird, denn es konnte ebenfalls gezeigt werden, dass der Draht bei größeren Patienten tendenziell dorsaler eintritt (**Abb. 46, S. 51**).

Im Gegensatz zum Abstand zur Acromionspitze (s.o.) konnte bei der relativen Lage des Eintrittspunktes kein Unterschied zwischen den verschiedenen ACG Typen aufgezeigt werden. Die Begründung ist in der Länge des gesamten Acromions zu sehen: Das Acromion ist beim VT durchschnittlich 2,96 mm kürzer als beim ORT. Bei konstanter relativer Lage des Eintrittspunktes resultiert bei einem längeren Acromion beim ORT ein größerer Abstand zur Acromionspitze.

Wie bereits genannt abgesehen vom Geschlecht konnten keine Faktoren (Körpergewicht, AC-Winkel, ACG Typ) identifiziert werden, die signifikant mit der relativen Lage des Drahteintritts korrelieren und diesen zu beeinflussen scheinen.





**Abb. 76: Bestimmung der Lage des Eintrittspunktes anhand der Körpergröße**  
 Für Patientinnen empfiehlt sich die Subtraktion von 0,69 mm von dem abgelesenen Wert

### 5.2.3 Vergleich beider Methoden

Zunächst muss festgehalten werden, dass die Bestimmung des Abstandes zur Acromiionspitze intraoperativ deutlich einfacher und exakter ist. Hierfür muss lediglich eine anatomische Landmarke, die Acromiionspitze, ertastet und anschließend mit einem Maß der Abstand festgelegt werden. Soll hingegen die relative Lage bestimmt werden, so muss zusätzlich auch das dorsale Ende des Acromions aufgesucht und die Lage dann zunächst berechnet werden. Im CT Bild stellt das Erkennen des dorsalen Endes des Acromions für die Messungen kein Problem dar. Die Übertragung auf intraoperatives Er tasten bzw. ein Röntgenbild erscheint jedoch sehr schwierig bis unmöglich. Die Bestimmung der relativen Lage ist somit in der intraoperativen Umsetzung deutlich schwieriger, aufwendiger und auch fehleranfälliger.

Hinsichtlich der Messergebnisse ist zudem festzustellen, dass der Abstand zwischen Eintrittspunkt und Acromiionspitze besser individuell jedem Patienten angepasst werden kann, da die Körpergröße ideal zur Identifikation des Eintrittspunktes herangezogen werden kann, wohingegen bei der relativen Lage keine klaren Korrelationen festgestellt werden konnten.

Zusammenfassend ist also die Bestimmung des orthogonalen Abstandes zwischen Draht und Acromiionspitze zur Festlegung des Eintrittspunktes eindeutig die zu bevorzugende Methode, da sie sowohl durch eine einfache als auch exakte Umsetzung besteht und jedem Patienten anhand **Abbildung 76** je nach seinen individuellen Gegebenheiten ein spezifischer Eintrittspunkt zugeordnet werden kann. Sollte jedoch präoperativ aus anderen Gründen ohnehin ein CT der betroffenen Schulter vorliegen, so kann selbstverständlich zusätzlich auch orientierend die relative Lage des Eintrittspunktes bestimmt werden.

### 5.3 Drahtverlauf

Um den Drahtverlauf zu definieren, wurden zwei Winkel gemessen, die jeweils von Draht und einer anatomischen Struktur eingeschlossen werden. Wie bereits in **5.1** erörtert, sind sowohl die Durchführung der Winkelmessung als auch eine exakte intraoperative Umsetzung aufgrund der Dreidimensionalität schwierig, sodass der hier dargestellte Drahtverlauf lediglich als Orientierung anzusehen ist. Es ist daher empfehlenswert, nach Identifizierung des Eintrittspunktes zusätzlich auch den ermittelten Austrittspunkt (siehe **5.5**) zu markieren und die gedachte Verbindungslinie gemeinsam mit dem abgeschätzten

Winkel als Richtungsvorgabe für das Bohren anzusehen, wobei ein bestmögliches Aufsuchen und Markieren der für die Winkelmessungen verwendeten anatomischen Landmarken trotz allem erfolgen sollte.

### 5.3.1 Winkel Draht zur Fossa supraspinata

Der durchschnittliche Draht verläuft in etwa parallel zur tiefsten Stelle der Fossa supraspinata (durchschnittlich  $2,38^\circ$ ). Bei einer großen Streuung der Werte ( $-24,8^\circ$  bis  $19,7^\circ$ ) konnte lediglich der AC-Winkel als signifikant korrelierender Faktor festgestellt werden (**Abb. 54**, S. 54). Da kleine AC-Winkel größere Winkel zwischen Draht und Fossa zur Folge haben, liegt folglich ein steilerer Drahtverlauf mit Bohrrichtung von der Fossa weg vor. Diese Tatsache erklärt sich aus der Bedingung, dass der Draht innerhalb der Acromionebene verläuft (siehe **3.2.1**). Steht das Acromion nun relativ steil gegenüber der Clavicula, besteht also ein kleiner AC-Winkel, verlangt dies auch einen steilen Drahtverlauf mit Bohrrichtung nach kranial.

Hingegen besteht keine Korrelation zu Körpergröße oder Körpergewicht, der Winkel zur Fossa ist ebenfalls unabhängig von Geschlecht und ACG Typ.

### 5.3.2 Winkel Draht zum Glenoid

Es wurde ein durchschnittlicher Winkel zwischen Draht und Glenoid von  $101,24^\circ$  gemessen. Dieser Winkel zeigt sich unabhängig von Geschlecht, Körpergewicht und ACG Typ. Ein Zusammenhang mit hoher Korrelation besteht jedoch wie auch bereits bei **5.3.1** mit dem AC-Winkel (**Abb. 60**, S. 57). Diese Winkelmessung bestätigt also, dass kleine AC-Winkel einen steilen Drahtverlauf zur Folge haben.

Zusätzlich korreliert der zwischen Draht und Glenoidebene gebildete Winkel leicht mit der Körpergröße. Hierbei haben größere Patienten einen etwas größeren Winkel zwischen Draht und Glenoid und somit ebenfalls einen steileren Drahtverlauf (**Abb. 58**, S. 56).

### 5.3.3 Vergleich beider Methoden

Vergleicht man die Ergebnisse der beiden Winkelmessungen, so scheint keine der beiden Methoden überlegen zu sein. Vielmehr sollten beide Winkel nicht für sich alleine betrachtet, sondern gemeinsam als Orientierung für die Bohrrichtung dienen. Hinsichtlich einer intraoperativen Umsetzbarkeit sind beide Winkel nicht ideal geeignet, da weder die Fossa supraspinata noch die Glenoidebene direkt ertastet, sondern lediglich in ihrer Lage geschätzt werden können.

Beide Methoden ergeben zudem ein identisches Ergebnis: der bestehende AC-Winkel ist der entscheidende Faktor, wie steil der K-Draht vorgebohrt werden sollte. Je kleiner der Winkel zwischen Acromion und lateraler Clavicula, desto weiter muss nach kranial gezielt werden, um die Acromionebene nicht zu verlassen.

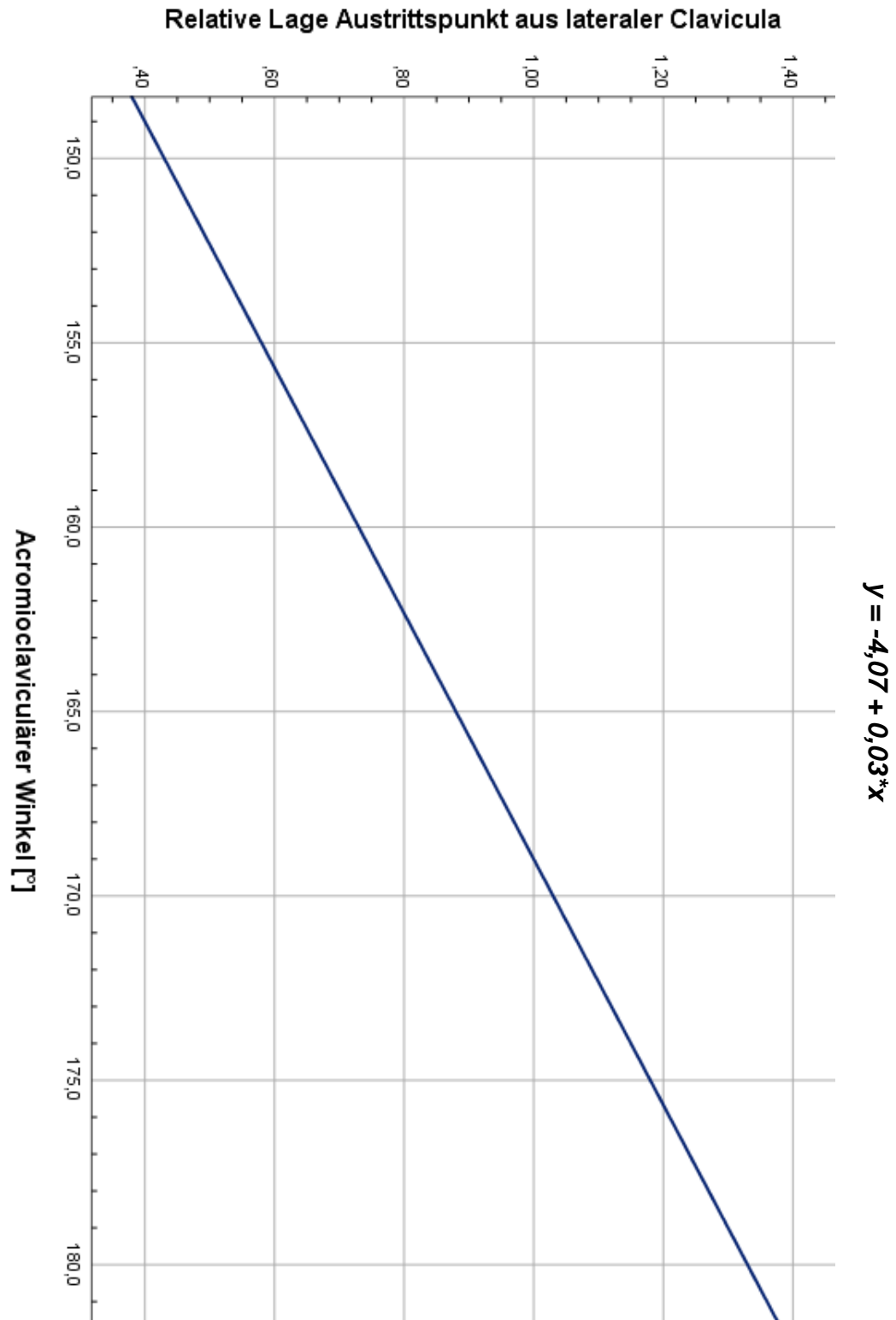
#### 5.4 Drahtlänge

Die gesamte Drahtlänge misst durchschnittlich 58,06 mm (95 %-Konfidenzintervall 55,73 – 60,38 mm). Die Kenntnis der zu erwartenden gesamten Drahtlänge ist keine Voraussetzung für eine ideale Drahtplatzierung. Dennoch gibt es auch an dieser Stelle Faktoren, die präoperativ bedacht werden sollten, beispielsweise die Tatsache, dass die Länge des Drahtes innerhalb der Clavicula 20 mm nicht unterschreiten sollte (siehe **3.2.1**). Daher ist auch die Kenntnis der Einflussfaktoren auf die Drahtlänge obligat, um präoperativ das Risiko für einen zu kurzen Drahtverlauf innerhalb der Clavicula abzuschätzen und somit auch das Risiko für ein Ausbrechen des Drahtes zu minimieren.

