

**IMMANUEL – KANT – SCHULE**  
**R ü s s e l s h e i m**

**Facharbeit**

**Im Rahmen des Abiturs  
aus dem Fachbereich Sport und Physik  
über das Thema:**

**Die Physik des Rudersports  
unter biomechanischen Gesichtspunkten**



**Verfasser:** Sascha Adrian

**Referent:** Horst Aussenhof  
**Co-Referent:** Rainer Obmann  
**Fachbereichsleiter:** Ulrich Gath

**Jahrgang:** 13 (Schuljahr 2003/2004)

**Datum:** 24. März 2004

## *Danksagung*

Vielen Dank an die Dr. Helmut und Margit Gundermann Stiftung für die finanzielle Unterstützung beim Druck der Facharbeiten.

1. Auflage 2005  
Copyright by Sascha Adrian, Rüsselsheim  
E-Mail: [Facharbeit@swadi.de](mailto:Facharbeit@swadi.de)  
Internet: <http://www.swadi.de>

Alle Rechte vorbehalten

## 0. Vorwort

Wenn man den Titel meiner Facharbeit „Die Physik des Rudersports“ zum ersten Mal hört, könnte man sich die Frage stellen, inwieweit man sich so intensiv mit diesem Thema befassen kann. Genau mit dem gleichen Problem stand ich vor der Suche nach einem geeigneten Thema.

Mir war völlig klar, dass ich meine Facharbeit meinem alltäglichen Hobby -dem Rudersport- widmen wollte, denn ich betreibe diese faszinierende Sportart seit 1996 leistungsmäßig mit voller Freude und Hingabe. Rudern ist für mich die ideale Sportart. Dieser Sport beinhaltet eine Mischung aus Ästhetik, Kraft und Ausdauer und ist auch Spaß, Begeisterung und Eifer. Die Kombination dieser vollendeten Sportart mit meinen Leistungsfächern Sport und Physik machte das gewählte Thema für mich äußerst reizvoll. Ich konnte somit den Rudersport sowohl aus sportlicher als auch aus physikalischer Sicht ergänzend betrachten und meine bisherigen praktischen Erfahrungen einfließen lassen.

Aber ich muss auch zugeben, dass ich selbst von der Ruder-Physik überrascht war, als ich mich näher mit diesem Thema befasste. Ich erinnere mich an jemanden, welcher das Zusammenspiel zwischen der Kunst und der Physik des Ruderns folgendermaßen beschrieb:

”

*Art is making the complex look simple.*

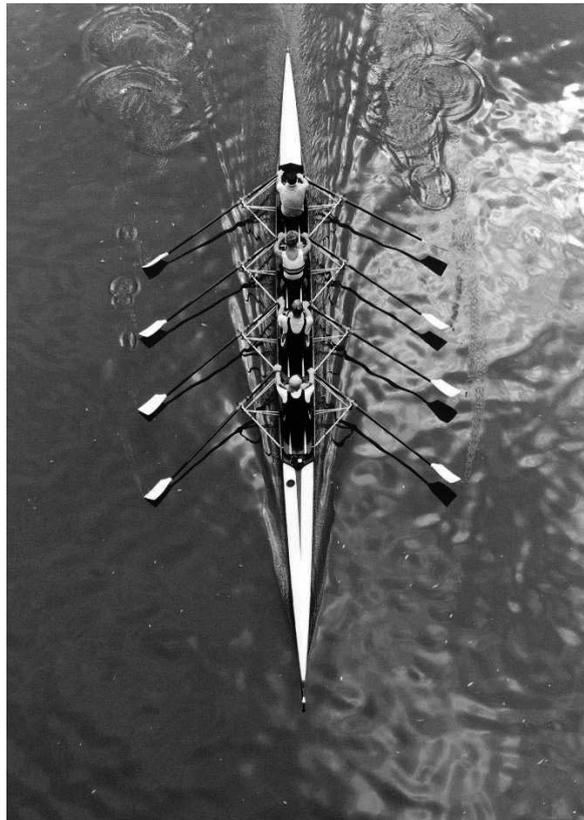
*Science is making the simple look complex.*

*If this is true, you could say that doing rowing is art,*

*but understanding rowing is science.*

“

Dieses Zitat ist, wie ich finde, sehr gelungene Beschreibung für die kunstvolle Ausführung, trotz der Komplexität der Bewegung. Um die so einfach erscheinende Bewegungsausführung im Rudern etwas differenzierter zu beleuchten, habe ich die folgende Arbeit angefertigt. Nichtsdestotrotz möchte ich den Leser auch an der „Art of rowing“ teilhaben lassen und habe daher dieser Facharbeit eine Multimedia Präsentation beigelegt, welche all das widerspiegeln soll, was das Rudern wirklich ausmacht.



*Abbildung 1: Rudertraining in Rüsselsheim*

Ich hoffe, dass sich mit diesem Thema möglichst viele Menschen – ob jung oder alt – angesprochen fühlen und sich für die Faszination des Rudersports interessieren. Aber auch Sportlern und/oder Ruderinteressierte möchte ich einen kleinen Einblick in die Physik dieser Sportart gewähren. Der Rudersport rückt in unserer „Spaßgesellschaft“ leider immer mehr in den Hintergrund. Traditionsbewusste Sportarten werden von neuen Trendsportarten abgelöst, der „Spaßsport“ tritt anstelle des Vereinssportes.

Da ist es kein Wunder, warum der äußerst zeit- und einsatzintensive Rudersport von vielen jungen Leuten abgelehnt wird.

Und dennoch stimmt diese Aussage nur teilweise, denn wenn der so genannte „Deutschlandachter“ den Endlauf in Luzern, bei der WM oder bei Olympia gewinnt, identifiziert sich eine ganze Nation mit diesem Erfolg.

Der Sport, als auch das Vereinsleben, haben eine große Bedeutung in meinem Leben und ich kann dies mit dieser Arbeit nur propagieren. Und genau mit diesem Problem wurde ich auch während meiner Facharbeit immer wieder konfrontiert. Es gibt nur sehr wenige wissenschaftliche Abhandlungen über die Physik des Rudersports. Von Seiten des Deutschen Ruderverbandes und der Landestrainern erhielt ich zum Teil nicht die gewünschte Unterstützung, die ich mir erhofft hatte. Natürlich liegt das Problem der Wissensoffenbarung auch bei der fehlenden Nachfrage, dennoch wird die Öffentlichkeitsarbeit im Rudersport nicht gefördert wenn die Trainer und Vereine ihr „eigenes Süppchen kochen“. Und genau an diesem Punkt möchte ich mit dieser Facharbeit anknüpfen und meine Erkenntnisse öffentlich zur Diskussion stellen.

Abschließend möchte ich mich bei meinem langjährigen Lehrer und Betreuer meiner Arbeit Herrn Aussenhof bedanken. Er brachte mich auf die Idee diese Arbeit zu verfassen, da er von meinem Hobby weiß und selbst früher aktiv ruderte. Weiterhin danke ich Uwe Bender für die Bereitstellung von Messbootdaten und Henning Lippke für die Hilfestellungen bei einigen physikalischen Problemen.

Ich wünsche nun viel Spaß beim Lesen und hoffe Ihnen hiermit einige Aspekte des Rudersports näher bringen zu dürfen.

Sascha Adrian

Rüsselsheim, 24. März 2004



## Inhaltsverzeichnis:

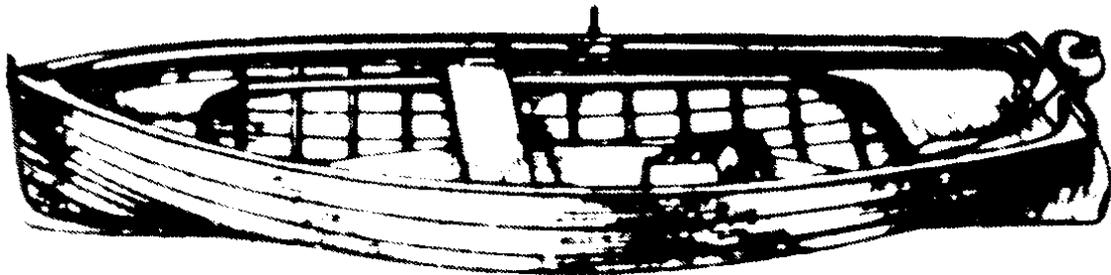
		<b>Seite</b>
<b>1</b>	<b>Einführung in den Rudersport.....</b>	<b>9</b>
1.1	Entstehung.....	9
1.2	Technische Entwicklung.....	12
<b>2</b>	<b>Physikalische Grundlagen.....</b>	<b>17</b>
2.1	Verdrängung.....	17
2.2	Stabilität.....	18
2.2.1	Statische Stabilität.....	18
2.2.2	Dynamische Stabilität.....	25
2.3	Antrieb.....	28
2.3.1	Impuls zwischen Wasser und Boot.....	28
2.3.2	Impuls zwischen Schwerpunktverlagerungen.....	29
2.4	Widerstandsfaktoren.....	31
2.4.1	Formwiderstand.....	32
2.4.2	Reibungswiderstand.....	32
2.4.2.1	Berechnen des Reibungswiderstand.....	33
2.4.3	Stampfwiderstrand.....	36
2.5	Hebelgesetze.....	37
2.5.1	Statische Betrachtung des Hebels.....	41
2.5.2	Dynamische Betrachtung der Kraftumsetzung.....	45
<b>3</b>	<b>Das Rudertechnische Leitbild unter biomeschanischen Gesichtspunkten.....</b>	<b>52</b>
3.1	Technik.....	52
3.2	Phasenstruktur der Ruderbewegung.....	62
3.3	Handführung Skullen.....	64
3.4	Bewegungsablauf Skullen.....	66
3.5	Unterschiede zum Riemen.....	71
3.6	Das Mobile Messsystem 2000.....	73
3.7	Die Videobild-Messwertkopplung.....	77

3.8	Biomechanische Analyse.....	78
3.8.1	Rollsitzbewegung.....	78
3.8.2	Bootskräfte an Stemmbrett und Dolle.....	80
3.8.3	Messergebnisanalyse.....	82
<b>4</b>	<b>Ausblick.....</b>	<b>84</b>
	Literaturverzeichnis.....	85
	Abbildungsverzeichnis.....	87

## 1. Einführung in den Rudersport

### 1.1 Entstehung des Rudersports

Das Wettrudern gehört mit zu den ältesten Sportarten der Welt. Schon im alten Ägypten oder Rom wurden Rennen mit Rudergaleeren ausgetragen. Reliefzeichnungen in Ägypten, sowie der Fund eines Ruders bei Duvensee in Holstein beweisen, dass bereits 8000 bis 10000 Jahre v.Chr. das Ruder zur Fortbewegung auf dem Wasser genutzt wurde. Das „Ur“-Ruderboot ist zu vergleichen mit der heutigen „Mietgondel“: Damals relativ schwer, sehr hochbordig und mit festen Sitzbänken.



*Abbildung 2: Der Urtyp des sportgerechten Ruderbootes*

In diesen Booten wurden die ersten Ruderrennen gefahren. Die heutige Form der Bootsrennen lässt sich in England bis in das Jahr 1715 zurückverfolgen, als damals Thomas Doggett Rennen auf der Themse mit dem Namen „Doggett’s Coat and Badge Race“ veranstaltete. Dies gilt als der älteste belegbare Ruderwettkampf der Welt und wird bis heute noch ausgetragen.



Erst im 19. Jahrhundert verbreitete sich der moderne Rudersport in England, den man gleich mit den berühmten Rennen der Oxford und Cambridge University in Verbindung bringt. Im Jahre 1829 wurde das erste Universitäts-Achterrennen zwischen den Universitäten Oxford und Cambridge über eine Strecke von 6,74 km durchgeführt. Das zweite Oxford-

Cambridge-Rennen folgte erst 1836, das dritte 1839. Seit der dritten Regatta finden die Rennen jährlich statt.

Die Rennen wurden bei jedem Wetter gefahren, so war es nicht verwunderlich das einige Male die Achter sanken. Insgesamt gab es aber nur ein totes Rennen im Jahr 1877. Dies kam dadurch, dass der Schiedsrichter sich während dem Rennen betrunken hatte, und somit den Sieger bei dem überaus knappen Zieleinlauf nicht klar sehen konnte. Die Wurzel des heutigen Ruderns lässt sich somit auf den Hochschulsport zurückführen und ist nicht nur deshalb, besonders bei den Studenten, sehr beliebt.



In der damaligen Zeit sprach man beim „rowing“ nur vom Riemenrudern, das als ausschließliche Männersache galt. Die Dominanz des Riemenruderns verdeutlicht auch schon der Titel des Lehrbuches von W. B. Woodgate „Rudern und Skullen“.

Als Riemenrudern bezeichnet man diejenige Bootsgattung, bei der sich der Ruderer am Steuerbord- bzw. Backbord-„Riemen“ mit beiden Händen festhält. Der Drehpunkt des „Riemens“ bzw. des „Skulls“ sitzt am Dollenstift der Dolle. Bei dem Skullrudern hält der Ruderer jeweils ein Skull in jeder Hand und der Drehpunkt befindet sich daher beidseitig. Das Skull ist im Vergleich zum Riemen um ca. 83cm kürzer, je nach Abwendungsgebiet der Bootsklasse bzw. dessen Bootstrimm.

In Deutschland entstand erst 1836 der erste Ruderclub nach englischem Vorbild: „Der Hamburger Ruder Club“ (DHRC). Hamburg blieb lange Zeit die einzige deutsche Stadt, in der Rudersport betrieben wurde. Es herrschte schon damals eine strenge Disziplin. So war es z. B. verboten, während einer Bootsfahrt zu sprechen. So fand in Hamburg auch die erste Ruderregatta Deutschlands 1844 statt.

Am 18. März 1883 gründeten im Gürzenich zu Köln die Vertreter von inzwischen 34 Vereinen den „Deutschen Ruderverband“ (DRV) und gaben damit dem deutschen

Rudersport seine noch heute gültige Struktur. Der DRV ist übrigens der älteste deutsche Sportverband, weitere Verbandsgründungen folgten erst 1884 mit dem Bund Deutscher Radfahrer und 1885 mit dem Deutschen Keglerbund.

Einer der strittigen Punkte bei der Verabschiedung des „Grundgesetzes“ des DRV war der Amateurparagraf. Auf Initiative der norddeutschen Vereine kam es schließlich zur Aufnahme von folgendem Wortlaut: „Amateur ist jeder, der das Rudern nur aus Liebhaberei mit eigenen Mitteln betreibt oder betrieben hat und dabei keinerlei Vermögensvorteile in Aussicht hat oder hatte, weder als Arbeiter durch seiner Hände Arbeit seinen Lebensunterhalt verdient, noch in irgendeiner Weise beim Bootsbau beschäftigt ist.“

Der Rudersport in der Bundesrepublik Deutschland kann sicherlich mit gutem Recht von sich behaupten, dass er dem ersten Teil dieser Bestimmung bis in unsere heutigen Tage treu geblieben ist und somit eine der letzten klassischen Amateursportarten darstellt. Der zweite Teil hatte die Aufgabe, die "Wohlhabenden" und "Gebildeten" für die Ruderei zu werben, unter Ausschluss der unteren Bevölkerungsschichten. Dieses Standesbewußtsein konnte zwar einige Zeit aufrechterhalten werden. Der Erste Weltkrieg leitete jedoch einen Wandel in der sozialen Haltung ein und bewirkte eine teilweise Neugestaltung bzw. Lockerung dieser Bestimmung. Inzwischen ist es unvorstellbar geworden, dass Aufnahmekommissionen in den Rudervereinen genaue Auskunft über die Berufsausübung ihrer neuen Mitglieder einholen.

Das Rudern wurde 1900 zur olympischen Sportart erklärt und 1908 offiziell in das Programm der Olympischen Spiele aufgenommen. Die ersten Weltmeisterschaften wurden 1962 in Luzern abgehalten. Frauenwettbewerbe gibt es bei Weltmeisterschaften seit 1974, bei Europa Meisterschaften seit 1954, bei Olympischen Spielen seit 1976. 1990 wurde ein Weltcup im Damen- und Herreneiner eingeführt. Bei Weltmeisterschaften und Olympischen Spielen gibt es bei den Herren acht verschiedene Bootsklassen: Einer, Doppelzweier, Zweier mit und ohne Steuermann, Doppelvierer, Vierer mit und ohne Steuermann, Achter. Bei

den Frauen gibt es sechs Bootsklassen: Einer, Doppelzweier, Zweier ohne Steuerfrau, Doppelvierer, Vierer ohne Steuerfrau, Achter. Die Distanz beträgt sowohl bei den Damen als auch bei den Herren 2.000 Meter.

## **1.2 Technische Entwicklung im Rudersport**

Da das Rudern eine gerätegebundene Sportart ist, besteht eine enge Beziehung zwischen der Entwicklung der Technik und des Rudergerätes. Das Sportboot hat in der Zeit mehrere Entwicklungsstufen durchlaufen, was zugleich auch eine Anpassung der Technik auf das neue Umfeld erforderte. Die Bedeutung der Bootsrennen und die ausgesetzten Prämien stiegen immer mehr und der Kampf um immer schnellere Boote wuchs schnell. Die Erfindung des Auslegers 1828 in Newcastle (England) ermöglichte es, schmälere und damit schnellere Boote zu bauen. Die Dolle musste nicht mehr mit der obersten Planke des Bootes verbunden werden, sondern konnte mit Hilfe des Auslegers indirekt mit dem Boot in Verbindung stehen. Dadurch konnte die Bootsbreite radikal verringert werden. Nach einer alten Bauernregel „Länge läuft“ wurde das Verhältnis Breite zu Länge erheblich zugunsten der Bootslänge verschoben. Heute spricht man bei Ruderbooten von einem Breite-Längenverhältnis von ca. 1:25 bis 1:35. Die damaligen Holz Ausleger wurden 1830 durch Stahlkonstruktionen abgelöst. Diese konnten höheren Belastungen standhalten und durch weniger starkes Federn den Druck besser auf das Boot übertragen. Die fortschreitende Entwicklung bleibt auch heute nicht stehen. So löste erst vor kurzem eine neu entwickelte Carbon Verstrebung den leichten Aluminium Ausleger ab. Eine weitere große Weiterentwicklung gab es um 1840 in der Verbesserung der kiellosen Außenhaut. Im Wesentlichen wurde dies durch den Übergang der Klinkerbauweise, bei der ca. 6mm starke Planken dachziegelartig übereinander genietet sind, zu der Schalenbauweise, bei der die Außenhaut aus zwei in sich gebogenen 2-3mm starken Planken bestand, ermöglicht. Den Bootsnamen „shell“ (=Gerippe) verdankt das Boot dem internen Geflecht stabilisierender Bretter und dem bootsinternen Kiel. Durch die massiven Gewichtseinsparungen und die verbesserte Strömung an der Grenzschicht durch eine

glatte Außenhaut wurden die Rennruderboote wiederum schneller. Die Einführung von Kunststoffmaterialien brachte 1972 einen enormen Geschwindigkeitsvorteil, welches die folgende Grafik belegt.

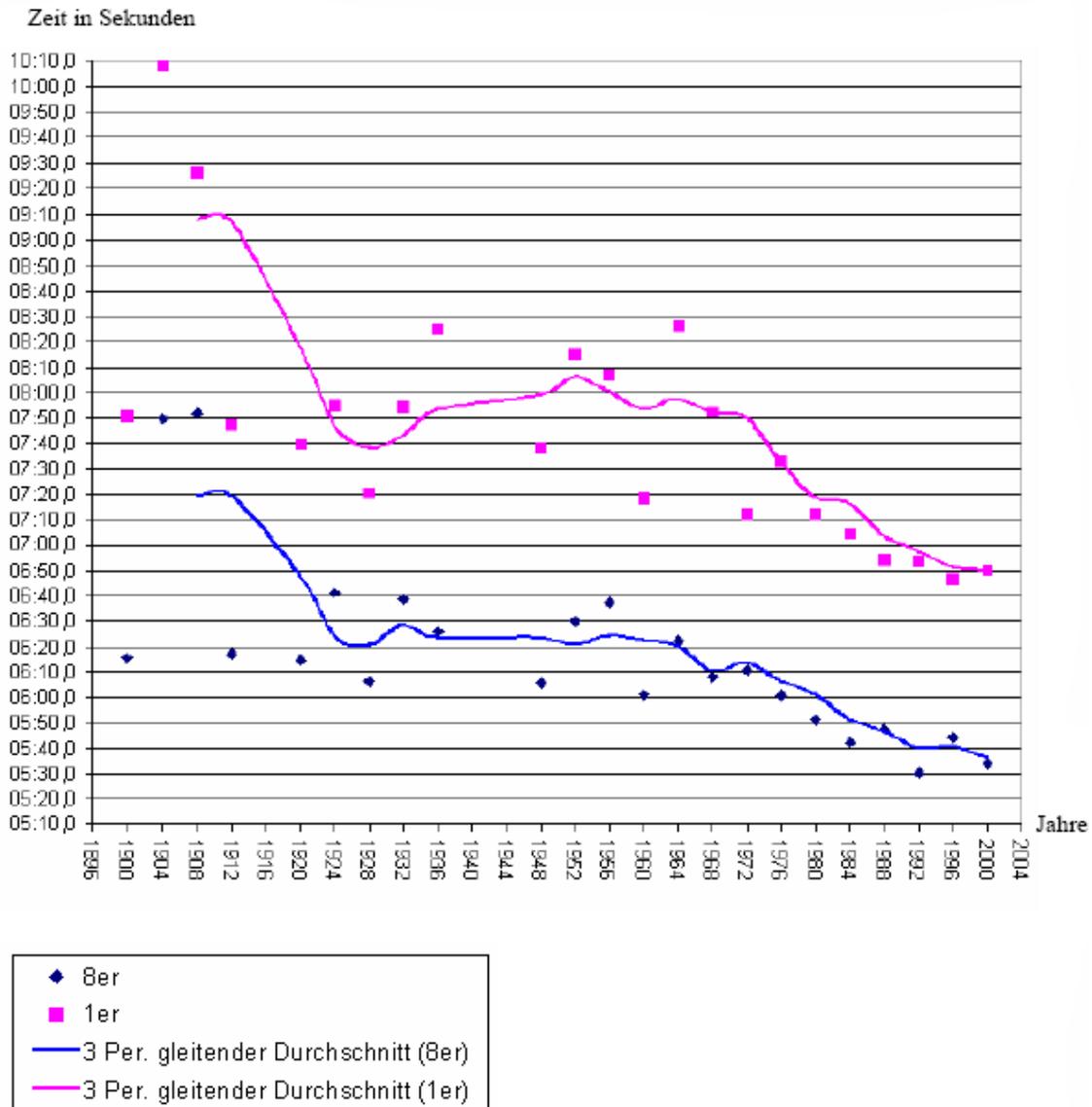


Abbildung 3: Darstellung nach Daten von:

<http://www.ndr.de/sydney2000/sportarten/geschichte/db.phtml>

Hier wurden die Zeiten der 8er (blau Linie unten) bzw. der 4er (lila Linie oben) anhand den Olympischen Spielen von 1896 bis 2004 aufgezeichnet. Da die geruderten Zeiten stark von den aktuell herrschenden Witterungsbedingungen abhängen, sind die Zeiten einzeln gesehen, äußerst kritisch zu bewerten. Eine

Ausgleichskurve zeigt jedoch einen klaren Trend zu immer schnelleren Bestzeiten und die einsetzende Materialforschung durch Einführung der Kunststoffbauweise ermöglicht geringere Reibung der Grenzfläche im Wasser.

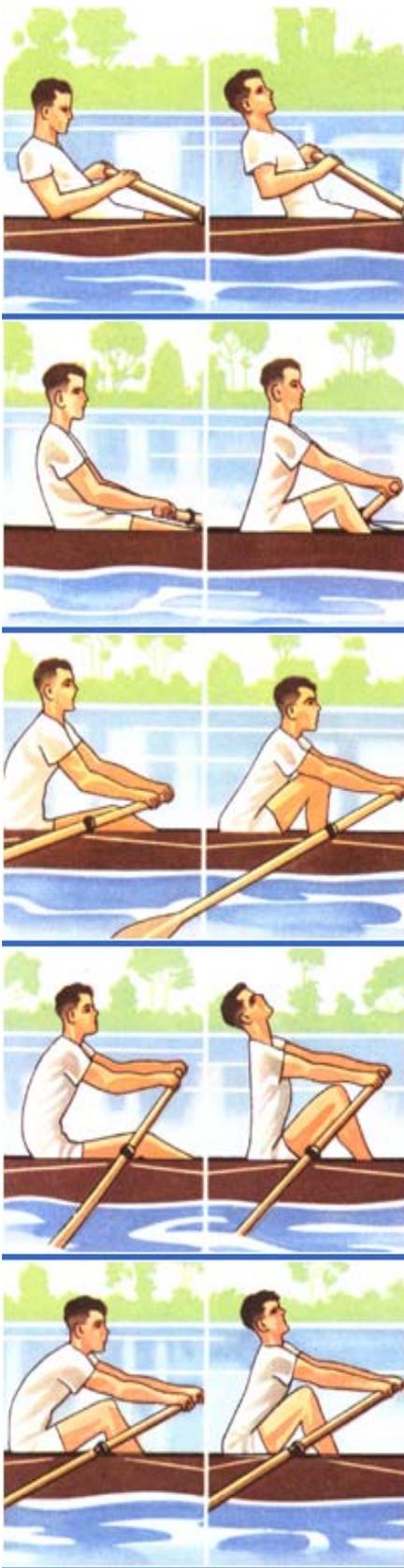
Doch auch nach Einführung leichter Bootsbauweisen veränderte sich hinsichtlich der Technik recht wenig. Dies änderte sich aber 1857, als J.C. Babcock von New York City mit dem Gleitsitz experimentierte. Seine Grundidee lag in der Verlängerung des Ruderschlages durch bewegliche Sitze unter Zuhilfenahme der Beine, welches eine größere Bootsgeschwindigkeit hervorbrachte.