Es zeigen sich multiple Faktoren, die die Länge des Drahtes beeinflussen. Zunächst besteht eine starke Korrelation zwischen dem AC-Winkel und der Drahtlänge ( $r = 0,840$ , **Abb. 67**, S. 60). Unter **5.3** wurde bereits dargestellt, dass der AC-Winkel den Drahtverlauf vorgibt: bei einem kleinen AC-Winkel besteht ein steiler Drahtverlauf, woraus wiederum ein kurzer Draht resultiert.

Neben dem AC-Winkel ist auch die Körpergröße von Relevanz für die Drahtlänge. Hier besteht eine – wenn auch nicht signifikante – Korrelation zwischen Drahtlänge und Körpergröße (**Abb. 65**, S. 59). Je größer der Patient, desto länger ist der erforderliche ideale Kirschner-Draht. Ebenso ist das Geschlecht für die Länge des Drahtes relevant. So ist bei Männern ein durchschnittlich 5,74 mm längerer K-Draht zu erwarten. Erneut kann auch hier der nachgewiesene Unterschied durch die unterschiedliche Körpergröße erklärt werden (siehe **5.6**). Zwischen der Drahtlänge und dem Körpergewicht oder dem ACG Typ konnte kein Zusammenhang nachgewiesen werden.

Unter welchen Bedingungen eine Drahtlänge von 20 mm innerhalb der Clavicula gewährleistet werden kann und wann dies mutmaßlich nicht möglich ist, wird in Kapitel **5.8** diskutiert.

5.5 Lage des Austrittspunktes

**Abb. 77: Bestimmung der relativen Lage des Austrittspunktes anhand des AC-Winkels**  
 Der Abstand des Austrittspunktes vom ACG berechnet sich anhand der abgelesenen relativen Lage, die mit der Länge der lateralen Clavicula multipliziert werden muss

Da sich, wie bereits ausgeführt, die Richtung des Drahtverlaufes in der Umsetzung schwierig darstellt und neben dem geschätzten Bohrwinkel auch auf die Markierung des festgelegten Austrittspunktes gezielt werden sollte, ist die korrekte Identifizierung des Austrittspunktes neben der Festlegung des Eintrittspunktes eine weitere Voraussetzung für die erfolgreiche Platzierung des Drahtes in idealer Position.

Die Lage wurde dabei in Relation zur Lage des lateralen Claviculawinkels gesetzt und angegeben, bei wie viel Prozent der Länge der lateralen Clavicula von lateral aus betrachtet der Draht austritt. Die Messungen ergeben hierbei einen durchschnittlichen Austritt exakt auf Höhe des lateralen Claviculawinkels und somit bei 100 % der lateralen Claviculalänge. Die Lage des Austrittspunktes zeigt sich unabhängig von Körpergröße, Körpergewicht, Geschlecht oder ACG Typ.

Bei Auswertung der Daten zur Lage des Austrittspunktes fällt klar auf, dass der AC-Winkel der entscheidende Faktor ist. Es besteht eine starke, signifikante Korrelation ( $r = 0,782$ ) zwischen den beiden Werten (**Abb. 74**, S. 63). Große AC-Winkel gehen dabei mit medialen Austrittspunkten einher, da der Draht weniger steil in die Schulter eingebracht und in eine flachere Richtung vorgebohrt wird, wodurch der Drahtverlauf länger ist und der Austritt medialer liegt (siehe **5.3** und **5.4**).

Zur präoperativen Bestimmung der Lage wurde eine Regressionsgerade erstellt, die das Ablesen der relativen Lage des Austrittspunktes in Abhängigkeit vom AC-Winkel ermöglicht, woraus wiederum nach Längenmessung der lateralen Clavicula der Abstand zum ACG errechnet werden kann (siehe **Abb. 77**).

### 5.6 Einfluss des Geschlechts

Die Frage nach geschlechtsabhängigen Lageunterschieden eines idealen Drahtes kann aus den vorliegenden Daten noch nicht mit endgültiger statistischer Sicherheit beantwortet werden. Da das untersuchte Patientenkollektiv entsprechend den epidemiologischen Daten der Verletzung zusammengesetzt wurde, wurden CT Bilder von insgesamt lediglich 7 Frauen vermessen. Trotz der daher eingeschränkten statistischen Aussagekraft der bisherigen Ergebnisse, ist zu bedenken, dass von der AC-Sprengung lediglich zu 10,5 % Frauen betroffen sind<sup>[24]</sup>, sodass grundlegende Kenntnisse über die ideale Drahtlage bei männlichen Patienten zunächst wichtiger erscheinen. Dennoch sind bereits deutliche Tendenzen und teils signifikante geschlechtsabhängige Unterschiede aufgefallen, die im Folgenden diskutiert werden und zukünftig durch weitere Studien gezielter untersucht werden sollten.

Bis durch weitere Studien aussagekräftige Ergebnisse vorliegen, kann zur operativen Versorgung von Frauen auf die geschlechtsunabhängigen durchschnittlichen Ergebnisse zurückgegriffen werden und gegebenenfalls lediglich die unten genannte Anpassung des Eintrittspunktes erfolgen.

Es konnte gezeigt werden, dass der ideale Draht bei Frauen in Relation zur Acromionspitze insgesamt 2,56 mm signifikant ventraler eintritt als bei Männern. Unter Berücksichtigung der ebenfalls signifikant unterschiedlichen durchschnittlichen Körpergröße von Männern (179,42 cm) und Frauen (165,71 cm), kann aus **Abbildung 76** (S. 67) der optimale Eintrittspunkt für jedes Geschlecht in Abhängigkeit von der durchschnittlichen Körpergröße ermittelt werden. Hieraus ergeben sich Abstände zur Acromionspitze von 12,69 mm für Männer und 10,91 mm für Frauen. Allein aufgrund der Größendifferenz wäre also mit einem Unterschied von 1,78 mm zu rechnen. Demnach verbleibt noch immer eine Differenz von 0,78 mm ventralerem Eintritt bei Frauen (gegenüber dem Unterschied von gemessenen 2,56 mm), der nicht allein durch die Körpergröße zu erklären ist, sondern vermutlich auf weitere, bisher nicht bekannte Ursachen oder aber die geringe Fallzahl inkludierter CT Daten von Patientinnen zurückzuführen ist.

Es ist daher zu empfehlen, bei Frauen den in **Abbildung 76** ermittelten Eintrittspunkt leicht nach ventral zu korrigieren. Berechnet wurde diese Korrektur analog der Differenz zwischen Männern und Frauen (s. o.): gemessen wurde ein insgesamt 0,69 mm geringerer Abstand zwischen Eintrittspunkt und Acromionspitze bei Frauen gegenüber dem Gesamtkollektiv, der sich laut **Abbildung 76** nicht durch den Größenunterschied (Frauen 165,71 cm gegenüber 177,97 cm des Gesamtkollektivs) erklären lässt und den es daher bei Frauen von dem in **Abbildung 76** abgelesenen Wert zu subtrahieren gilt. Es ist jedoch streng darauf zu achten, dass weiterhin ein ausreichender Abstand von über 10 mm zur Acromionspitze gewährleistet ist. Ob eine solche Korrektur von lediglich 0,69 mm bei einer Drahtdicke von 2 – 2,5 mm tatsächlich von Relevanz ist und ob eine solch exakte intraoperative Umsetzung de facto möglich ist, sei jedoch an dieser Stelle kritisch hinterfragt.

Auch bei der Drahtlänge fallen geschlechtsabhängige Unterschiede auf. Die erhobenen Daten zeigen einen tendenziell 5,74 mm längeren Draht bei Männern, ohne dabei einen signifikanten Unterschied nachzuweisen. Auch in diesem Fall wären anhand der Regressionsgeraden (**Abb. 65**, S. 59) durch den bestehenden Größenunterschied zwischen Männern (58,42 mm erwartete Drahtlänge) und Frauen (55,42 mm) 2,88 mm Differenz zu erklären. Da bei Männern und Frauen kein signifikanter Unterschied beim AC-Winkel besteht (167,3° vs. 166,4°), kann hier kein Grund für die unterschiedliche Drahtlänge

gesucht werden. Die größenunabhängig verbleibende Drahtlängendifferenz von 2,86 mm ist also auf andere, noch unbekannte Ursachen zurückzuführen.

Die Kenntnis der geschlechtsabhängig unterschiedlichen Drahtlänge ist für die Durchführung der eigentlichen Drahtplatzierung gleichwohl irrelevant. An dieser Stelle sei jedoch bereits darauf hingewiesen, dass bei Frauen aufgrund der tendenziell kürzeren Drahtlänge ein höheres Risiko besteht, die geforderte Drahtlänge von 2 cm innerhalb der Clavicula zu unterschreiten (siehe **5.8**).

Weder der Drahtverlauf noch die Lage des Austrittspunktes weisen einen geschlechtsabhängigen Unterschied auf, sodass auch bei Frauen die Ergebnisse von **5.3** und **5.5** angewendet werden können.

#### 5.7 Einfluss des ACG Typs nach Moseley

Auch die Frage nach dem Einfluss des von Moseley definierten ACG Typs <sup>[65]</sup> auf die Lage des idealen Kirschner-Drahtes galt es in dieser Arbeit zu untersuchen. Die im vorliegenden Patientenkollektiv aufgetretene Verteilung der verschiedenen ACG Typen deckt sich mit der in der Literatur angegebenen Verteilung der Allgemeinbevölkerung (**Abb. 36**, S. 46). Der lediglich einmalig im verwendeten Datensatz vertretene URT wurde aufgrund mangelnder statistischer Aussagekraft von den Auswertungen ausgeschlossen.