Ab 1865 wurde der Gleitsitz mit gefetteten Lederhosen gerudert, was auf Chambers zurückgeht, der damit die Reibung verringern wollte. Es entwickelte sich letztendlich der Rollsitze, der zuerst auf Schienen mit Rädern angebracht, später durch Kugellager ersetzt wurde.

Bei der bis 1857 praktizierten Festsitztechnik ging es darum, den Ruderschlag durch einen langen Körperschwung möglichst lang zu machen. Der Oberkörper diente als Hebel und war steif, wobei das Abknicken nur in den Lendenwirbeln erfolgte. So konnte in den Schultern ein maximales Drehmoment ausgeübt werden, welches die gestreckten Arme direkt auf das Ruderblatt im Wasser übertrug.

Doch in die bis dahin zweckmäßige Technik „Festsitztechnik“ musste jetzt noch der Beinstoß integriert werden, was man mit dem so genannten „Orthodoxen Ruderschlag“ zu realisieren versuchte.

Der bisherige Bewegungsablauf der Festsitztechnik wurde in der Mitte des Schlages um den Beinstoß ergänzt. Dies bedeutete ein Anschwung des Oberkörpers bei gestreckten Armen. Dann folgen der Beinstoß mit dem Gleit- bzw. später mit dem Rollsitze und anschließend der Rückschwung und der Armzug. Der Beinstoß wurde also als Beifügung in die bisherige Festsitztechnik aufgenommen. Die verschiedenen Bewegungen wurden somit als einzelne Teile gesehen und erfolgten zeitlich und dynamisch voneinander getrennt.



*Abbildung 4*

Damals herrschte jedoch ein sehr großer Rollwiderstand, wobei die Rolllänge nur schrittweise mit der Einführung widerstandsärmeren Rollsitzen vergrößert werden konnte. Der Einsatz des Oberkörpers blieb noch lange Zeit Hauptantriebsfaktor. Geändert hatte sich dies erst im Rennsport, wo man den Vorteil einer größeren Länge nachweisen konnte. Auch die Rollschiene verlängerte sich in der Geschichte immer weiter. Heute wird eine Rollschienenlänge von 80cm verwendet, welches eine optimale Ausnutzung eines langen Schlages zur Folge hat.

Lange Zeit galt die Orthodoxe Rudertechnik als die „richtige“ Technik, bis 1933 der Australier Steve Fairbairn mit seinen Rudermannschaften in England für Aufregung sorgte. Die Rudertechnik seiner Mannschaften zeigten nicht die Merkmale der Orthodoxen Technik, der gerade Rücken und die zeitlich voneinander getrennten Oberkörper und Beinbewegungen, sondern eine Kopplung der Teilimpulse. (Siehe Abb. 4: Rechte Spalte Fairbairn-, linke Spalte die Orthodoxe Technik) Ein Teilimpuls  $p$  bildet das Produkt aus der Masse  $m$  eines Körpers in Bewegung und dessen Geschwindigkeit  $v$ . Fallen diese Teilimpulse der Einzelbewegungen räumlich und zeitlich zusammen, ergibt sich nach dem biomechanischen Prinzip der Kopplung von Teilimpulsen ein besonders großer Gesamtimpuls (näheres im Kapitel des technischen Leitbildes).

Fairbairn lehnte jegliche Haltungsvorschriften ab und versuchte den höheren Gesamtimpuls zum Vorteil des Vortriebes des Bootes zu verbessern. Durch seine Überlegenheit auf deutschen Regattabahnen 1933 mit dem Pembroke-Vierer machte er als erster auf die Fehlentwicklung der Rudertechnik aufmerksam. Die Rudertechnik konnte in der Zeit der Orthodoxen Lehrweise nicht mit den Veränderungen des Rudergerätes mithalten und stand somit unter Reformzwang. Es entbrannte im deutschen Rudersport ein heftiger Streit zwischen Anhänger der Orthodoxen- und der Fairbairn's Technik und es dauerte somit Jahrzehnte bis die Veränderung des Rudergeräts auch eine Veränderung der Rudertechnik mit sich zog. An dem Beispiel der Erfindung des Rollsitzen wird somit deutlich, wie eng die Rudertechnik mit dem Rudergerät in Verbindung steht. Auf die heutige Zeit übertragen ist eine ausgewogene Einstellung des Bootes, auch Trimm genannt, eine fundamentale Voraussetzung zur Praktikierbarkeit einer effektiven Rudertechnik. Unsere heutige Technik entwickelte sich also primär aus den Errungenschaften des Bootsbaues. Die Weiterentwicklung des Bootsbaues ist heute keineswegs beendet. Ein Beispiel zeigt z.B. die Einführung von Leichtgewichtsbootklassen im olympischen- und WM Programm. Der Markt forderte die Verkürzung der Boote mit geringeren Platzlängen, welches den Leichtgewichtsruderern eine Verringerung der benetzten Bootsfläche mit Wasser um ca. 3% bescherte. Letztendlich konnte sich nach Angaben der Empacher Bootswerft dieser Vorteil auf 1 % in der Praxis ausmachen. Doch diese scheinbar geringe Zahl ergibt ein Vorteil von ungefähr einer Bootslänge (~8m) auf einer Distanz von 2.000m. Des Weiteren zeichnet sich heute ein neuer Trend zu Flügelausleger an, die eine bessere Ausnutzung der Kraft auf das Boot in Vortrieb versprechen. Es besteht sozusagen ein Evolutionsprozess, nachdem die Auswirkungen der Rudertechnik durch Veränderungen am Rudergerät bestimmt werden.

## 2. Physikalische Grundlagen im Rudersport

Dem grundlegenden Ziel, dem Ruderboot einen möglichst schnellen Durchlauf durch das Medium Wasser/Luft zu ermöglichen, sind aufgrund der gegebenen physikalischen Gesetze, Grenzen gesetzt. Diese werden festgelegt durch Größen wie die Verdrängung, den verschiedenen Arten der Reibung und den zwischen Ruderer zu Boot und Boot zu Wasser wirkenden Hebelgesetzen.

### 2.1 Verdrängung

Als schwimmender Körper unterliegt das Ruderboot den Bedingungen des Archimedischen Prinzips.

- Jeder schwimmende Körper taucht so weit ein, bis zwischen den eintauchenden Massen und der Masse des dabei verdrängten Wassers Gleichgewicht besteht.
- Der Betrag des Auftriebes, den ein in eine Flüssigkeit eingetauchter Körper aufgrund des Schweredruckes erfährt, ist gleich dem Betrag der Gewichtskraft der von dem Körper verdrängten Flüssigkeitsmenge. Es gilt  $F_{\text{Auftrieb}} = \gamma * V$   
 $\gamma$  ist die Dichte der Flüssigkeit; bei Wasser  $0,98 \text{ cN/cm}^3$ .  
 $V$  ist Volumen des eingetauchten Körpers (entspricht der Masse des verdrängten Wassers).  
 $\gamma * V$  ist gleich dem Betrag der Gewichtskraft der vom Körper verdrängten Flüssigkeitsmenge.

Die eintauchende Masse, auch als Verdrängung bezeichnet, setzt sich aus den Massen der Ruderer, als auch aus der Masse des Bootes zusammen.

Der Teil über Wasser ist nur bedingt veränderbar. Die Höhe des Freibords ist durch die Forderung nach einer störungsfreien Führung des Ruders und einem gewissen Schutz gegen Wassereintritt bei Wellengang festgelegt.

Dahingegen besteht bei der Wahl der Bootslänge und Querschnittes, also dem Teil unter Wasser, eine größere Variabilität. In der Geschichte des Rudersports wurde durch Experimente der Trainer, Ruderer und Bootsbauer eine Vielzahl von Veränderungen auf den Weg gebracht. Der Übergang zu leichteren Bauweisen, durch die Ablösung von Holz durch Kunststoff und Kohlefaser ermöglichte es, immer leichtere bzw. schmälere Boote zu entwickeln. Dadurch verringerte sich auch die Verdrängung. Das Verhältnis von Breite zu Länge schwankt je nach Bootsgattungen zwischen 1:25 bis 1:35. Die Einzigartigkeit solcher Werte im Wasserfahrzeugbau beweisen folgende Beispiele: Segelboote 1:3,2, Motorboote 1:3,8.

Doch dieses Verhältnis variiert nicht nur je nach Bootsgattung, sondern auch zwischen der Anwendungsanforderung des Bootes (Rennsport, Breitensport), des Anwendungsgebietes (Binnen, See), dem Hersteller und dem Gewicht des Ruderers. Um den gleichen Auftrieb zu erhalten kann das Boot relativ lang und schmal, oder entsprechend kürzer und dafür breiter gebaut werden. Ferner ist bei der Verdrängungsberechnung noch das Verhältnis Tiefe zu Breite (T:B) zu berücksichtigen.

## **2.2 Stabilität**

### **2.2.1 Statische Stabilität**

Unter Stabilität versteht man ganz allgemein die Fähigkeit eines Schiffes, aus einer in der Längs- oder Querebene geneigten Lage selbständig wieder in die aufrechte Lage zurückzukehren. Dabei unterscheidet man zwischen einer Längs- und Querstabilität des Bootes. Die Längsstabilität eines Bootes spielt aufgrund der großen Länge eine untergeordnete Rolle. Vielmehr wirkt sich die Stabilität auf die schmale Querseite eines Bootes aus. Daher wird die Längsstabilität im Folgenden nicht näher untersucht. Die Stabilität setzt ein Momentgleichgewicht voraus, welche durch die beiden nachfolgenden Größen  $F_G$  und  $F_A$  bestimmt werden. Die

Angriffspunkte dieser Vektoren wirken wie in Abbildung auf Seite 16 veranschaulicht.

Die resultierenden Massen aller Körper über Wasser greifen am Gewichtsschwerpunkt G an. Da der Bewegungsablauf des Ruderns eine erhöhte Anordnung des Rollsitzen und somit des Ruderers voraussetzt, befindet sich der Gewichtsschwerpunkt ca. 30cm über der Wasserlinie. Das Ruderboot erhält somit von vornherein eine unsichere labile Lage im Wasser. Eine umso stabilere Lage wäre also gegeben, je näher sich der Gewichtsschwerpunkt S sich über dem Kiel befindet.

$F_G = m * g$ ; (Gewichtskraft = Masse \* Erdbeschleunigung) [ $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ] (Gl. 2.2.1.a)

$F_G = \rho * V * g$  [Dichte \* Volumen \* Erdbeschleunigung] (Gl. 2.2.1.b)

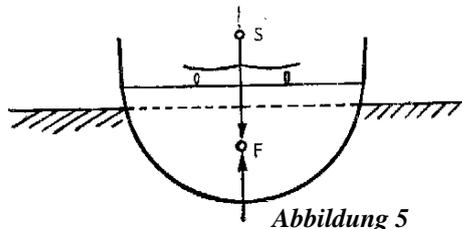
Hierbei muss jedoch mitberücksichtigt werden, dass die unterschiedlichen Dichten und Volumina der einzelnen Bootskomponenten berücksichtigt werden müssen. Somit ist eine Aufaddierung der einzelnen Komponenten nötig:

$F_G = \Sigma (\rho_{\text{Ruderer}} * V_{\text{Ruderer}} * g) (\rho_{\text{Boot}} * V_{\text{Boot}} * g) \dots$

Allerdings spielt der Formschwerpunkt F bei der Stabilität des Bootes eine weitere große Rolle, da die beiden Schwerpunkte G und F sich im Wechselspiel zueinander befinden. Die Schwerkraft wirkt dem Auftrieb entgegen. Die Lage des Angriffspunktes der Auftriebskraft ergibt sich aus der Form des eintauchenden Bootskörpers. Man bezeichnet diesen als Formschwerpunkt F. Die Lage des Formschwerpunktes bildet sich aus dem Schwerpunkt des verdrängten Wasservolumens und ist von der Lage des Rumpfes im Wasser abhängig. Krängt (neigt) sich das Boot, so wird der Formschwerpunkt auswandern und so kommt durch das Zusammenwirken von Auftriebs- und Gewichtskraft ein aufrichtendes Moment  $M_a$  zustande.

$F_A = D * g$ ; (Auftriebskraft = Masse des verdrängten Wassers \* Erdbeschleunigung) [ $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ] (Gl. 2.2.1.c)

$F_A = \rho * V * g$  (Dichte des verdrängten Stoffes \* Volumen des eingetauchten Körpers \* Erdbeschleunigung) (Gl. 2.2.1.d)



Befindet sich der Gewichtsschwerpunkt G senkrecht über dem Formschwerpunkt F, so hat das Boot eine stabile Lage über Wasser. Der Ruderer muss somit stets bemüht sein, diese Bedingung durch Balance zu erhalten.

Schwierig wird dies sowohl bei äußeren Einflüssen wie Strömung, Wellen oder Wind als auch bei dem Riemenrudern. Durch die Drehbewegung von einem auf dem steuerbord- oder backbord Seite liegenden Drehpunkt ergibt sich zwangsläufig eine Abweichung von G und F, das Boot krängt somit auf eine Seite. Die Riemenmannschaft muss diese Massenverlagerung auf beiden Seiten gleich gestalten, bzw. durch Balance durch die Riemen das Boot in eine stabile Lage zurückführen. So kann man durch ein „Draufdrücken“ des Innenhebels das Boot auf seiner Seite kippen bzw. das Boot durch ein hohes Anziehen des Innenhebels das Boot auf seiner Seite aufrichten. Die Stabilität des Bootes hängt insoweit auch von der Blattführung des Innenhebels ab.

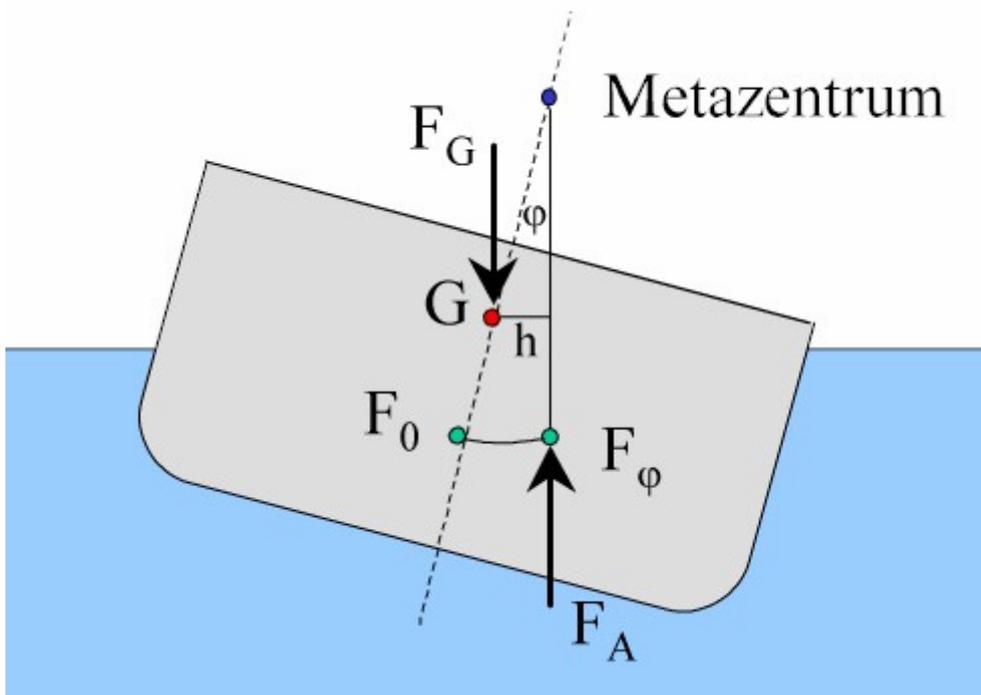


Abbildung 6: Angriffspunkte der Kräfte

Befindet sich das Boot um den Winkel  $\varphi$  in einer gekrängten Lage, so ändert sich die Form des eingetauchten Volumens und der Angriffspunkt der Auftriebskraft  $F_A$ , die im Schwerpunkt der verdrängten Flüssigkeit angreift.  $F_A$  und  $F_G$  befinden sich zu jeder Zeit parallel und besitzen den Abstand  $h$  zueinander.  $h$  bezeichnet man auch als den Hebelarm des Aufrichtenden Momentes. Der Hebelarm ist somit eine Größe, die sich erst aus einer Krängung heraus bildet und von  $\varphi$  abhängig ist.

Das aufrichtende Moment wird gebildet aus:

$$\mathbf{M}_a = \mathbf{F}_A * \mathbf{h} \text{ (Aus Gl. 2.2.1.c ergibt sich)}$$

$$\mathbf{M}_a = \mathbf{D} * \mathbf{g} * \mathbf{h} \text{ (Gl. 2.2.1.e)}$$

Man würde den Ruderbooten somit eine große Stabilität zuschreiben, denn das aufrichtende Moment wird umso größer, je stärker die Krängung zunimmt. Dieses physikalische Gesetz besitzt jedoch nur dann Wirkung, wenn sich das Metazentrum  $M$  über dem Gewichtsschwerpunkt  $G$  befindet. Als Metazentrum ist demnach derjenige Punkt definiert, der  $G$  nach oben nicht überschreiten darf, wenn das Schiff (bei kleinen Neigungswinkeln) stabil bleiben soll.

So existiert z.B. in der Binnenschifffahrt ein Stabilitätsgesetz, nachdem ein Schiff die Metazentrische Höhe von 1m nicht unterschreiten darf.

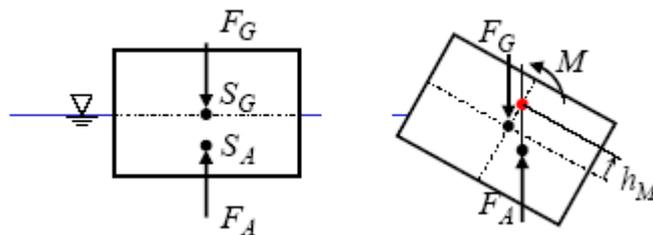
Für den Rudersport bleibt dieses Gesetz somit wirkungslos, da die Länge des Gewichtsschwerpunktes über der Wasserlinie bezogen auf die Länge des Metazentrums über der Wasserlinie ca. den Faktor 10 bei einem Einer übersteigt.

Tabelle:

	<b>Einer</b>	<b>Achter</b>
Formschwerpunkt unter der Wasserlinie	4.5 cm	7,4 cm
Metazentrum über Formschwerpunkt	7.7 cm	20 cm
Metazentrum über der Wasserlinie	3.2 cm	13 cm
Gewichtsschwerpunkt über der Wasserlinie	30 cm	28 cm
Sitzhöhe über der Wasserlinie	11 cm	9 cm

Zusammenfassung:

- Stabilität: Der Körper nimmt nach einer Auslenkung die alte Gleichgewichtslage wieder ein.



*Abbildung 7: Angriffspunkte der Kräfte für bei der Stabilität*

Diese Voraussetzung ist dann erfüllt, wenn die metazentrische Höhe  $h_m > 0$ .  
 $h_m$  ist der Abstand, welcher das Metazentrum M über  $F_G$  besitzt.

- Instabilität: Der Körper nimmt nach einer Auslenkung eine neue Gleichgewichtslage ein.

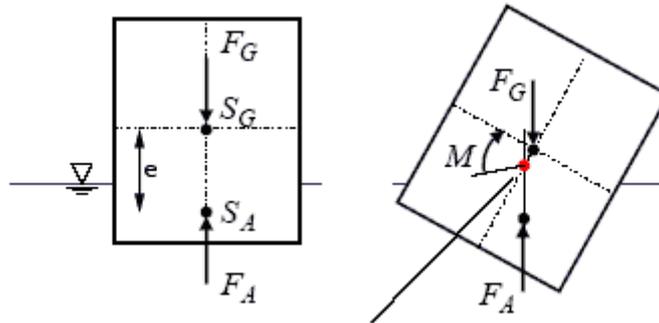


Abbildung 8: Angriffspunkte der Kräfte für bei der Instabilität

Dieser Zustand tritt ein bei  $h_m < 0$  ein.

Für  $h_m$  gilt:

$$h_m = \frac{I}{V} - e \text{ (Gl. 2.2.1.f)}$$

$I$  = axiales Flächenträgheitsmoment der Schwimmfläche bzgl. der Längsachse;  
 $V$  = Volumen der verdrängten Flüssigkeit gemäß dem Satz von Archimedes;  
 $e$  = Abstand zwischen dem Schwerpunkt des Körpers und dem Schwerpunkt der in die Flüssigkeit eingetauchten Körpers bzw. Schwerpunkt des verdrängten Wassers.

Je höher also der Trägheitsmoment, umso stabiler ist die Schwimmelage des Bootes. Als Trägheitsmoment bezeichnet man allgemein in der Physik die Eigenschaft eines Körpers /einer Masse, sich einer Drehkraft zu widersetzen. Das bedeutet je mehr sich ein Körper einer Drehkraft widersetzt, umso stabiler ist seine Schwimmelage. Desto größer jedoch das Volumen der verdrängten Flüssigkeit, umso näher rückt der Schwerepunkt der verdrängten Flüssigkeit an den Gewichtsschwerpunkt heran, umso geringer ist die metazentrische Höhe.

Ein Ruderboot besitzt aufgrund der erhöhten Sitzposition der Mannschaft von vornherein eine labile Lage. Es gibt jedoch spezielle Ausbildungsboote, deren Bootshaut eine geringere Wölbung aufweist. Der Erhöhte Durchmesser bewirkt ein erhöhtes Metazentrum. Die Bootsform befindet sich in einem stabilen Zustand.

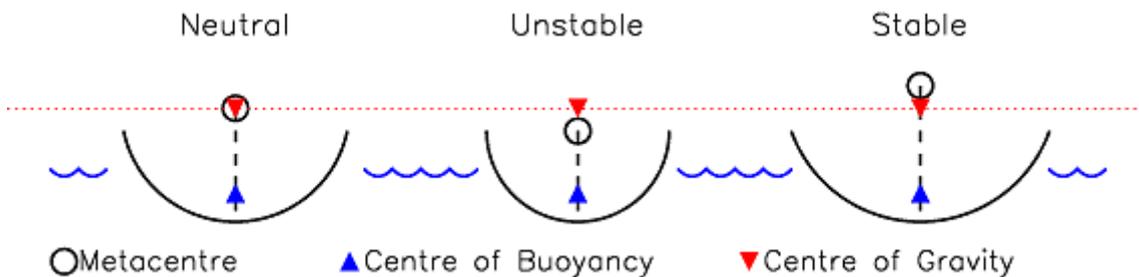


Abbildung 9: Verhalten bei unterschiedlicher Bootsform

Rechenbeispiel:

Ein Ruderboot besteht zur Vereinfachung aus einem Rechteck der Breite von 30cm und einer Höhe von 20cm. Die durchschnittliche Dichte entspricht etwa der eines Balsaholzes mit  $\rho_B = 100 \text{ kg/m}^3$ . Dichte von Wasser  $\rho_W = 1000 \text{ kg/m}^3$ .

a) Eintauchtiefe:

Länge des Balkens sei  $l$ .

Gewichtskraft:

$$F_G = \rho_B g V = \rho_B g h b l \text{ nach (Gl. 2.2.1.b) und } V_{\text{Rechteck}} = h b l$$

Auftriebskraft:

$$F_A = \rho_W g V_v = \rho_W g t b l \text{ [t=Eintauchtiefe] nach (Gl. 2.2.1.d)}$$

Schwimmfähigkeit für  $F_A = F_G \rightarrow$

$$t = (\rho_B / \rho_W) \cdot h = 2 \text{ cm}$$

b) Stabilität:

Flächenträgheitsmoment für eine rechteckige Schwimmfläche ist  $I_0 = 1/12 b^3 l$

Nach (Gl. 2.2.1.f) ergibt sich:

$$\mathbf{h}_m = \frac{I_0}{V_v} - e$$

$$\mathbf{h}_m = \frac{l * b^3 / 12}{t * b * l} - \frac{1}{2}(h - t)$$

$$\mathbf{h}_m = \frac{b^2}{12 * t} - \frac{1}{2}(h - t) = -5,25cm$$

Da  $\mathbf{h}_m < 0$ , ist eine labile Schwimmlage gegeben und der Körper wird sich nach der Auslenkung in eine neue Gleichgewichtslage begeben.