Der einzige Lageparameter, der in Abhängigkeit vom ACG Typ zu variieren scheint, ist die Lage des Eintrittspunktes. Hier konnte nachgewiesen werden, dass der Draht bei Patienten mit einem VT idealerweise 2,06 mm signifikant näher zur Acromionspitze eintritt als bei Patienten mit einem ORT. Weitere Untersuchungen, wo die Ursachen für den Unterschied liegen, konnten zeigen, dass auch in diesem Falle – ebenso wie bereits unter **5.6** beim geschlechtsabhängigen Unterschied der Lage des Eintrittspunktes – erneut der Größenunterschied ursächlich sein dürfte. VT Patienten sind durchschnittlich 4,29 cm kleiner als ORT Patienten und weisen daher auch laut Regressionsgeraden geringere Abstände zwischen Draht Eintritt und Acromionspitze auf. Da die variable Lage des Eintrittspunktes also primär unterschiedlicher Körpergröße geschuldet ist, ist dieser Unterschied bereits durch Verwendung der Regressionsgeraden der **Abbildung 76** (S. 67) abgedeckt. Es kann also auf eine präoperative Bestimmung des ACG Typs verzichtet werden, da hieraus kein unterschiedliches operatives Vorgehen resultiert.

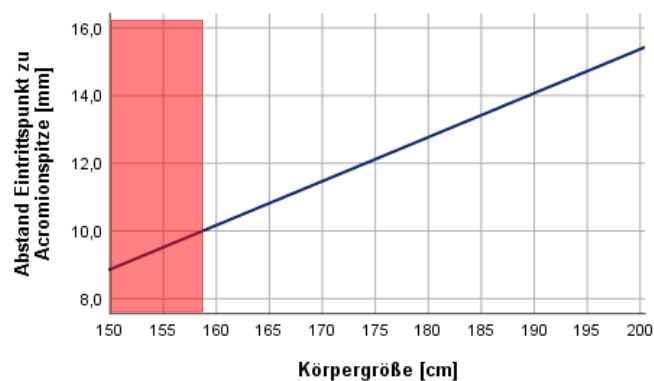


### 5.8 Anatomische Gegebenheiten mit unmöglicher optimaler Drahtplatzierung

Unter **3.2.1** sind die Lagekriterien aufgeführt, die bei der Platzierung zu beachten und unbedingt einzuhalten sind, um Komplikationen zu verhindern wie beispielsweise ein Ausbrechen des Drahtes mit folgender gefährlicher Wanderung des Materials. Daher befasst sich diese Arbeit neben der Frage nach den idealen Lageparametern auch mit der Fragestellung, ob eine ideale Drahtplatzierung überhaupt ausnahmslos möglich ist oder bei welchen anatomischen Gegebenheiten eine optimale Positionierung nicht möglich ist.

Keine Probleme ergaben sich bei den Bestrebungen, dass der Draht lateral eintritt, anschließend mittig im Acromion verläuft, zentral das ACG durchquert, senkrecht in die Clavicula eintritt, der lateralen Claviculaachse folgt und etwa auf Höhe der CC-Bänder austritt. Da diese Kriterien ausnahmslos erfüllt wurden, ist damit eines der Hauptziele dieser OP-Methode – die Rotationsmöglichkeit der Clavicula im ACG zu bewahren – gewährleistet.

Da in drei Fällen der Mindestabstand zur Acromionspitze von 10 mm nicht eingehalten werden konnte, scheint eine strikte Erfüllung dieses Lagekriteriums die größte Schwierigkeit darzustellen. Wie unter **5.2** erklärt, ist die Körpergröße das entscheidende Kriterium für die Lage des Eintrittspunktes. Daher lässt sich anhand einer Regression eine Mindestkörpergröße von 158,69 cm berechnen, um die geforderten 10 mm Abstand zur Acromionspitze einzuhalten und damit das Risiko eines ausbrechenden Drahtes zu minimieren (**Abb. 78**).



**Abb. 78: Regression Körpergröße zur Lage des Eintrittspunktes**

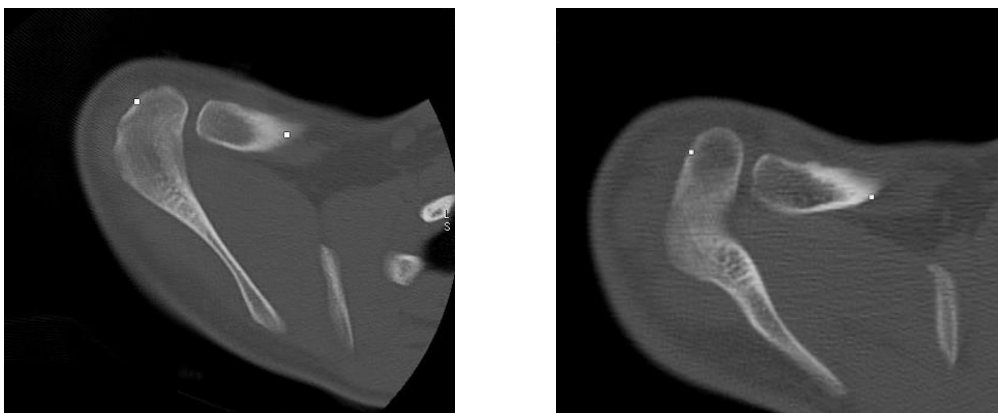
*Roter Bereich: Bei Körpergrößen von unter 158,69 cm ist statistisch gesehen mit einem zu geringen Abstand des Drahtes zur Acromionspitze (< 10 mm) zu rechnen*

Innerhalb des eigenen Datenkollektivs befindet sich nur eine Schulter, die einem Patienten mit einer Körpergröße unterhalb dieses berechneten Grenzwertes zuzuordnen ist. Bei der Schulter dieses Patienten konnte der Mindestabstand von 10 mm tatsächlich

nicht eingehalten werden (158 cm Körpergröße; 8,3 mm Abstand zwischen Acromionspitze und Eintrittspunkt). In dem Kollektiv sind zwei weitere Patienten, bei denen auf den 10 mm Mindestabstand zugunsten eines mittigen Drahtverlaufs durch das ACG verzichtet werden musste. Diese Patienten sind jedoch größer als der Mindestgrenzwert. Folglich ist die Körpergröße nicht die einzige Voraussetzung für die Einhaltung des Mindestabstandes zur Acromionspitze.

Um solche Patienten künftig präoperativ identifizieren und Rückschlüsse ziehen zu können, was für ein Patientenkollektiv von diesem Platzierungsproblem betroffen zu sein scheint und was für gemeinsame Merkmale diese Patienten aufweisen, wurden die drei betroffenen Schultern näher untersucht. Es handelt sich dabei um Schultern zweier Männer sowie einer Frau. An Gemeinsamkeiten weisen diese Patienten eine kleinere und leichtere Statur (durchschnittlich 172 cm, 69 kg gegenüber 178 cm, 80 kg des gesamten Patientenkollektivs) und eine schmalere Clavicula als der Durchschnitt auf (15,36 mm gegenüber 21,03 mm), es besteht in allen drei Fällen ein VT. Zudem scheint die Clavicula sehr ventral mit dem Acromion zu artikulieren, die Facies articularis clavicularis acromii also sehr weit ventral zu liegen. Die ventrale Lage einer sehr schmalen Clavicula bei zugleich kleinen, recht zierlichen Patienten scheint demnach die Hauptursache für ein Nichteinhalten des geforderten Mindestabstandes von 10 mm zu sein (**Abb. 79**).

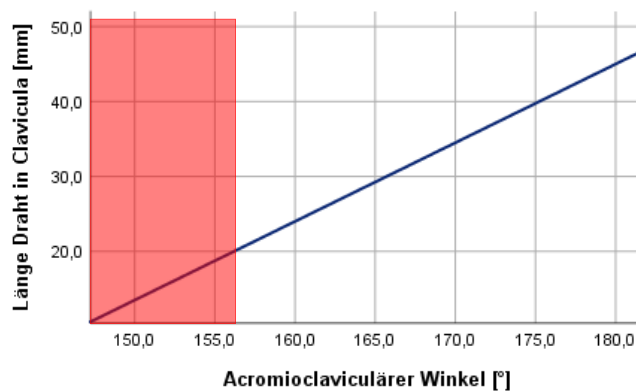
Angesichts dieser Ergebnisse empfiehlt es sich also, präoperativ an der gesunden Schulter zu tasten, wie weit ventral die Clavicula mit dem Acromion artikuliert. Fällt hierbei nun auf, dass die Clavicula sehr ventral steht und eher schmal ist, der Patient zusätzlich in den Bereich des Körpergrößen-Grenzwertes von 159 cm fällt und auch von eher zierlicher Gestalt ist, so muss gut abgewogen werden, ob eventuell eine alternative OP-Methode vorgezogen werden sollte.



**Abb. 79: Breite und Stellung der Clavicula**

*Links: Ventrale Lage einer schmalen Clavicula  
Rechts: Durchschnittliche Lage und Breite der Clavicula [Eigene Abbildung]*

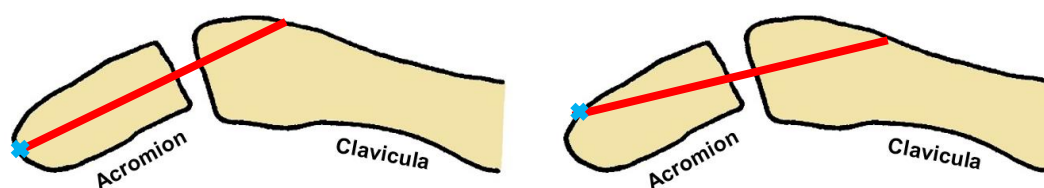
Bezüglich der Mindestdrahtlänge von 20 mm in der Clavicula ergaben sich innerhalb des vorliegenden Patientenkollektivs keine Probleme, jedoch lag der Minimalwert hier mit 20,3 mm nur knapp über dem geforderten Mindestwert. Da die Drahtlänge primär vom AC-Winkel abhängt (siehe **5.4**), konnte auch hier anhand einer Regression ein Grenzwert berechnet werden. Sobald ein AC-Winkel von  $156,19^\circ$  unterschritten wird, ist zu befürchten, dass der Draht weniger als 20 mm in der Clavicula zurücklegt und somit prädisponiert ist für ein Ausbrechen (**Abb. 80**).