### 2.2.2 Dynamische Stabilität

Bisher haben wir nur die Stabilität eines statischen Objektes im Wasser angeschaut. Aus Erfahrung weiß man allerdings, dass sich ein Boot in Bewegung durch das Wasser wesentlich stabiler verhält. Dies lässt sich beispielsweise ganz einfach mit folgender Übung belegen:

Die Bootscrew soll auf Kommando während dem Rudern den Schlag in der Rückenlage beenden und die Blätter schweben lassen. Die Hände nimmt man zur stabileren Sitzposition vor dem Körper, so dass die Skulls/Riemen sich senkrecht zur Bootshaut befinden. Da das Boot noch eine gewisse Geschwindigkeit besitzt, ist es für die Bootscrew relativ einfach, die Blätter frei vom Wasser „schweben“ zu lassen. Verringert sich jedoch die Geschwindigkeit aufgrund der Widerstandsfaktoren, so wird es immer schwerer die Balance zu halten. Das Boot wird instabiler und ist letztendlich in der Ruheposition aufgrund der instabilen Beschaffenheit kaum mehr in der Balance zu halten. Die Riemen/Skulls dienen nun als Balancierstab, vergleichbar mit einem Seilläufer, der sein Gleichgewicht auch mit Hilfe eines langen Balancierstabes versucht zu halten. Durch Höhenveränderung des Innenhebels lässt sich das Boot somit begrenzt in einer stabilen Position halten. Doch

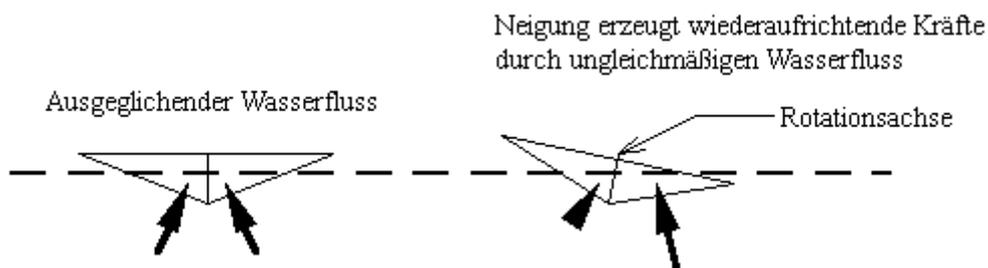
warum besitzt das Boot in Geschwindigkeit eine höhere Stabilität? Um genau dieses Phänomen geht es im Folgenden:

Die Außenhülle muss somit ein wiederaufrichtendes Moment erzeugen, welches das Boot im Gleichgewicht hält. Im Gegensatz zur Berufsschiffahrt, bei der es auf eine sehr hohe statische Stabilität ankommt (z.B. beim Verladen von Frachten), spielt die dynamische Stabilität eine sehr große Rolle. Da die heutigen kunststoff-/karbongefertigten Außenhüllen sehr leicht sind, erzeugt die dynamische Stabilität eine nennenswerte Wirkung.

Ein Achter besitzt eine ungefähre Geschwindigkeit von 5m/s bei einer Durchschnittszeit von 1:40min auf 500m. Dabei befindet sich eine frontale Querschnittsfläche von ca. 0,077m<sup>2</sup> unter Wasser. Bewegt sich diese frontale Querschnittsfläche 5m durch das Wasser, so hat es eine Fläche von 0,385m<sup>3</sup> Wasser verdrängt. Für die Dichte von Wasser von 1Kg/l bzw. 1g/cm<sup>3</sup> ergibt sich daraus ein Gewicht von 385kg Wasser.

Dies bedeutet eine Verdrängung von ca. 400Kg Wasser pro Sekunde bzw. 1 Tonne Wasser pro Schlag. Diese unvorstellbaren Kräfte wirken somit auf die Außenhaut und verdeutlichen die hohe Wichtigkeit einer widerstandsarmen und stabilen Bootsform bei geringstem Gewicht.

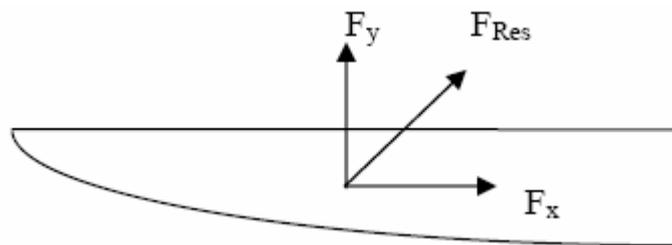
Die folgende Grafik soll die wiederaufrichtenden Kräfte eines Bootes in Geschwindigkeit am Bootsrumpf verdeutlichen:



*Abbildung 10: Wiederaufrichtende Momente während der Neigung*

Die Auswirkungen des wiederaufrichtenden Momentes sind bei einer V-Form als Bootskörper am größten. Denn wenn man sich eine schwimmende Kugel im Wasser vorstellt, so würde sich kein wiederaufrichtendes Moment ergeben, wenn man die Kugel drehen würde. Das bedeutet desto rundlicher die Bootsform ist, desto geringer sind die Auswirkungen der dynamischen Stabilität. Ein typischer Bootsrumpf wird zur Mitte hin immer runder, während die Spitze noch eine V-Form beschreibt. Der stabilisierende Effekt der dynamischen Stabilität wird somit am Bug des Ruderbootes am größten sein.

Befindet sich die Höhenachse des Bootskörpers in einem senkrechten Zustand zum Wasser, also in einem Zustand ohne Krängung, so wirken symmetrische Kräfte auf beide Seiten der Rumpfform. Kippt das Boot nun auf eine Seite, so verändern sich die aufrichtenden Kräfte. Der Formwiderstand eines Bootes entsteht aus der Formgebung der Außenhülle. Die Hülle muss dem vorbeiströmenden Wasser somit einen möglichst großen störungsfreien Weg gewährleisten. Bei veränderter Lage des Bootes im Wasser gelangen somit mehrere Wasserteilchen auf die sich weiter im Wasser befindlichen Bootsseiten. Der Widerstand wird somit erhöht und die Wasserteilchen üben eine größere Kraft auf die sich weiter im Wasser befindlichen Bootsseite aus. Es werden also mehr Teilchen auf die Seite „gedrückt“ als auf der gegenüberliegenden Bootsseite. Desto schneller ein Boot ist, desto mehr Mengen von Wasser wird es verdrängen, desto größer sind die Kräfte die auf der Seite der Bootshülle lasten. Die Folge daraus ist, dass ein wiederaufrichtendes Moment auf der Bootsseite erzeugt wird, die eine größere mit Wasser benetzte Fläche besitzt.



*Abbildung 11: Äquivalenz zwischen der Geschwindigkeit und Energie*

Ein Ruderboot besitzt die kinetische Energie  $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} * m * v^2$ . Da die Energie mit dem Quadrat der Geschwindigkeit einhergeht, ist das aufrichtende Moment 4mal so groß wenn sich die Geschwindigkeit verdoppelt.

## 2.3 Antrieb

### 2.3.1 Impuls zwischen Wasser und Boot

Ein Boot bewegt sich nach dem 3. Newton'sche Axiom  $\text{actio} = \text{reactio}$  fort. Über den Ruderschlag erzeugt man einen Impuls am Ruderblatt und Wasser wird in die entgegengesetzte Ruderrichtung beschleunigt. Dieser Aktion ist eine Gegenreaktion gegenübergestellt, die sich durch das Fortbewegen des Bootes äußert.

Vor dem Ruderschlag besitzt das Boot den Impuls  $P_b = m_b * v_0$  und das Wasser den Impuls  $P_w = m_w * v_0$ , wobei die Geschwindigkeit gleich Null ist. Der Gesamtimpuls ist somit gleich Null. Nach dem Ruderschlag bewegt sich das Boot mit einer positiven Geschwindigkeit von  $v = +v_b$  und einer Masse von  $m = m_b$  fort. Das Wasser hingegen besitzt eine entgegengesetzte negative Geschwindigkeit von  $v = -v_w$  und einer Masse von  $m = m_w$ . Die Teilimpulse sind betragsmäßig gleich groß, besitzen aber als Vektorschreibweise entgegengesetzte Richtungen ( $P_1 = -P_2$ ). Der Gesamtimpuls hingegen ist nach dem Ruderschlag aufgrund des Impulserhaltungssatz in geschlossenen Systemen gleich groß wie vor dem Ruderschlag, nämlich Null.

$$\mathbf{P}_{\text{ges}} = \mathbf{m}_b * \mathbf{v}_b - \mathbf{m}_w * \mathbf{v}_w = \mathbf{0} \quad (\text{Gl. 2.3.1.a})$$

#### Rechenbeispiel:

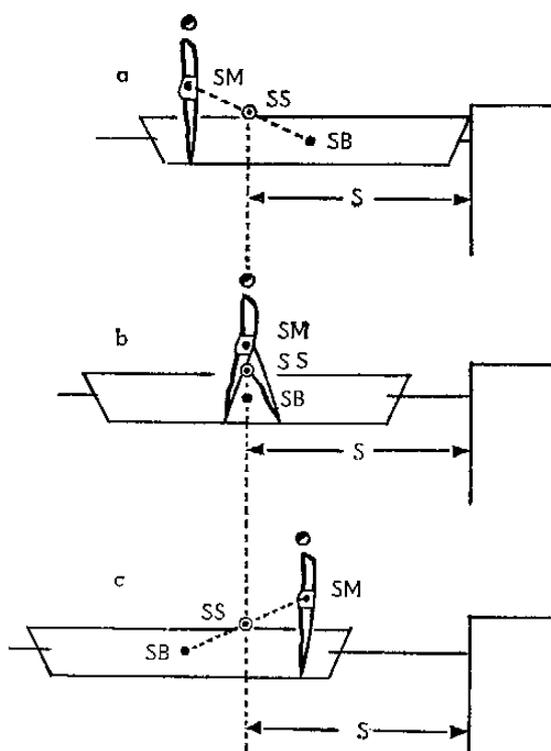
Ein Ruderer und sein Boot der Gesamtmasse von  $m_b = 100 \text{Kg}$  (Einer) beschleunigt sein Boot aus dem Ruhezustand auf eine Geschwindigkeit von  $v_b = 1 \text{m/s}$ .

Sein Bootsteilimpuls  $p_b$  beträgt somit  $p_b = 100 \text{Kg} * \text{m/s}$ . Um sein Boot nun beschleunigen zu können, muss er z.B. Wasser der Masse  $m_w = 10 \text{kg}$  auf  $v_w = 10 \text{m/s}$

beschleunigen, damit der Teilimpuls des Wassers  $p_w=100\text{Kg}\cdot\text{m/s}$  beträgt und der Gesamtimpuls Null ergibt.

### 2.3.2 Impuls zwischen Mannschafts- und Bootsschwerpunktes aufgrund der Rollarbeit

Doch so besitzt nicht nur das Wechselspiel von Wasserimpuls zu Bootsimpuls eine Bedeutung beim Rudern, sondern auch das Zusammenwirken von dem starren Bootsschwerpunkt und dem variablen Mannschaftsschwerpunkt, dem eine hohe Wirkung zukommt. Bei einer Verlagerung des Mannschaftsschwerpunktes durch die Rollbahn weicht das Boot nach dem Impulserhaltungssatz in die entgegen gesetzte Richtung aus.



Rollen die Ruderer heckwärts in die Vorlage, so weicht das Boot bugwärts aus. Rollen sie bugwärts in die Rückenlage, ohne dabei die Blätter einzutauchen, so bewegt sich das Boot heckwärts in entgegen gesetzter Richtung. Da diese Kräfte gleich groß sind, heben sie sich im Grunde auf. Man muss jedoch berücksichtigen, dass der Impuls des Vorwärts- bzw. Rückwärtsrollen bei jedem Schlag effektiv im Geschwindigkeitsverlauf des Bootes einwirkt.

Abbildung 12: Ortsveränderung des Bootes bei Verlagerung des Mannschaftsschwerpunktes

So lässt sich im Geschwindigkeitsverlauf des Bootes die Wirkung aufgrund des Antriebes aufgeschlüsselt von der Einwirkung des Rollens differenziert betrachten.

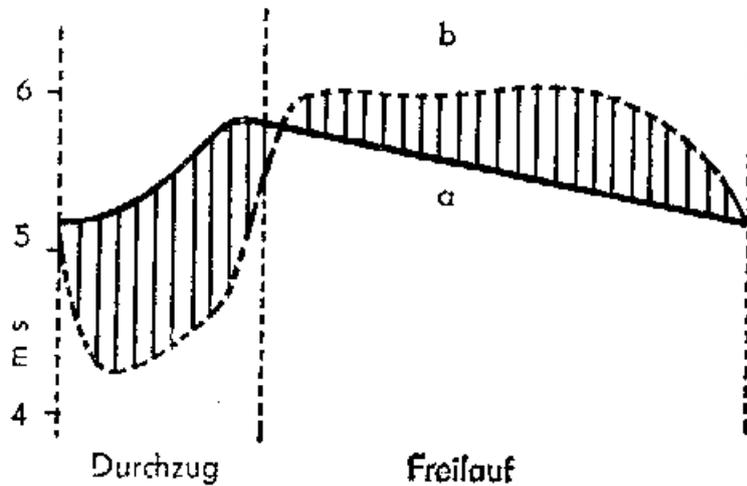


Abbildung 13: a – Geschwindigkeitsverlauf aufgrund des Antriebes, b – Einwirkung auf die Bootsgeschwindigkeit infolge der Verlagerung des Mannschaftsschwerpunktes

Der wahre Geschwindigkeitsverlauf ist somit die resultierende Linie aus den Kurven a und b. Zusammenfassend lässt sich für die Auswirkungen der Rollarbeit auf das Ruderboot folgendes festhalten:

Beim Durchzug bremst das Bugwärtsrollen, beim Freilauf fördert das Vorrollen den Lauf des Bootes. Hier eine vereinfachte Darstellung des Geschwindigkeitsverlaufes gegen Land während eines Schlages.

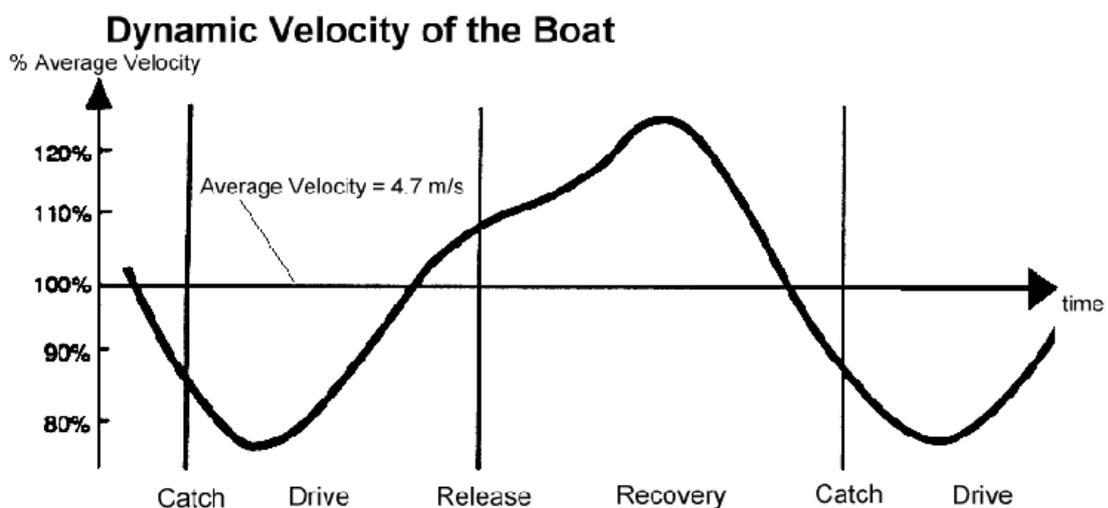


Abbildung 14: Geschwindigkeitsverlauf gegen Land für einen Schlag

Auffallend hierbei ist, dass die höchste Bootsgeschwindigkeit nach dem Ausheben der Blätter erreicht wird, also weit nach der eigentlichen Antriebsphase. Diese Tatsache lässt viele Besucher von Ruderregatten verwundern, denn bei zwei gleichauf liegende Booten hat immer dasjenige Boot den Bugball vorne, welches gerade den Schlag beendet hat und in die Vorlage rollt. Dies hängt eben mit dem freilauffördernden Impuls während des Vorrollens zusammen.

Doch aus der Interpretation der Kurve lässt sich nur eine weitere Frage stellen: Warum beginnt die Geschwindigkeit nicht direkt nach dem Wasserfassen anzusteigen, sondern warum tritt dies verzögert auf?

Der Grund hierfür ist, dass das Boot noch eine gewisse Geschwindigkeit zum Zeitpunkt des Wasserfassens besitzt. Das Blatt muss also um Druck aufzubauen, eine relative Geschwindigkeit gegenüber dem Boot übersteigen. Dies kann nur durch den einsetzenden Beinstoß geschehen. Da der Beinstoß jedoch das Boot bekanntlich im Durchzug vom Lauf gestört wird, wirkt sich auch der Zeitpunkt zwischen dem anfänglichen Beinstoß bis hin zum Druckfinden des Blattes negativ auf die Geschwindigkeit des Bootes aus. Das ist der Grund, warum die Geschwindigkeit mit einer kleinen Zeitverzögerung nach dem Wasserfassen ansteigt.

## **2.4 Widerstandsfaktoren**

Ein Ruderboot verliert während es sich im Wasser bewegt an Geschwindigkeit. Dies liegt an den Medien Wasser und Luft, jedoch ist der Luftwiderstand durch die äußerst geringe Dichte gegenüber dem Wasser fast zu vernachlässigen. Doch kann sich der Luftwiderstand aufgrund der herrschenden Bedingungen um mindestens das 10fache erhöhen, treten starke Winde auf. In einer Fachliteratur finden sich sogar Hinweise, dass der Luftwiderstand ca. 12% des Gesamtwiderstandes ausmacht. Im Folgenden wird jedoch von solchen Extrembedingungen abgesehen.

Der Widerstandsfaktor basiert übrigens auch auf dem Gesetz der Impulserhaltung: Während das Boot sich verlangsamt, nimmt die Geschwindigkeit des umliegenden Wasser zu. Der Gesamtimpuls bleibt also konstant. Man unterscheidet in der Bremswirkung des Wassers zwischen den Komponenten Form-, Reibungs- und Stampfwiderstand.

#### **2.4.1 Formwiderstand**

Der Formwiderstand basiert auf der Formgebung des Bootes, welche ein möglichst störungsfreies eindringen in das Wasser durch den Bug und ein gutes Ablösen des verdrängten Wassers durch das Heck garantieren soll. Dies ist auch der Grund, warum die Ruderboote eine lang gestreckte Form besitzen, denn damit wird der formbedingte Wasserwiderstand der Bootshülle so gering wie möglich gehalten. Je länger und schmaler ein Boot ist, desto geringer ist der Formwiderstand, aber desto kippempfindlicher ist es auch. Der Anteil der Form am Gesamtwiderstand beträgt nur etwa 8%.

#### **2.4.2 Reibungswiderstand**

Der Reibungswiderstand spielt aufgrund eines Anteils von 88% am Gesamtwiderstand eine bedeutende Rolle. Dieser ist abhängig von der hydrodynamischen Glätte der Bootsoberfläche und der Größe der sich im Wasser befindlichen Fläche und wird als die benetzte Fläche bezeichnet, welche wiederum proportional mit der Fläche des verdrängten Wassers in Verbindung steht und diese auch vom Gewicht des Bootes und der Crew abhängt. Nach Gluchowski gilt als Näherungsberechnung der benetzten Oberfläche in m<sup>2</sup> folgende Gleichung:  
 **$A_b = \text{Länge der Konstruktionswasserlinie} * \text{Hauptspantumfang bis KWL} * 0,7$**

Die Länge der Konstruktionswasserlinie beruht auf die durch die Konstruktionsverdrängung resultierende Eintauchtiefe und wird als die Länge der Wasserlinie ohne Zusatzgewichte (Besatzung o.ä.) definiert. Die KWL ist eine maßgebliche Größe im Bootsbau, denn diese begrenzt die maximale Geschwindigkeit eines Bootes. Die Maximalgeschwindigkeit, auch Rumpfgeschwindigkeit genannt, wird durch die Wurzel aus der Länge der KWL in Metern \* 4,5 festgelegt. Das bedeutet dass ein Boot mit einer KWL von 9m (Einer) nicht schneller als 6,4m/s fahren kann, auch bei einer unendlich groß aufgebracht Kraft.

Der Reibungswiderstand wird infolge der erzeugten Verwirbelungen der Wasserteilchen zwischen Wasser und Bootskörper erzeugt. Diese Schicht der verwirbelten Wasserteilchen wird in der Hydrodynamik auch als Grenzschicht bezeichnet. Diese Schicht vergrößert sich zum Heck des Bootes hin, denn der Bug taucht noch in ganz stilles Wasser ein während das Heck die größte Verwirbelung aufweist. Dies lässt sich an der Entstehung der Wellenbildung von einer Brücke aus sehr gut beobachten und wird als Kielwasser (Reibungsmittstrom) bezeichnet (Abb. 1, Seite 4).

#### **2.4.2.1 Berechnen des Reibungswiderstandes**

Der Widerstand steht mit der Bootsgeschwindigkeit in einem festen Verhältnis:

$$\mathbf{R} = \mathbf{a} * \mathbf{V}_b^2 \text{ (Gl. 2.4.2.1.a)}$$

Der Widerstand (Resistance) steigt somit quadratisch an bei einer linearen Erhöhung der Geschwindigkeit. Der Vorfaktor a bezeichnet eine Konstante, welche die Abhängigkeit des Widerstandes an der benetzten Fläche und der Bootsform mit in die Gleichung integrieren soll.

Die eingesetzte Kraft  $F$  muss gleich mit dem Widerstand  $R$  sein, um eine konstante Bootsgeschwindigkeit zu erhalten.

Um nun eine Aussage über den Zusammenhang zwischen der verrichteten Leistung  $P$  und der Bootsgeschwindigkeit machen zu können, bedienen wir uns der allgemeingültigen Gleichung  $P = F \cdot v$  (Gl. 2.4.2.1.b). Für eine allgemeine Aussage muss somit auch der Widerstand mit berücksichtigt werden. Es gilt also nach Gl. 2.4.2.1.a und Gl. 2.4.2.1.b:  $P = a \cdot v^3$  (Gl. 2.4.2.1.c), denn um eine Geschwindigkeit  $v$  halten zu können ist eine zusätzliche Kraft nötig, die den Widerstand  $R$  ausgleicht. Um ein Boot also in der Geschwindigkeit zu erhöhen, muss man eine  $2^3=8$  fache Kraft aufwenden. Umgekehrt erhält man bei der Verdoppelung der Leistung nur eine 1,26fache ( $\sqrt[3]{2}$ ) Bootsgeschwindigkeit. Diese Relation zeigt, warum bei einer Mannschaft nicht nur die erbrachte Leistung zählt, sondern vielmehr die technisch und mannschaftlich einwandfreie Ruderarbeit.

Aus der Gleichung  $P = a \cdot v^3$  lässt sich noch eine weitere äußerst wichtige Erkenntnis für den Rudersport gewinnen. Während eines Ruderschlages durchläuft das Boot verschiedene Geschwindigkeiten, da die physikalischen und biomechanischen Beschaffenheiten des Rudergerätes und des Menschen keine konstante Beschleunigung des Bootes zulassen. Zu den genauen Geschwindigkeitsveränderungen während eines Ruderschlages komme ich im folgenden Kapitel noch einmal näher zu sprechen.

#### Rechenbeispiel:

Fall 1: Ein Boot besitzt eine konstante Geschwindigkeit für einen Zeitraum von 6sek.

$$P = a \cdot (3\text{m/s})^3 \cdot 6\text{s} = 162\text{m}^3/\text{s}^2 \cdot a \text{ nach (Gl. 2.4.2.1.c)}$$

$$R = a \cdot (3\text{m/s})^2 \cdot 6\text{s} = 54\text{m}^2/\text{s} \cdot a \text{ nach (Gl. 2.4.2.1.a)}$$

Fall 2: Ein Boot besitzt eine variable Geschwindigkeit von 1m/s für 2s und 4m/s für 4s. Die durchschnittliche Geschwindigkeit würde in beiden Fällen 3m/s betragen.

$$\mathbf{P} = \mathbf{a} * [(1\mathbf{m/s})^3 * 2\mathbf{s} + (4\mathbf{m/s})^3 * 4\mathbf{s}] = 258\mathbf{m}^3/\mathbf{s}^2 * \mathbf{a} \text{ nach (Gl. 2.4.2.1.c)}$$

$$\mathbf{R} = \mathbf{a} * [(1\mathbf{m/s})^2 * 2\mathbf{s} + (4\mathbf{m/s})^2 * 4\mathbf{s}] = 66\mathbf{m}^2/\mathbf{s} * \mathbf{a} \text{ nach (Gl. 2.4.2.1.a)}$$

Obwohl die durchschnittliche Geschwindigkeit in beiden Fällen gleich sind, muss die Crew bei einer geschwindigkeitsdynamischen Antriebsvariante wie im Rudersport eine wesentlich höhere Kraft aufwenden und dabei auch einen höheren Widerstand in Kauf nehmen. Man muss beim Rudern also eine möglichst gleichmäßige Geschwindigkeit aufrechterhalten, auch wenn dies durch die notwendige Ruderbewegung kaum möglich ist. Für einen Ruderer gibt es während des Freilaufes nur eine einzige Möglichkeit die Geschwindigkeitsschwankungen gering zu halten: Er muss, wenn er in der Auslage angekommen ist, schnell Wasser fassen, ehe die Geschwindigkeit zu weit absinkt.

Die Geschwindigkeitsschwankungen und somit auch der Reibungswiderstand werden größer, je höher die durchschnittliche Geschwindigkeit ansteigt und je größer die Masse der Mannschaft und des Bootskörpers voneinander abweichen. Diesen Zusammenhang lässt sich aus der „Impulsgleichung der Physik“ ableiten, welche ich hiermit herleite:

Nach dem 2. Newton'sche Axiom (Grundgleichung der Mechanik) ist die Kraft F, die einem Körper der Masse m die Beschleunigung a erteilt, das Produkt aus Masse und Beschleunigung:

$$\mathbf{F} = \mathbf{m} * \mathbf{a}$$

Durch hinzufügen des Zeitfaktors erhält man:

$$\mathbf{F} * \mathbf{t} = \mathbf{m} * \mathbf{a} * \mathbf{t} \text{ (Gl. 2.4.2.1.d)}$$

Die Beschleunigung ist die erste Ableitung der Zeit-Geschwindigkeitsfunktion  $v = v(t)$  und die zweite Ableitung der Zeit-Weg-Funktion nach der Zeit  $t$ :  $a = \frac{dv_{\text{Punkt}}(t)}{dt}$

Somit ist die Beschleunigung bestimmt durch

$$a = \frac{\text{Geschwindigkeitszuwachs}}{\text{Zeitzuwachs}} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (\text{Gl. 2.4.2.1.e})$$

Durch Gleichsetzen von (Gl. 2.4.2.1.d) und (Gl. 2.4.2.1.e) ist demnach:

$$\mathbf{F} \cdot \mathbf{t} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{v} \quad (\text{Gl. 2.4.2.1.f})$$

Diese Gleichung ist als Impulsgleichung bekannt. Das Produkt  $\mathbf{F} \cdot \mathbf{t}$  wird als Kraftimpuls, das Produkt  $\mathbf{m} \cdot \mathbf{v}$  als Bewegungsimpuls bezeichnet.