**Abb. 80: Regression AC-Winkel zur Drahtlänge in Clavicula**

*Roter Bereich: Bei AC-Winkeln von unter  $156,19^\circ$  ist statistisch gesehen mit einer zu kurzen Drahtlänge innerhalb der Clavicula ( $< 20$  mm) zu rechnen*

Innerhalb des eigenen Patientenkollektivs liegen bei insgesamt vier Schultern AC-Winkel vor, die den Grenzwert von  $156^\circ$  unterschreiten (Minimalwert von  $152,8^\circ$ ). Dennoch war es in allen vier Fällen möglich, einen Drahtverlauf von über 20 mm innerhalb der Clavicula zu gewährleisten (durchschnittlich 21,10 mm, Minimalwert von 20,3 mm). Bei Unterschreiten des Grenzwertes muss also nicht grundsätzlich auf die hier diskutierte OP-Methode verzichtet werden. Sollten weitere Risikofaktoren für einen kurzen Drahtverlauf vorliegen (weibliches Geschlecht, kleine Körpergröße; siehe **5.4**), ist die operative Versorgung mittels K-Draht jedoch nur restriktiv anzuwenden. Liegen also die oben genannten Risikofaktoren präoperativ vor, ist abzuwägen, ob entweder ein alternatives OP-Verfahren angewandt wird oder ob dezent von den festgelegten Kriterien des optimalen Drahtverlaufs (siehe **3.2.1**, S. 28) abgewichen werden kann. Denkbar ist beispielsweise eine Verlagerung des Eintrittspunktes vom lateralen Acromionrand nach leicht kranial und medial, womit der Draht jedoch nicht mehr, wie eigentlich gewünscht, der Acromionebene folgt. Jedoch kann so ein weniger steiler Drahtverlauf erzielt werden, woraus wiederum ein längerer Verlauf innerhalb der Clavicula resultiert (**Abb. 81**).



**Abb. 81: Verlagerung des Eintrittspunktes zur Sicherstellung einer ausreichenden Drahtlänge in der Clavicula**

Bei Patienten mit einem kleinen acromioclaviculären Winkel kann von dem vorgegebenen idealen Drahtverlauf mit Lage innerhalb der Acromionebene (links) zugunsten eines längeren intraclaviculären Drahtverlaufes (rechts) abgewichen werden. Dies geschieht durch Verlagerung des Eintrittspunktes (blau) nach kranial medial, um den Grenzwert von 20 mm Mindestdrahtlänge innerhalb der Clavicula nicht zu unterschreiten. [Eigene Zeichnung]

An dieser Stelle sollte jedoch auch darauf hingewiesen werden, dass aktuell noch keine aussagekräftigen Studien existieren, die Versuche zur Stabilität von Acromion und Clavicula in Abhängigkeit von der Drahtlage und -länge durchführen und daher einen klaren Mindestabstand zur Acromionspitze bzw. Mindestdrahtlänge innerhalb der Clavicula empfehlen können. Solange nicht bekannt ist, welcher Mindestabstand zur Acromionspitze eingehalten werden muss sowie welche Drahtlänge in der Clavicula nicht unterschritten werden darf, ohne das Risiko für Frakturen und Materialausbrüche zu erhöhen, sollten die hier verwendeten Grenzwerte von 10 mm und 20 mm eingehalten werden, bei deren Beachtung sich bislang noch keine Komplikationen zeigten. Bedenkt man nun darüber hinaus, dass es mithilfe der hier gewonnenen Daten dem Operateur erleichtert wird, einen Draht auf Anhieb ideal zu platzieren, so fällt auch die zusätzliche Schwächung des Knochens durch mehrfache Bohrungen weg, sodass eine höhere Stabilität resultiert. Es kann also davon ausgegangen werden, dass unter der Voraussetzung einer einmaligen Bohrung auch Abstände knapp unter 10 mm zur Acromionspitze, wie der in dieser Arbeit minimal gemessene Abstand von 8,3 mm, noch bedenkenlos akzeptiert werden können. Nähere Datenerhebungen zur knöchernen Stabilität und Belastbarkeit wären folglich wünschenswert.

Abschließend kann festgehalten werden, dass sowohl bei Patienten unter 159 cm Körpergröße mit ventraler Stellung einer schmalen Clavicula als auch bei v. a. weiblichen Patienten mit AC-Winkeln von unter 156° und kleiner Körpergröße möglicherweise nicht alle Lagekriterien eingehalten werden können und ein Vorgehen nach alternativem OP-Verfahren abgewogen werden sollte.

### 5.9 Empfehlungen zur Durchführung der OP

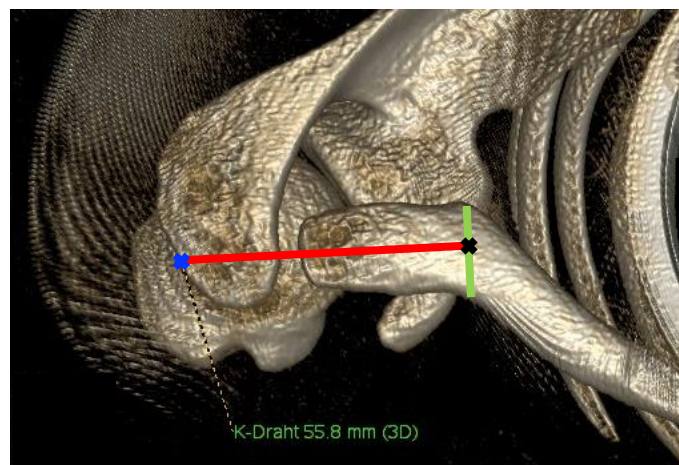
Präoperativ sollte zunächst abgeklärt werden, ob sich der Patient für die operative Versorgung mittels K-Draht eignet oder ob Risikofaktoren für eine schwierige bis unmögliche Drahtplatzierung bestehen, da beispielsweise die Grenzwerte für die Körpergröße oder den AC-Winkel unterschritten werden (siehe **5.8**).

Sofern von einer erfolgreichen Platzierung ausgegangen werden kann, muss die Körpergröße erfragt werden, um dann anhand von **Abbildung 76** (S. 67) die exakte Lage des Eintrittspunktes abzulesen (bei Frauen kann hier anschließend gegebenenfalls eine leichte Korrektur von gut einem halben mm nach ventral erfolgen, siehe **5.6**). Anschließend erfolgt im Röntgenbild (idealerweise auf der gesunden Seite in der Panoramabelastungsaufnahme, siehe **5.10**) die Bestimmung der Länge der lateralen Clavicula und des AC-Winkels. Es folgt anhand **Abbildung 77** (S. 71) das Ablesen der relativen Lage des Austrittspunktes, die sich auf die Austrittspunktage im Verhältnis zur Länge der lateralen Clavicula von lateral aus betrachtet bezieht. Multipliziert man nun die ausgemessene Länge der lateralen Clavicula mit der ermittelten relativen Lage des Austrittspunktes, erhält man den Abstand des Austrittspunktes vom ACG.

Die Operation beginnt mit dem Ertasten und Markieren der für die Drahtplatzierung wichtigsten anatomischen Landmarken (beispielsweise mittels einer Kanüle): Acromionspitze, AC-Gelenkspalt sowie laterale Claviculaachse. Zudem sollte die Lokalisation der Fossa supraspinata sowie der Glenoidebene abgeschätzt werden.

Anschließend wird der präoperativ bestimmte Abstand zur Acromionspitze am lateralen Acromion ausgemessen und die Lage des Eintrittspunktes markiert. Es sollte eine Lagekontrolle des identifizierten Eintrittspunktes erfolgen, indem Vorder- und Hinterrand der hierfür kurzzeitig manuell zu reponierenden Clavicula unmittelbar medial des ACGs ertastet werden und sichergestellt wird, dass sich der ermittelte Eintrittspunkt möglichst mittig zwischen Claviculavorder- und -hinterrand befindet. Bei Bedarf sollte an dieser Stelle eine Korrektur des Eintrittspunktes auf eine mittigere Position hin erfolgen.

Es folgt die Markierung des Austrittspunktes durch Ausmessen des errechneten Abstandes vom zuvor markierten AC-Gelenkspalt. Zusätzlich muss entschieden werden, wie ventral oder dorsal der Draht aus der Clavicula austreten soll. Hierfür nimmt man die zuvor ertastete und markierte laterale Claviculaachse zu Hilfe, auf der der Austrittspunkt nun idealerweise zu liegen kommt. Alternativ wird der Austrittspunkt durch eine durch den Eintrittspunkt führende Parallele zur lateralen Claviculaachse festgelegt (**Abb. 82**). Gegebenenfalls kann dem Operateur das Einzeichnen einer Verbindungslinie zwischen Ein- und Austrittspunkt das weitere Vorgehen erleichtern.



**Abb. 82: Identifikation des Austrittspunktes**

*Der geplante Austrittspunkt (schwarz) liegt auf dem Schnittpunkt der durch Palpation identifizierten lateralen Claviculaachse (rot), die zugleich dem geplanten Drahtverlauf entspricht, und der Markierung der berechneten Entfernung vom ACG (grün); blau: Eintrittspunkt [Eigene Abbildung]*

Nachdem Ein- und Austrittspunkt aufgesucht, markiert und auf geeignete Lage kontrolliert wurden, kann die eigentliche Bohrung des Drahtes erfolgen. Hierbei sollte zum einen auf den ermittelten Austrittspunkt gezielt werden, zum anderen sollte man sich an der abgeschätzten Lage der Fossa und der Glenoidebene orientieren und grob parallel respektive im  $100^\circ$  Winkel dazu den Draht in den Knochen eintreiben (siehe **5.3**). Bereits während des Bohrvorganges sollte unbedingt eine erste Lagekontrolle erfolgen, indem sichergestellt wird, dass der Draht mittig durch das ACG hindurchtritt.

Nach erfolgreicher Bohrung folgt eine abschließende Lagekontrolle des platzierten K-Drahtes mithilfe intraoperativer Durchleuchtung.

#### 5.10 Limitation der Daten

Die in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse erleichtern und optimieren eine Platzierung des Drahtes bei dem von einer AC-Sprengung epidemiologisch durchschnittlich betroffenen Patienten <sup>[24]</sup>. Dennoch besteht zum aktuellen Zeitpunkt noch Bedarf, zusätzliche Daten zu erheben, um auch spezielle, von diesem epidemiologischen Durchschnitt abweichende Patientengruppen wie Kinder, Frauen oder Patienten mit einem Os acromiale ideal versorgen zu können.

Kinder sind in die Datenerhebung der vorliegenden Arbeit nicht mit einbezogen worden (der jüngste Patient war 16 Jahre alt). Es stellt sich also die Frage, ab welchem Alter bzw. ab welcher Körpergröße oder Körpergewicht das OP-Verfahren mittels K-Draht bedenkenlos angewendet werden kann.

Wie bereits unter **5.6** diskutiert, sind die vorliegenden Daten nicht ausreichend, um mit endgültiger statistischer Sicherheit auch die ideale Drahtlage bei Frauen vorherzusagen. Diesbezüglich wären ebenfalls weitere Messungen wünschenswert, damit künftig auch bei weiblichem Geschlecht ein Draht auf Antrieb sicher ideal platziert werden kann.

In der Literatur ist beschrieben, dass etwa in 8,2 % der Fälle ein Os acromiale existiert [31, 36]. Bisher ist nicht bekannt, ob diese Patienten generell überhaupt für dieses OP-Verfahren geeignet sind oder ob z. B. durch die unvollständige bzw. ausgebliebene Verschmelzung der Ossifikationszentren die operative Versorgung mittels K-Draht keine ausreichende Stabilität liefern kann. Da diese Patienten von der vorliegenden Studie ausgeschlossen wurden, bleibt zudem offen, ob die Lage des idealen Drahtes bei ihnen von dem hier ermittelten Durchschnitt abweicht, sofern das OP-Verfahren überhaupt grundsätzlich geeignet ist.

Die Bestimmung des AC-Winkels erfolgte in dieser Arbeit prinzipiell anhand von CT Bildern. Es soll jedoch auf keinen Fall eine Empfehlung ausgesprochen werden, grundsätzlich zur OP-Planung ein CT zu fahren, um diesen Winkel zu bestimmen. Stattdessen sollte die Winkelmessung in einem Röntgenbild erfolgen. Es sollten daher zukünftig weitere Untersuchungen folgen, ob der in CT Bildern gemessene AC-Winkel mit dem in einem Röntgenbild übereinstimmt und somit eine Vergleichbarkeit gegeben ist. Weiterhin muss geklärt werden, welche Röntgenaufnahmetechnik sich für die Bestimmung des AC-Winkels am besten eignet. Es würde sich eine Panoramabelastungsaufnahme anbieten, da diese mit einem horizontalen Strahlengang arbeitet und somit die gleiche Ansicht auf das ACG besteht wie bei den CT Aufnahmen. Die Messung müsste in dieser Aufnahme allerdings an der kontralateralen Schulter erfolgen, da bei Luxationsstellung des ACGs der AC-Winkel nicht bestimmbar ist. Zusätzlich müsste geprüft werden, ob eine Belastungsaufnahme Einfluss auf den AC-Winkel hat und ob der AC-Winkel bei Patienten seitengleich identisch ist oder ob eine kontralaterale Messung zur Verfälschung der Ergebnisse führt.

Wie unter **5.8** bereits ausgeführt, fehlen zudem biometrische Daten, die die Grenzwerte für eine stabile Lage des Drahtes in Acromion und Clavicula definieren, um so exaktere Grenzwerte für Mindestabstand zur Acromionspitze und Mindestdrahtlänge in der Clavicula (sowie demnach auch Körpergröße und AC-Winkel, bei deren Unterschreitung die Drahtplatzierung unmöglich erscheint) angeben zu können.

### 5.11 Ausblick und langfristige Ziele

Die anhand dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse können wesentlich dazu beitragen, die technisch anspruchsvolle Bohrung des Drahtes intraoperativ zu erleichtern. Neben einer Erleichterung des operativen Vorgehens kann auch eine höhere Präzision erreicht werden. Insbesondere dadurch, dass nun Daten vorliegen, die die anatomische Variabilität der Gelenkmorphologie des AC Gelenks mit einbeziehen. Unter Berücksichtigung dieser Variabilität kann eine an die Anatomie angepasste Bohrung dazu beitragen, die Präzision der Drahtlage zu erhöhen und dadurch die Ergebnisse dieses Verfahrens zu optimieren. So wäre es beispielsweise denkbar, eine Bohrvorrichtung zu konstruieren, die es dem Operateur erleichtert, den idealen Drahtverlauf aufzufinden. Bei Nutzung technischer Hilfsmittel beispielsweise im Sinne einer Bohrvorrichtung, wie sie bereits in anderen Bereichen der orthopädischen Chirurgie Verwendung findet, wäre lediglich noch die Kenntnis des geplanten Ein- und Austrittspunktes nötig. Diese beiden Punkte lassen sich weit einfacher und exakter bestimmen als der tatsächliche Drahtverlauf. So wäre es denkbar, eine Bohrhülse auf den markierten Eintrittspunkt aufzusetzen und mithilfe einer längenverstellbaren Zielvorrichtung präzise auf den ermittelten Austrittspunkt sowie das Drehzentrum der Clavicula im ACG zu zielen. Somit könnte der Draht über eine die exakte Drahtrichtung vorgebende Hülse vorgebohrt werden, wodurch wiederum eine weit höhere Präzision erzielt werden könnte.

Ob eine präzisere Drahtplatzierung im Verlauf auch mit einem besseren klinisch-funktionellen Outcome einhergeht, müssen weiterführende Studien klären. Unbestritten würde jedoch eine Verkürzung der OP-Zeit eine Belastungsreduktion für den Patienten und eine Kostenreduktion für das Gesundheitswesen bedeuten.



## 6. Zusammenfassung

Die Acromioclaviculargelenkssprengung ist eine häufige Verletzung des Schultergürtels und am häufigsten auf einen Sportunfall vorwiegend junger Männer zurückzuführen [24]. Die optimale Therapie wird kontrovers diskutiert, keine der rund 150 OP-Methoden hat sich bisher als den anderen überlegen dargestellt [10].

Allerdings gelten Operationen, bei denen das AC-Gelenk temporär durch eine intramedulläre Schienung per Kirschner-Draht ruhiggestellt wird, als sehr zuverlässig [30, 37, 50, 56]. Sie sind aufgrund einer sehr variablen Anatomie jedoch auch für erfahrene Operateure technisch anspruchsvoll. Ziel dieser Arbeit ist es daher, mithilfe der gewonnenen Kenntnisse zur idealen Lage eines K-Drahtes das operative Vorgehen zur temporären Transfixation des ACGs künftig durch eine gezieltere Platzierung zu erleichtern, somit die Operationsmethode zu optimieren und folglich das Outcome zu verbessern.

Für diese Arbeit wurden bereits vorliegende anonymisierte computertomographische Daten gesunder AC-Gelenke nach ihrer physiologischen Anatomie sowie der Lage eines virtuell ideal platzierten transartikulären K-Drahtes ausgewertet. Hierfür wurden CT-Daten von insgesamt 66 Schultern herangezogen, der Epidemiologie der AC-Sprengung entsprechend waren hiervon 59 Patienten und 7 Patientinnen zuzuordnen. Die Kriterien für eine ideale Drahtplatzierung wurden empirisch anhand anatomischer, biomechanischer und chirurgischer Gesichtspunkte definiert. Anhand der erhobenen Daten wurden anschließend idealer Eintrittspunkt, Drahtverlauf, Drahtlänge und Austrittspunkt definiert, Einflussfaktoren auf die Lage herausgearbeitet sowie Ursachen für eine erschwerte oder auch unmögliche Drahtplatzierung untersucht.

Die erhobenen Daten zeigen, dass die **Lage des Eintrittspunktes** idealerweise durch den orthogonalen Abstand des Drahtes zur Acromionspitze definiert wird und durchschnittlich 13 mm beträgt. Er ist primär abhängig von der Körpergröße und kann daher präoperativ anhand einer Regressionsgeraden (*Abb. 76, S. 67*) individuell für jeden Patienten bestimmt werden.

Der **Drahtverlauf** sollte primär durch Zielen auf den markierten Austrittspunkt definiert werden. Das Abschätzen des Winkels zwischen Draht und Fossa suprascapularis (paralleler Verlauf) sowie der Glenoidebene ( $100^\circ$ ) erscheint nahezu unmöglich. Die **Drahtlänge** beläuft sich im Mittel auf 58 mm. Je kleiner der AC-Winkel ist, desto steiler und auch kürzer zeigt sich der Drahtverlauf.

Die **Lage des Austrittspunktes** korreliert ebenfalls mit dem AC-Winkel und kann daher nach erfolgter Winkelmessung im Röntgenbild (kontralaterale Schulter in der Panorama-belastungsaufnahme) anhand einer Regressionsgeraden abgelesen werden (*Abb. 77, S. 71*). Der mithilfe der Daten ermittelte Austrittspunkt eines ideal platzierten K-Drahtes befindet sich durchschnittlich auf Höhe des lateralen Claviculawinkels und somit auf Höhe der CC-Bänder.

Bei einer nur geringen Fallzahl weiblicher Patienten besteht eine eingeschränkte Aussagekraft bezüglich **geschlechtsabhängiger Lageunterschiede**. Abgesehen von der Lage des Eintrittspunktes, der bei Frauen ventraler liegt, konnten keine Unterschiede beobachtet werden. Relevante **ACG Typ abhängige Lageunterschiede** konnten ebenfalls nicht festgestellt werden, eine präoperative Bestimmung des ACG Typs ist daher nicht erforderlich.

Die erhobenen Daten deuten darauf hin, dass unter Einhaltung aller Lagekriterien bei zwei Patientengruppen die **ideale Drahtplatzierung nicht möglich** ist, sodass bei diesen Patienten gegebenenfalls ein alternatives OP-Verfahren in Betracht gezogen werden könnte. Diese zwei Gruppen sind:

1. Kleine Patienten (Grenzwert: 159 cm Körpergröße) mit einer schmalen, ventral stehenden Clavicula neigen zur Unterschreitung des 10 mm Mindestabstandes zwischen Draht und Acromionspitze.
2. Bei kleinen Patientinnen mit einem kleinen AC-Winkel (Grenzwert: 156°) kann die Drahtlänge innerhalb der Clavicula die geforderten 20 mm unterschreiten.

Um die Kenntnis der idealen Drahtposition auf weitere, in dieser Arbeit nicht berücksichtigte Patientengruppen wie beispielsweise Kinder oder Patienten mit einem Os acromiale auszuweiten, sind weitere Studien wünschenswert.