Aus dem Bewegungsimpuls heraus werden die Geschwindigkeitsschwankungen und somit auch der Reibungswiderstand zwangsläufig umso größer, je mehr die Masse der Mannschaft und des Bootskörpers voneinander abweichen und je höher die durchschnittliche Geschwindigkeit ansteigt.

### 2.4.3 Stampfwiderstand

Diese Art des Widerstandes ergibt sich durch die sich ständig ändernde Eintauchtiefe des Bootes während eines Schlagzyklus. Die Höhenveränderung der Wasserlinie

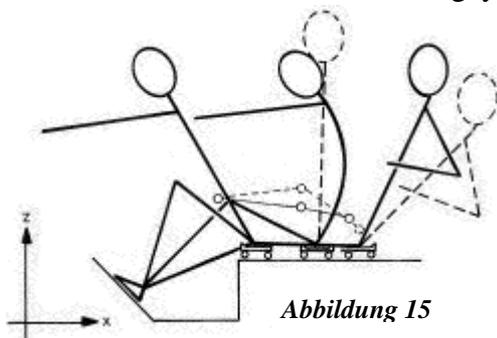


Abbildung 15

wird sowohl durch die Geschwindigkeit, aufgrund der sich bei der Umströmung des Rumpfes im Wasser bildenden Druckunterschiede, als auch durch die Massenverschiebung der Ruderer erzeugt. Die Bewegung des Ruderers muss derart sein, dass der Körperschwerpunkt eine möglichst geringe Vertikalbewegung aufweist. Die Abbildung verdeutlicht die Auswirkung der Körperhaltung auf die

Vertikalbewegung des Körperschwerpunktes. Dabei stellt der durchgehend gemalte Ruderer eine korrekte Körperhaltung, der gestrichelte Ruderer eine falsche Haltung dar. Doch kann dieser Widerstand gegenüber den anderen beiden bedeutend durch die Rudertechnik beeinflusst werden. Durch runde Bewegungen an den Umkehrpunkten in der Auslage und der Rückenlage und sanfte/gefühlvolle Wasserarbeit lassen sich die Geschwindigkeitsdifferenzen und somit auch der Stampfwiderstand drücken. Der durchschnittliche Widerstandsanteil (Stampfwiderstand) am Wasserwiderstand beträgt ca. 4%.

## 2.5 Hebelgesetze

Wie schon bei dem Kapitel „Antrieb“ beschrieben, werden die Kräfte des Ruderers durch den Riemen/Skull in Verbindung mit dem Boot, der Dolle, auf das Wasser übertragen und es kommt nach dem Impulserhaltungssatz zu einer Bootsbeschleunigung. Der Hebel bekommt bei der Kräfteübersetzung eine hohe Bedeutung zu. Als Hebel wird allgemein das Verhältnis zwischen Kraftarm und Lastarm bezeichnet. Ob man das Ruder nun als einseitigen Hebel mit Drehpunkt im Wasser, oder als zweiseitigen Hebel mit dem Drehpunkt an der Dolle betrachtet, bleibt rein rechnerisch egal, was folgendes Rechenbeispiel verdeutlichen soll:

Angenommen wir ein Zug des Ruderers am Innenhebel von 500N, einer Innenhebellänge (IH) von 1,10m und einem Außenhebel (AH) von 2,70m Länge.

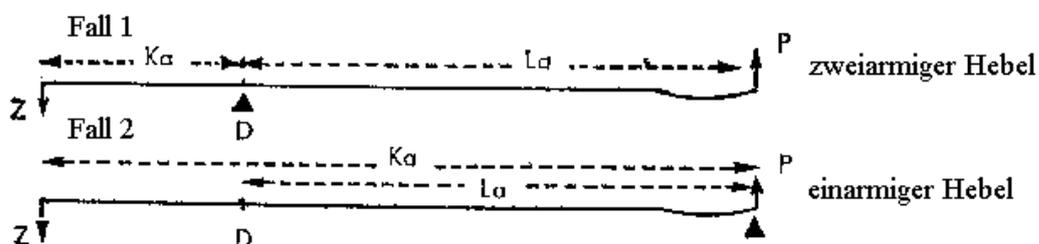


Abbildung 16

Generell gilt bei Gleichgewichtsbedingungen das so genannte Hebelgesetz:  
**Kraft\*Kraftarm=Last\*Lastarm** (Gl. 2.5.a)

Der Hebelarm (Kraft-/Lastarm) ist der Abstand der Drehachse von der Wirkungslinie der angreifenden Kraft.

Rechenbeispiel für den zweiseitigen Hebel:

x = Lastende Gewichtskraft an Lastarm, also dem Blattdruck

$$500N * 1,10m = xN * 2,70m$$

$$x = \frac{500N * 1,10m}{2,70m} = 203,7N$$

Der Blattdruck beträgt somit ca. 204N. Der Auflagedruck des Hebels an der Dolle entspricht der Summe von Zug am Innenhebel und Blattdruck:  
 $500N + 203,7N = 703,7N$

Rechenbeispiel für den einseitigen Hebel:

$$500N * 3,80m \text{ (IH+AH)} = xN * 2,70m$$

$$x = \frac{500N * 3,80m}{2,70m} = 703,7N$$

Der Dollendruck beträgt 703,7N. Der Blattdruck wird beim einseitigen Hebel als Differenz von Zug am Innenhebel und Dollendruck gebildet:  
 $703,7N - 500N = 203,7N$

Wie man sehen kann, ist die Betrachtung der Hebelart rein rechnerisch irrelevant. Neben den Hebelverhältnissen spielt der Dollenabstand noch eine weitere wichtige Rolle:

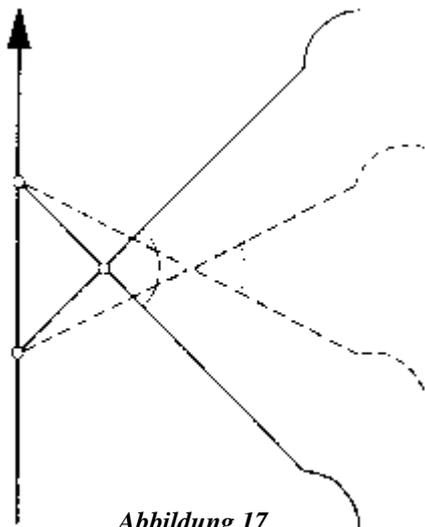


Abbildung 17

Der Dollenabstand wird gemessen von der Längsachse des Bootes aus (Bootsmitte) zur Mitte der Dollenmutter, also der Drehachse der Dolle. Allgemein ist eine Veränderung des Hebels fest mit der Anpassung des Dollenabstandes gekoppelt. Wähle ich für einen kräftigen Ruderer eine harte Übersetzung, so bedeutet dies einen kleinen Dollenabstand. Die Konsequenz daraus ist eine größere Schlagweite und ein größerer Bogenweg des Blattes bei gleich bleibender

Auslageposition. Weiterhin ist eine Anpassung des Innenhebels notwendig, da dieser nun weiter zum Bootsinneren verschoben wurde und ein zweckmäßiger Ruderschlag nicht mehr ausführbar ist. Die Änderung des Dollenabstandes und der Innenhebellänge gehört deshalb immer zu einem Arbeitsgang. Der Innenhebel muss somit verkürzt werden, was wiederum einen längeren Außenhebel als Folge hat, dies wiederum den Druck erhöht und das Ziel der härteren Übersetzung unterstützt. Bei einer weicheren Übersetzung ist demnach genau das Gegenteil zu tun, wobei es hier noch einige anderen Besonderheiten gibt: Bei der Vergrößerung des Dollenabstandes ist das Boot durch die weiter außen liegenden Massen leichter zu kippen und demnach schwieriger in der Balance zu halten.

Generell gilt, bei großen Ruderern einen großen Dollenabstand einzusetzen, da dieser generell einen größeren Auslagewinkel, demnach einen längeren Weg im Wasser gewährleistet. Da die Effektivität des Schlages jedoch in den Grenzbereichen der Auslage und der Rückenlage abnimmt, vergrößert man den Dollenabstand, so dass der Ruderer mit sehr großen Innenhebellängen und Dollenabständen seine anatomisch günstigeren Hebelverhältnisse besser ausnutzen kann. Der optimale

Dollenabstand hängt letztendlich auch noch von dem Bootstyp ab: Bei zunehmender Bootsgeschwindigkeit ist eine härtere Übersetzung zu wählen, da ansonsten die Kraft nicht optimal bei jedem Schlag übertragen werden kann. Die Schlagzahl müsste dann sehr hoch gesteigert werden, um die gleiche Arbeit leisten zu können, denn die Arbeit wird bekanntlich durch  $W=F*s$  festgelegt. Verkleinere ich die Kraft und somit den Druck am Innenhebel, muss ich um die gleiche Arbeit zu leisten, den Weg erhöhen. Da dieser durch die anatomischen und geräte technischen Voraussetzungen begrenzt wird, ist die Erhöhung der Schlagzahl die Folge, was somit einen ineffektiven Ruderschlag nach sich führt.

Hier eine Tabelle für Empfehlungen der Hebelverhältnisse:

<u>Dollenabstand:</u>		<u>Innenhebel:</u>	
<u>Bootsklasse</u>	<u>Dollenabstand</u>	<u>Bootsklasse</u>	<u>Innenhebel</u>
8+	0,82 - 0,85 m	8+	1,13 - 1,15 m
4-	0,83 - 0,86 m	4-	1,13 - 1,16 m
4+	0,84 - 0,86 m	4+	1,14 - 1,17 m
2-	0,85 - 0,88 m	2-	1,15 - 1,18 m
2+	0,85 - 0,89 m	2+	1,15 - 1,19 m
4x-	1,56 - 1,59 m	4x-	0,86 - 0,88 m
4x+	1,57 - 1,59 m	4x+	0,86 - 0,88 m
2x	1,57 - 1,60 m	2x	0,87 - 0,89 m
1x	1,57 - 1,61 m	1x	0,87 - 0,90 m

### 2.5.1 Der Hebel als Ursache des dynamischen Geschwindigkeitsverlaufes während eines Ruderschlages

Wie schon bereits im Kapitel „Antrieb“ angesprochen, ist der Geschwindigkeitsverlauf eines Bootes aufgrund der Massenverlagerung dynamisch gestaltet und die Geschwindigkeit nimmt nicht linear zu. Ein weiterer wichtiger Grund für die Dynamik der Geschwindigkeit besteht in der veränderlichen Effektivität des Ruderschlages der Blätter. Nehmen wir in einer stationären Betrachtung an, der Drehpunkt des Hebels befindet sich an der Dolle und nicht am Blattende wie in Fahrt. Das Blattende eines Ruders bewegt sich somit wie in der Abbildung verdeutlicht auf einer Kreisbahn um die Dolle.