## 7. Literaturverzeichnis

1. **Arrigoni P. et al.**, *Associated lesions requiring additional surgical treatment in grade 3 acromioclavicular joint dislocations*. *Arthroscopy*, 2014. 30(1): S. 6-10.
2. **Babhulkar A. und Pawaskar A.**, *Acromioclavicular joint dislocations*. *Curr Rev Musculoskelet Med*, 2014. 7(1): S. 33-39.
3. **Balke M. et al.**, *Acute acromioclavicular joint injuries. Changes in diagnosis and therapy over the last 10 years*. *Unfallchirurg*, 2015. 118(10): S. 851-857.
4. **Balke M. et al.**, *Current state of treatment of acute acromioclavicular joint injuries in Germany: is there a difference between specialists and non-specialists? A survey of German trauma and orthopaedic departments*. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2015. 23(5): S. 1447-1452.
5. **Bannister G. C., Wallace W. A., Stableforth P. G. und Hutson M. A.**, *The management of acute acromioclavicular dislocation. A randomised prospective controlled trial*. *J Bone Joint Surg Br*, 1989. 71(5): S. 848-850.
6. **Bäthis H., Tingart M., Bouillon B. und Tiling T.**, *The status of therapy of acromioclavicular joint injury. Results of a survey of trauma surgery clinics in Germany*. *Unfallchirurg*, 2001. 104(10): S. 955-960.
7. **Bearden J. M., Hughston J. C. und Whatley G. S.**, *Acromioclavicular dislocation: method of treatment*. *J Sports Med*, 1973. 1(4): S. 5-17.
8. **Bearn J. G.**, *Direct observations on the function of the capsule of the sternoclavicular joint in clavicular support*. *J Anat*, 1967. 101(Pt 1): S. 159-170.
9. **Beim G. M.**, *Acromioclavicular Joint Injuries*. *J Athl Train*, 2000. 35(3): S. 261-267.
10. **Beitzel K. et al.**, *Current Concepts in the Treatment of Acromioclavicular Joint Dislocations*. *Arthroscopy*, 2013. 29(2): S. 387-397.
11. **Bergfeld J. A., Andrish J. T. und Clancy W. G.**, *Evaluation of the acromioclavicular joint following first- and second-degree sprains*. *Am J Sports Med*, 1978. 6(4): S. 153-159.
12. **Bernstein D. T., Sochacki K. R. und Jafarnia K. K.**, *Sterile Abscess with Subsequent Iatrogenic Draining Sinus Tract Formation 3 Years After FiberWire and Endobutton Distal Biceps Brachii Tendon Repair: A Case Report*. *JBJS Case Connect*, 2017. 7(2): S. e32.
13. **Bigoni M. et al.**, *Clinical effectiveness of surgical treatment with polyester tapes and temporary K-wires on complete acromioclavicular dislocation*. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 2019. 29(3): S. 567-573.

14. **Bloom F. A.**, *Wire fixation in acromioclavicular dislocation*. J Bone Joint Surg, 1945. 27(2): S. 273-276.
15. **Boehm T. D., Barthel T., Schwemmer U. und Gohlke F. E.**, *Ultrasonography for intraoperative control of the amount of bone resection in arthroscopic acromioclavicular joint resection*. Arthroscopy, 2004. 20 Suppl 2: S. 142-145.
16. **Boehm T. D., Kirschner S., Fischer A. und Gohlke F.**, *The relation of the coracoclavicular ligament insertion to the acromioclavicular joint: a cadaver study of relevance to lateral clavicle resection*. Acta Orthop Scand, 2003. 74(6): S. 718-721.
17. **Bontempo N. A. und Mazzocca A. D.**, *Biomechanics and treatment of acromioclavicular and sternoclavicular joint injuries*. British Journal of Sports Medicine, 2010. 44(5): S. 361-369.
18. **Bosch U. und Fremerey W. R.**, *AC joint injuries. Nonoperative or operative treatment of injuries of the acromioclavicular joint*. Zentralbl Chir, 2002. 127(3): S. 203-206.
19. **Bosworth B. M.**, *Acromioclavicular separation. New method of repair*. Surg. Gynec. Obstet., 1941. 73: S. 866-871.
20. **Broos P., Stoffelen D., Van de Sijpe K. und Fourneau I.**, *Surgical management of complete Tossy III acromioclavicular joint dislocation with the Bosworth screw or the Wolter plate. A critical evaluation*. Unfallchirurgie, 1997. 23(4): S. 153-159.
21. **Bucholz R. W., Court-Brown C. und Heckman J. D.**, *Rockwood and Green's Fractures in Adults: Two Volumes Plus Integrated Content Website (Rockwood, Green, and Wilkins' Fractures)*. 2010, Wolters Kluwer Health. S. 1210-1240.
22. **Calvo E., Lopez-Franco M. und Arribas I. M.**, *Clinical and radiologic outcomes of surgical and conservative treatment of type III acromioclavicular joint injury*. J Shoulder Elbow Surg, 2006. 15(3): S. 300-305.
23. **Carofino B. C. und Mazzocca A. D.**, *The anatomic coracoclavicular ligament reconstruction: surgical technique and indications*. J Shoulder Elbow Surg, 2010. 19(2 Suppl): S. 37-46.
24. **Chillemi C. et al.**, *Epidemiology of isolated acromioclavicular joint dislocation*. Emerg Med Int, 2013. 2013: S. 171609.
25. **Clavert P. et al.**, *Complication rates and types of failure after arthroscopic acute acromioclavicular dislocation fixation. Prospective multicenter study of 116 cases*. Orthop Traumatol Surg Res, 2015. 101(8 Suppl): S. 313-316.
26. **Clavert P. et al.**, *Complications rate and failures mode after arthroscopic acute acromioclavicular disjunction fixations. Prospective multicentric study of 116*

- cases. in *The 13th International Congress of Shoulder and Elbow Surgery*. 2016. Jeju, Korea.
27. **Colosimo A. J., Hummer 3rd C. D. und Heidt Jr. R. S.,** *Aseptic foreign body reaction to Dacron graft material used for coracoclavicular ligament reconstruction after type III acromioclavicular dislocation*. Am J Sports Med, 1996. 24(4): S. 561-563.
  28. **Cook J. B. und Tokish J. M.,** *Surgical management of acromioclavicular dislocations*. Clin Sports Med, 2014. 33(4): S. 721-737.
  29. **Dias J. J. und Gregg P. J.,** *Acromioclavicular joint injuries in sport. Recommendations for treatment*. Sports Med, 1991. 11(2): S. 125-132.
  30. **Dumrongwanich P. und Piyapittayanum P.,** *Outcomes of percutaneous K-wire fixation for AC joint separation type III*. J Med Assoc Thai, 2009. 92 Suppl 6: S. 211-216.
  31. **Edelson J., Zuckerman J. und Hershkovitz I.,** *Os acromiale: anatomy and surgical implications*. Bone & Joint Journal, 1993. 75-B(4): S. 551-555.
  32. **Ferreira J. V. et al.,** *Biomechanical evaluation of effect of coracoid tunnel placement on load to failure of fixation during repair of acromioclavicular joint dislocations*. Arthroscopy, 2012. 28(9): S. 1230-1236.
  33. **Gohlke F. und Barthel T.,** *Orthopädie und orthopädische Chirurgie: Schulter: 97 Tabellen / hrsg. von Frank Gohlke und Achim Hedtmann. Mit Beitr. von Th. Barthel*. S. 7-10. 2002: Thieme.
  34. **Gowd A. K. et al.,** *Current Concepts in the Operative Management of Acromioclavicular Dislocations: A Systematic Review and Meta-analysis of Operative Techniques*. Am J Sports Med, 2019. 47(11): S. 2745-2758.
  35. **Gumina S., Carbone S. und Postacchini F.,** *Scapular dyskinesia and SICK scapula syndrome in patients with chronic type III acromioclavicular dislocation*. Arthroscopy, 2009. 25(1): S. 40-45.
  36. **Gumina S., De Santis P., Salvatore M. und Postacchini F.,** *Relationship between os acromiale and acromioclavicular joint anatomic position*. J Shoulder Elbow Surg, 2003. 12(1): S. 6-8.
  37. **Hellmich A. und Sievers U.,** *Surgical management of acromioclavicular joint separation with transcutaneous Kirschner wire fixation. Results of follow-up in 45 patients*. Aktuelle Traumatol, 1988. 18(1): S. 9-13.
  38. **Hong C. C., Lee W. T. und Tan K. J.,** *Osteomyelitis after TightRope(®) fixation of the ankle syndesmosis: a case report and review of the literature*. J Foot Ankle Surg, 2015. 54(1): S. 130-134.

39. **Horst K. et al.**, *Operative treatment of acute acromioclavicular joint injuries graded Rockwood III and IV: risks and benefits in tight rope technique vs. k-wire fixation.* Patient Saf Surg, 2013. 7: S. 18.
40. **Horst K. et al.**, *Comparative study on the treatment of Rockwood type III acute acromioclavicular dislocation: Clinical results from the TightRope® technique vs. K-wire fixation.* Orthop Traumatol Surg Res, 2017. 103(2): S. 171-176.
41. **Imatani R. J., Hanlon J. J. und Cady G. W.**, *Acute, complete acromioclavicular separation.* J Bone Joint Surg Am, 1975. 57(3): S. 328-332.
42. **Jari R., Costic R. S., Rodosky M. W. und Debski R. E.**, *Biomechanical function of surgical procedures for acromioclavicular joint dislocations.* Arthroscopy, 2004. 20(3): S. 237-245.
43. **Jerosch J.**, *Das Akromioklavikulargelenk.* Orthopäde, 2000. 29(10): S. 895-908.
44. **Johansen J. A., Grutter P. W., McFarland E. G. und Petersen S. A.**, *Acromioclavicular joint injuries: indications for treatment and treatment options.* J Shoulder Elbow Surg, 2011. 20(2, Supplement): S. 70-82.
45. **Klinik für Schulterchirurgie.** Rhön-Klinikum Campus Bad Neustadt.
46. **Klonz A. und Loitz D.**, *The acromioclavicular joint.* Unfallchirurg, 2005. 108(12): S. 1049-1058.
47. **Kraus N., Haas N. P., Scheibel M. und Gerhardt C.**, *Arthroscopically assisted stabilization of acute high-grade acromioclavicular joint separations in a coracoclavicular Double-TightRope technique: V-shaped versus parallel drill hole orientation.* Arch Orthop Trauma Surg, 2013. 133(10): S. 1431-1440.
48. **Larsen E., Bjerg-Nielsen A. und Christensen P.**, *Conservative or surgical treatment of acromioclavicular dislocation. A prospective, controlled, randomized study.* J Bone Joint Surg Am, 1986. 68(4): S. 552-555.
49. **Lateur G. et al.**, *Long-term outcomes of tension band wiring with a single K-wire in Rockwood type IV/V acute acromio-clavicular dislocations: 25 cases.* Orthop Traumatol Surg Res, 2016. 102(5): S. 589-593.
50. **Leidel B. A. et al.**, *Consistency of long-term outcome of acute Rockwood grade III acromioclavicular joint separations after K-wire transfixation.* J Trauma, 2009. 66(6): S. 1666-1671.
51. **Leidel B. A. et al.**, *Mid-term outcome comparing temporary K-wire fixation versus PDS augmentation of Rockwood grade III acromioclavicular joint separations.* BMC Res Notes, 2009. 2: S. 84.
52. **Lemos M. J.**, *The evaluation and treatment of the injured acromioclavicular joint in athletes.* Am J Sports Med, 1998. 26(1): S. 137-144.

53. **Leroux T. et al.**, *Epidemiology of primary anterior shoulder dislocation requiring closed reduction in Ontario, Canada*. Am J Sports Med, 2014. 42(2): S. 442-450.
54. **Loitz D., Klonz A. und Reilmann H.**, *Trauma and degeneration of the acromioclavicular joint*. Chirurg, 2008. 79(12): S. 1169-1178.
55. **Martetschläger F. et al.**, *Diagnostik und Therapie der akuten Luxation des Acromioclaviculargelenks*. Dtsch Arztebl International, 2019. 116(6): S. 89-95.
56. **Mayr E., Braun W., Eber W. und Ruter A.**, *Treatment of acromioclavicular joint separations. Central Kirschner-wire and PDS-augmentation*. Unfallchirurg, 1999. 102(4): S. 278-286.
57. **Mazet R.**, *Migration of a Kirschner wire from the shoulder region into the lung*. J Bone Joint Surg, 1943. 25(2): S. 477-483.
58. **Mazzocca A. D. et al.**, *A biomechanical evaluation of an anatomical coracoclavicular ligament reconstruction*. Am J Sports Med, 2006. 34(2): S. 236-246.
59. **McFarland E. G. et al.**, *Treatment of grade III acromioclavicular separations in professional throwing athletes: results of a survey*. Am J Orthop (Belle Mead NJ), 1997. 26(11): S. 771-774.
60. **McPhee I. B.**, *Inferior dislocation of the outer end of the clavicle*. J Trauma, 1980. 20(8): S. 709-710.
61. **Milewski M. D. et al.**, *Complications related to anatomic reconstruction of the coracoclavicular ligaments*. Am J Sports Med, 2012. 40(7): S. 1628-1634.
62. **Minkus M., Gerhardt C., Scheibel M. und Kraus N.**, *MR-tomographische Verlaufsbeobachtung von niedrig- und hochgradigen AC-Gelenkssprengungen nach konservativer oder operativer Therapie*. in DVSE Jahreskongress. 2016. Bremen, Deutschland.
63. **Modi C. S. et al.**, *Controversies relating to the management of acromioclavicular joint dislocations*. Bone Joint J, 2013. 95-b(12): S. 1595-1602.
64. **Mori D. et al.**, *Anatomical Coracoclavicular Ligament Reconstructions in the Treatment of Acute Acromioclavicular Joint Dislocations: Minium Ten-Year Follow-up*. in *The 13th International Congress of Shoulder and Elbow Surgery*. 2016. Jeju, Korea.
65. **Moseley H. F.**, *The clavicle: its anatomy and function*. Clin Orthop Relat Res, 1968. 58: S. 17-27.
66. **Motta P. et al.**, *Acute lateral dislocated clavicular fractures: arthroscopic stabilization with TightRope*. J Shoulder Elbow Surg, 2014. 23(3): S. e47-52.

67. **Mouhsine E., Garofalo R., Crevoisier X. und Farron A.,** *Grade I and II acromioclavicular dislocations: results of conservative treatment.* J Shoulder Elbow Surg, 2003. 12(6): S. 599-602.
68. **Mumford E. B.,** *Acromioclavicular dislocation.* J Bone Joint Surg, 1941. 23(4): S. 799-802.
69. **Murray G.,** *Fixation of dislocation of the acromioclavicular joint and rupture of the coracoclavicular ligaments.* Can Med Assoc J, 1940. 43: S. 270.
70. **Nissen C. W. und Chatterjee A.,** *Type III acromioclavicular separation: results of a recent survey on its management.* Am J Orthop (Belle Mead NJ), 2007. 36(2): S. 89-93.
71. **Norrell H. und Llewellyn R. C.,** *Migration of a Threaded Steinmann Pin from an Acromioclavicular Joint into the Spinal Canal.* J Bone Joint Surg, 1965. 47(5): S. 1024-1026.
72. **Nuber G. W. und Bowen M. K.,** *Arthroscopic treatment of acromioclavicular joint injuries and results.* Clin Sports Med, 2003. 22(2): S. 301-317.
73. **O'Carroll P. F. und Sheehan J. M.,** *Open reduction and percutaneous Kirschner wire fixation in complete disruption of the acromioclavicular joint.* Injury, 1982. 13(4): S. 299-301.
74. **Olivos-Meza A. et al.,** *Radiographic displacement of acute acromioclavicular joint dislocations fixed with AC TightRope.* JSES Int, 2020. 4(1): S. 49-54.
75. **Orangi D. und Winker K. H.,** *Verletzungen des Akromio- und sternoklavikulären Gelenkes.* OP-JOURNAL, 2002. 18(03): S. 200-207.
76. **Pauly S., Gerhardt C., Haas N. P. und Scheibel M.,** *Prevalence of concomitant intraarticular lesions in patients treated operatively for high-grade acromioclavicular joint separations.* Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2009. 17(5): S. 513-517.
77. **Pauly S., Kraus N., Greiner S. und Scheibel M.,** *Prevalence and pattern of glenohumeral injuries among acute high-grade acromioclavicular joint instabilities.* J Shoulder Elbow Surg, 2013. 22(6): S. 760-766.
78. **Pavlik A., Csepai D. und Hidas P.,** *Surgical treatment of chronic acromioclavicular joint dislocation by modified Weaver-Dunn procedure.* Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2001. 9(5): S. 307-312.
79. **Pfahler M., Krodel A. und Refior H. J.,** *Surgical treatment of acromioclavicular dislocation.* Arch Orthop Trauma Surg, 1994. 113(6): S. 308-311.



80. **Phemister D. B.**, *The treatment of dislocation of the acromioclavicular joint by open reduction and threaded-wire fixation.* J Bone Joint Surg, 1942. 24(1): S. 166-168.
81. **Phillips A. M., Smart C. und Groom A. F.**, *Acromioclavicular dislocation. Conservative or surgical therapy.* Clin Orthop Relat Res, 1998(353): S. 10-17.
82. **Poigenfürst J.**, *Die Technik der korakoklavikulären Verschraubung bei Rupturen des akromioklavikulären Gelenks (AC-Gelenk).* Oper Orthop und Traumatol, 1990. 2(4): S. 233-244.
83. **Rasmont Q., Delloye C., Bigare E. und Van Isacker T.**, *Is conservative treatment still defensible in grade III acromioclavicular dislocation? Are there predictive factors of poor outcome?* Acta Orthop Belg, 2015. 81(1): S. 107-114.
84. **Rawes M. L. und Dias J. J.**, *Long-term results of conservative treatment for acromioclavicular dislocation.* J Bone Joint Surg Br, 1996. 78(3): S. 410-412.
85. **Rios C. G., Arciero R. A. und Mazzocca A. D.**, *Anatomy of the clavicle and coracoid process for reconstruction of the coracoclavicular ligaments.* Am J Sports Med, 2007. 35(5): S. 811-817.
86. **Rockwood C. A.**, *The Shoulder.* S. 2009: Saunders/Elsevier.
87. **Rolf O. et al.**, *Acromioclavicular dislocation Rockwood III-V: results of early versus delayed surgical treatment.* Arch Orthop Trauma Surg, 2008. 128(10): S. 1153-1157.
88. **Rowe C. R.**, *The Shoulder.* 1988, Churchill Livingstone.
89. **Schmidt H.-M. und Vahlensieck M.**, *Klinisch-radiologische Anatomie der Schulterregion.* Radiologe, 2014. 36(12): S. 933-943.
90. **Schünke M., Schulte E. und Schumacher U.**, *Prometheus - LernAtlas der Anatomie: allgemeine Anatomie und Bewegungssystem ; 182 Tabellen.* 2011, Thieme.
91. **Sethi G. K. und Scott S. M.**, *Subclavian artery laceration due to migration of a Hagie pin.* Surgery, 1976. 80(5): S. 644-646.
92. **Sim E., Schwarz N., Hocker K. und Berzlanovich A.**, *Repair of complete acromioclavicular separations using the acromioclavicular-hook plate.* Clin Orthop Relat Res, 1995(314): S. 134-142.
93. **Simovitch R. et al.**, *Acromioclavicular joint injuries: diagnosis and management.* J Am Acad Orthop Surg, 2009. 17(4): S. 207-219.

94. **Thiel E., Mutnal A. und Gilot G. J.**, *Surgical outcome following arthroscopic fixation of acromioclavicular joint disruption with the tightrope device.* Orthopedics, 2011. 34(7): S. 267-274.
95. **Thorndike A. und Quigley T. B.**, *Injuries to the acromioclavicular joint.* Am J Surg, 1942. 55(2): S. 250-261.
96. **Tossy J. D., Mead N. C. und Sigmond H. M.**, *Acromioclavicular separations: useful and practical classification for treatment.* Clin Orthop Relat Res, 1963. 28: S. 111-119.
97. **Urist M. R.**, *Complete dislocations of the acromioclavicular joint; the nature of the traumatic lesion and effective methods of treatment with an analysis of forty-one cases.* J Bone Joint Surg Am, 1946. 28(4): S. 813-837.
98. **Vrgoč G. et al.**, *Operative treatment of acute acromioclavicular dislocations Rockwood III and V-Comparative study between K-wires combined with FiberTape(®) vs. TightRope System(®).* Injury, 2015. 46 Suppl 6: S. 107-112.
99. **Weaver J. K. und Dunn H. K.**, *Treatment of acromioclavicular injuries, especially complete acromioclavicular separation.* J Bone Joint Surg Am, 1972. 54(6): S. 1187-1194.
100. **Wellmann M., Zantop T. und Petersen W.**, *Minimally invasive coracoclavicular ligament augmentation with a flip button/polydioxanone repair for treatment of total acromioclavicular joint dislocation.* Arthroscopy, 2007. 23(10): S. 11321-11325.
101. **Wirth C. J.**, *Die akromiale Klavikuläresektion.* Oper Orthop und Traumatol, 1989. 1(1): S. 9-12.
102. **Worel A. M. und Slongo T.**, *Behandlungsprinzipien*, in *Kindertraumatologie*, I. Marzi, Editor. 2016, Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg. S. 53-78.
103. **Yeh P. C., Miller S. R., Cunningham J. G. und Sethi P. M.**, *Midshaft clavicle fracture and acromioclavicular dislocation: a case report of a rare injury.* J Shoulder Elbow Surg, 2009. 18(5): S. e1-4.
104. **Zanca P.**, *Shoulder pain: involvement of the acromioclavicular joint. (Analysis of 1,000 cases).* Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med, 1971. 112(3): S. 493-506.
105. **Zhang L. F. et al.**, *Arthroscopic fixation of acute acromioclavicular joint disruption with TightRope™: Outcome and complications after minimum 2 (2-5) years follow-up.* J Orthop Surg (Hong Kong), 2017. 25(2): S. 2309499016684493.

## **Abkürzungsverzeichnis**

AC	acromioclavicular
ACG	Acromioclaviculargelenk
ANOVA	Analysis of variance
a. p.	anterior-posterior
CA	coracoacromial
CC	coracoclavicular
CT	Computertomographie
DT-Faszie	Deltotrapezoidfaszie
et al.	et alii
ICT	incongruous type
K-Draht	Kirschner-Draht
lat.	lateral
Lig.	Ligamentum
OP	Operation
ORT	overriding type
PDS	Polydioxanon
Proc.	Processus
Q-Q-Diagramm	Quantil-Quantil-Diagramm
SD	Standardabweichung
URT	underriding type
VT	vertical type

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Acromioclaviculargelenk im Röntgenbild.....	3
Abb. 2: Knöchernes Gerüst des Acromioclaviculargelenks .....	4
Abb. 3: ACG Typen nach Moseley <sup>[65]</sup> .....	4
Abb. 4: Ligamentäre Strukturen des ACGs .....	5
Abb. 5: Pathomechanismus der AC-Sprengung.....	6
Abb. 6: Altersverteilung der Patienten mit AC-Sprengung nach Mayr et al. <sup>[56]</sup> .....	7
Abb. 7: Häufigkeitsverteilung der Verletzungsursachen nach Dias et al. <sup>[29]</sup> .....	7
Abb. 8: Klassifikation der AC-Sprengung nach Rockwood .....	7
Abb. 9: Rockwood V Verletzung .....	8
Abb. 10: Strahlengang bei der Röntgenaufnahme nach Zanca .....	10
Abb. 11: Panoramabelastungsaufnahme einer Rockwood Typ III Verletzung .....	11
Abb. 12: Kombinierte AC-Sprengung und Claviculaschaftfraktur .....	11
Abb. 13: Gilchristverband.....	13
Abb. 14: Kirschner-Draht .....	15
Abb. 15: Hakenplatte .....	16
Abb. 16: Bosworth Schraube .....	17
Abb. 17: TightRope® Technik.....	17
Abb. 18: Intraossäre Verlagerung von Flip Buttons nach Durchbruch durch die Corticalis.....	18
Abb. 19: Weaver-Dunn Methode.....	19
Abb. 20: Distale Clavicularesektion.....	20
Abb. 21: Optimale Position eines Kirschner-Drahtes.....	29
Abb. 22: Drahtverlauf im multiplanar-axialen und -koronaren Schnittbild.....	29
Abb. 23: Länge des gesamten Kirschner-Drahtes.....	31
Abb. 24: Acromioclaviculärer Winkel.....	32
Abb. 25: Länge laterale Clavicula.....	32
Abb. 26: Gerade in Fossa supraspinata.....	33
Abb. 27: Medial und lateral öffnender Winkel zwischen Draht und Fossa supra- spinata.....	34
Abb. 28: Winkel zwischen Draht und Glenoidebene.....	34
Abb. 29: Winkel zwischen Draht und lateraler Claviculagelenkfläche.....	35
Abb. 30: Längen der Drahtabschnitte nach anatomischer Lage .....	36
Abb. 31: Messungen zur Bestimmung der relativen Lage Eintrittspunkt K-Draht.....	36

Abb. 32: Abstand Draht zu Ober- und Unterrand Acromion.....	37
Abb. 33: Abstände vom Draht zur Claviculaoberfläche .....	38
Abb. 34: Standardisierte Clavicula .....	39
Abb. 35: Intraoperative Lagekontrolle des platzierten K-Drahtes.....	41
Abb. 36: Häufigkeit der ACG Typen nach Moseley im Patientenkollektiv und in der Gesamtbevölkerung <sup>[65]</sup> .....	46
Abb. 37: Abstand des Eintrittspunktes zur Acromionspitze .....	47
Abb. 38: Abstand des Eintrittspunktes zur Acromionspitze als Normalverteilungs- histogramm.....	47
Abb. 39: Geschlechtsabhängiger Abstand zwischen Eintrittspunkt und Acromion- spitze .....	48
Abb. 40: Korrelation zwischen Körpergröße und Lage des Eintrittspunktes .....	48
Abb. 41: Korrelation zwischen Körpergewicht und Lage des Eintrittspunktes.....	49
Abb. 42: Korrelation zwischen AC-Winkel und Lage des Eintrittspunktes.....	49
Abb. 43: ACG Typ abhängiger Abstand zwischen Eintrittspunkt und Acromionspitze .	49
Abb. 44: Relative Lage des Eintrittspunktes am Acromion .....	50
Abb. 45: Geschlechtsabhängige relative Lage des Eintrittspunktes am Acromion.....	50
Abb. 46: Korrelation zwischen Körpergröße und relativer Lage des Eintrittspunktes ...	51
Abb. 47: Korrelation zwischen Körpergewicht und relativer Lage des Eintrittspunktes .	51
Abb. 48: Korrelation zwischen AC-Winkel und relativer Lage des Eintrittspunktes .....	51
Abb. 49: ACG Typ abhängige relative Lage des Eintrittspunktes am Acromion.....	52
Abb. 50: Winkel Draht zur Fossa supraspinata .....	53
Abb. 51: Geschlechtsabhängiger Winkel zwischen Draht und Fossa supraspinata.....	53
Abb. 52: Korrelation zwischen Körpergröße und Winkel zur Fossa supraspinata.....	54
Abb. 53: Korrelation zwischen Körpergewicht und Winkel zur Fossa supraspinata .....	54
Abb. 54: Korrelation zwischen AC-Winkel und Winkel zur Fossa supraspinata .....	54
Abb. 55: ACG Typ abhängiger Winkel zwischen Draht und Fossa supraspinata.....	55
Abb. 56: Winkel zwischen Draht und Glenoid .....	55
Abb. 57: Geschlechtsabhängiger Winkel zwischen Draht und Glenoid .....	56
Abb. 58: Korrelation zwischen Körpergröße und Winkel zum Glenoid.....	56
Abb. 59: Korrelation zwischen Körpergewicht und Winkel zum Glenoid .....	57
Abb. 60: Korrelation zwischen AC-Winkel und Winkel zum Glenoid.....	57
Abb. 61: ACG Typ abhängiger Winkel zwischen Draht und Glenoid .....	57
Abb. 62: Länge gesamter K-Draht.....	58
Abb. 63: Verteilung der Drahtabschnitte nach anatomischer Lage .....	58

Abb. 64: Geschlechtsabhängige Drahtlänge .....	59
Abb. 65: Korrelation zwischen Körpergröße und Drahtlänge.....	59
Abb. 66: Korrelation zwischen Körpergewicht und Drahtlänge .....	60
Abb. 67: Korrelation zwischen AC-Winkel und Drahtlänge .....	60
Abb. 68: ACG Typ abhängige Drahtlänge .....	60
Abb. 69: Relative Lage des Austrittspunktes .....	61
Abb. 70: Geschlechtsabhängig Lage des Austrittspunktes.....	61
Abb. 71: Verteilung der Drahtaustrittspunkte aus der Clavicula nach Geschlecht .....	62
Abb. 72: Korrelation zwischen Körpergröße und Lage des Austrittspunktes .....	62
Abb. 73: Korrelation zwischen Körpergewicht und Lage des Austrittspunktes.....	63
Abb. 74: Korrelation zwischen AC-Winkel und Lage des Austrittspunktes.....	63
Abb. 75: ACG Typ abhängige relative Lage des Austrittspunktes .....	63
Abb. 76: Bestimmung der Lage des Eintrittspunktes anhand der Körpergröße .....	67
Abb. 77: Bestimmung der relativen Lage des Austrittspunktes anhand des AC- Winkels.....	71
Abb. 78: Regression Körpergröße zur Lage des Eintrittspunktes .....	75
Abb. 79: Breite und Stellung der Clavicula .....	76
Abb. 80: Regression AC-Winkel zur Drahtlänge in Clavicula.....	77
Abb. 81: Verlagerung des Eintrittspunktes zur Sicherstellung einer ausreichenden Drahtlänge in der Clavicula .....	78
Abb. 82: Identifikation des Austrittspunktes.....	80

### **Anmerkung**

Alle Abbildungen sind eigenständig erstellt oder mit freundlicher Genehmigung des jeweiligen Verlages bzw. Journals respektive des Rhön-Klinikums Campus Bad Neustadt verwendet worden.

## **Tabellenverzeichnis**

Tab. 1: Klassifikation der AC-Sprengung nach Rockwood .....	9
Tab. 2: Vor- und Nachteile von operativer und konservativer Therapie der AC-Sprengung .....	22
Tab. 3: Indikationen zur operativen und konservativen Therapie der AC-Sprengung ..	24
Tab. 4: Ein- und Ausschlusskriterien für das Patientenkollektiv.....	26
Tab. 5: Größe Patientenkollektiv nach Anwendung aller Ein- und Ausschlusskriterien	27
Tab. 6: Vergleich eigenes Patientenkollektiv mit Patientenkollektiv der AC-Sprengung .....	27
Tab. 7: Körpergröße und Körpergewicht des Patientenkollektivs .....	28
Tab. 8: Übersicht aller bei jedem CT Datensatz durchgeführten Messungen .....	30
Tab. 9: Übersicht der erhobenen Messdaten mit deskriptiver Statistik .....	44
Tab. 10: Übersicht über geschlechtsspezifische Messunterschiede.....	45
Tab. 11: Übersicht der Korrelationen zwischen den Draht-Lageparametern und Körpergröße, Körpergewicht und AC-Winkel .....	45

## **Danksagung**

Ich danke Herrn Professor Gohlke für die Ermöglichung dieser Dissertation, für die freundliche Überlassung des Themas, die konstruktive Kritik sowie die Unterstützung bei der Durchführung dieses Projektes und Übernahme des Referats.

Ich danke Herrn Professor Ergün für die freundliche Übernahme des Korreferats und der Drittbetreuung.

Mein ausdrücklicher Dank gilt Herrn Priv.-Doz. Dr. Robert Hudek für die großartige Betreuung und Zusammenarbeit bei diesem Projekt, für jegliche Hilfe, für all die investierte Zeit und die fortwährende Unterstützung in jeglicher Hinsicht.

Ich danke der Klinik für Radiologie des Rhön-Klinikums Campus Bad Neustadt, die mir Arbeitsplatz und -materialien zur Verfügung stellten und mir stets mit Rat und Tat zur Seite standen.

Ein besonderer Dank gilt meiner wunderbaren Familie, die mir mein Studium, diese Dissertation und die Verwirklichung all meiner Träume ermöglicht, mich auf diesem langen Weg begleitet und bedingungslos unterstützt hat und dabei stets ein offenes Ohr und vielerlei motivierende Worte für mich übrighatte. Ohne euch wäre all dieses nicht möglich gewesen, dafür werde ich euch immer dankbar sein.

Zuletzt gilt ein spezieller Dank Niklas, meinem Felsen in der Brandung. Dafür, dass Du immer an meiner Seite stehst, für all die Unterstützung, die Geduld, das Verständnis, die klaglos hingegenommenen Entbehrungen und die nicht endenden motivierenden Worte. Ohne Dich wäre ich weder die, die ich heute bin, noch da, wo ich heute stehe.



## Lebenslauf