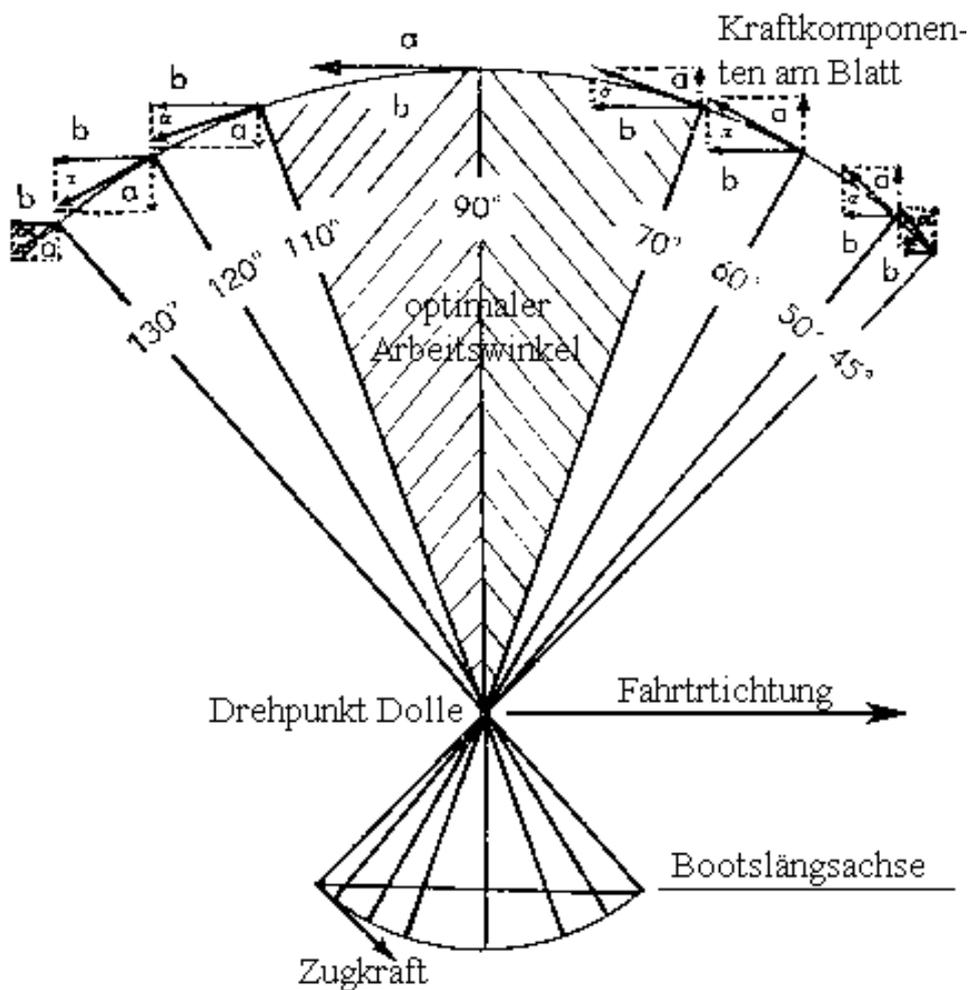


Abbildung 18: Der wirksame Druckbereich des Ruders

In dem Diagramm werden nun abhängig von dem Winkel der Ruder gegen die Längsachse des Bootes die effektiv wirkenden Kräfte in Richtung der Fahrtrichtung aufgetragen, welche zunächst an der Dolle angreift. Befindet sich der Ruderer in der maximalen Auslage, so beschreibt sein Winkel an der Dolle einen Winkel von ca. 45°. In der Rückenlage ergibt der Winkel zwischen Ruder und Mitte der Rollbahn einen Winkel von ca. 135°. Der Winkel wird immer gemessen vom Außenhebel des Ruders in Richtung der Längsachse des bugwärtigen Bootskörperteiles.

Befindet sich das Ruder in einer orthogonal (90°) Stellung, so wirkt der komplette Bewegungsimpuls in Richtung der Fahrtrichtung. Wird dieser Winkel kleiner bzw. größer als 90°, so wirken Verlustkräfte, denn wenn man die eigentliche Wirkungskraft (resultierende Kraft) des Blattimpulses in ihre beiden Teilkomponenten a und b zerlegt, so fällt auf, dass die Kraft parallel der Fahrtrichtung immer kleiner wird. Die Kraftkomponente b senkrecht zur Fahrtrichtung steigt mit zunehmenden bzw. abnehmenden Winkel aus der Orthogonalstellung des Ruders und erzeugt somit eine Belastung senkrecht gegen die Bootswand auf die Dolle. Diese Kraft leitet der Ausleger auf die Bootsaußenhaut, welche durch Verformungen, die Energie umwandelt. Die extremen Rücken- und Auslagewinkel sind somit stark für die an der Bootshülle ineffektiv wirkenden Kräfte verantwortlich, man spricht vom „Weichwerden“ der Bootshülle. Besonders stark lässt sich dieses Phänomen an einem etwas älteren Achter erkennen. Bei einer Neigung im Bug kommt es nicht zu einer Neigung im kompletten Boot, sondern zu einer Verwringung in Richtung der Längsachse. Die Bootsaußenhaut wird im Laufe der Zeit derart weich, dass es einen Teil der Energie durch Verformung dämpft und somit die Neigung nicht an das komplette Boot weitergibt.

Dem Kraftverlauf am Blatt in Abhängigkeit der Winkelstellung an der Dolle liegt eine Sinus-Winkelfunktion zu Grunde:

$$F_{\text{eff}} = \sin(\varphi) * F_{\text{Blatt}} \text{ (Gl. 2.5.1.a)}$$

$F_{\text{eff}}$  wird als die wirksame Kraft parallel der Fahrtrichtung bezeichnet, welche in der obigen Abbildung 18 die Kraftkomponente  $b$  darstellt.  $\varphi$  ist der Winkel des Ruders zur der Mitte der Rollbahn;  $F_{\text{Blatt}}$  ist die am Lastarm wirkende Kraft des Blattes, der ausschlaggebenden Größe der Bootsbeschleunigung.

Einige Beispiele:

Für eine orthogonale Blattstellung ergibt sich folgende Gleichung:

$$F_{\text{eff}} = \sin(90^\circ) * F_{\text{Blatt}} \quad \rightarrow \sin(90^\circ)=1$$

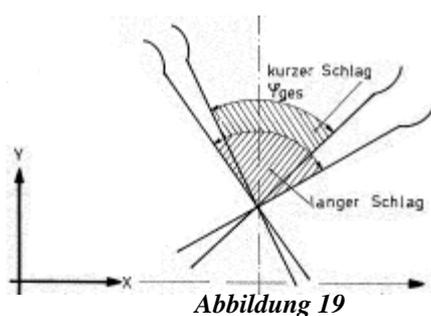
$F_{\text{eff}} = 1 * F_{\text{Blatt}} \quad \rightarrow$  die Komplette Blattkomponente wirkt in Fahrtrichtung

Diese Tabelle gibt den Prozentsatz der noch parallel zur Fahrtrichtung effektiv wirkenden Blattkraft an:

Winkelstellung	Prozentsatz der Kraftkomponente b
45°	70,7%
50°	76,6%
60°	86,6%
70°	94%
90°	100%
110°	94%
120°	86,6%
130°	76,6%

Im Schwenkbereich von 130° und 50° sind nur noch 76,6% des Druckes gegenüber der 90° Stellung wirksam. Daraus folgt, dass die wirksame Druckzone des Blattes

zwischen  $70^\circ$  und  $110^\circ$  liegen soll, denn dort bewegt man sich noch in einem akzeptablen Wert der Effektivität. Doch darf man diese Zone nicht als Vorgabe des Ruderschlages sehen, denn dieser Bereich würde längst nicht für eine effektive Ruderarbeit ausreichen, da nur ein kleiner Teil der Rollbahn genutzt werden würde. Die Winkelstellung in der Rückenlage wird durch die Innenhebellänge und den Dollenabstand beschränkt. Man geht beim Rudern nur so weit in die Rückenlage, bis „Westentaschenprobe“ gewährleistet ist. Diese besagt, dass die abgespreizten Daumen in der äußersten Endzugposition die unteren Rippenbögen berühren müssen. Demnach wird anschließend das Stemmbrett eingestellt, da dies natürlich von der Beinlänge und der Rückenlagenposition des Ruderers anhängig ist. Beim Riemen spricht man davon, dass das Ende des Innenhebels mit der Körperaußenseite abschließt.



Aus einer Messbootfahrtanalyse, auf die ich später noch grundlegender eingehe, ergab sich bei Spitzenrudern einen minimalen Winkel des Ruders in der Rückenlage von ca.  $35^\circ$ . Dagegen ist der Ruderwinkel in der Auslage einer größeren Variabilität unterworfen, wobei dieser

auch stark von der Körpergröße des Ruderers abhängig ist. Die gegenwärtige durchschnittliche Schlagweite im Riemenbereich liegt bei etwa 85 bis 90 Grad und im Skullbereich bei etwa 105 bis 110 Grad. Daraus errechnet sich ein Bogenweg am Innenhebel und beim Riemen von etwa 1,67 bis 1,76m. Beim Skullen liegt dieser Wert bei 1,58 bis 1,66m. Das bedeutet, dass Ruderer in einem Winkelbereich einsetzen, der mit einem Verlust von bis zu 50% der Vortriebswirksamkeit verbunden ist. Doch dieser „Mehraufwand“ ist für Spitzenrudern nicht zu vermeiden. Das Leistungsniveau ist auf einem derart hohen Stand, dass es bei jedem Schlag auf eine größtmögliche Schlaglänge ankommt, die für einen besseren „Lauf“ des Bootes verantwortlich ist. Die Skuller kommen weiter in den unökonomischen Bereich als die Riemenrudern. Diese Differenzen ergeben sich aus den unterschiedlichen Hebelverhältnissen und Dollenabständen zwischen Skull und Riemen. In der Sportbiomechanik spricht man vom Prinzip des optimalen

Beschleunigungsweges. Dieses besagt, dass eine Kraft einer Masse eine umso höhere Endgeschwindigkeit, je länger die Kraft auf die Masse einwirkt.

## 2.5.2 Dynamische Betrachtung der Kraftumsetzung

Bisher hatten wir den Vortrieb aus einer rein statischen Betrachtungsweise verfolgt, also ohne die Bewegung des Bootes in die Kraftumsetzung mit einzubeziehen. Hiermit folgt die dynamische Betrachtungsweise der Kraftumsetzung am Blatt während der Fahrt.

Wir müssen uns bei einer Fortbewegung des Bootes darüber im Klaren sein, dass ein fester Drehpunkt des Blattes im Wasser nicht möglich sein kann. Der Verlauf sieht folgendermaßen aus: Beim Wasserfassen sucht sich das Blatt zunächst einen festen Drehpunkt im Wasser. Bei größer werdendem Ruderwinkel zur Längsachse des Bootes beschreibt das Blatt dann jedoch vielmehr einen Schlupf. Eine fortschreitende Bewegung mit einem festen Drehpunkt auf jeder Seite ist unmöglich, deshalb muss das Blatt einem theoretischen Drehpunkt im Wasser auswandern, welches man als Schlupf bezeichnet, ohne den keine Bewegung möglich wäre.

Der räumliche Verlauf ist aus einer nachfolgenden Bildreihe sichtbar gemacht worden:

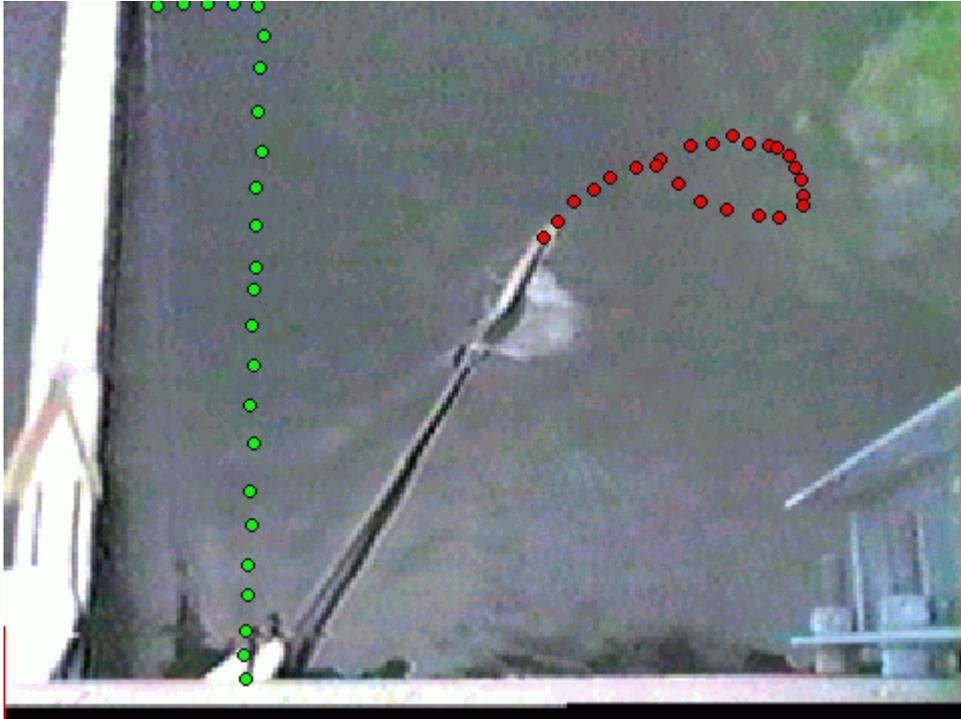


Abbildung 20

Das Blatt „startet“ mit dem Wasserfassen an dem Beginn der roten Kurve im linken unteren Bildrand an Position 1. Durch den zunehmenden Winkel an der Dolle wird das Blatt seitlich nach außen gedrückt, während

es in der  $90^\circ$  Position eine nahezu maximale Auslenkung in x-Richtung erfahren hat und sich das Blatt an der Position 2 befindet. Dadurch dass um den  $90^\circ$  Winkelbereich die nahezu die komplette Blattkraft parallel der Fahrtrichtung wirkt,

erfährt das Wasser nun eine starke Beschleunigung in entgegen gesetzter Fahrtrichtung (Gegen-Wirkungsprinzip wie in 2.3.1 beschrieben).



*Abbildung 21: Der Schlupf des Blattes im Zeitraster*

Vergrößert sich der Schlagwinkel weiter, so erfährt das Blatt wieder einen Anstellwinkel zum Wasser und die in Fahrtrichtung wirkende Kraftkomponente wird sinusförmig wieder kleiner.

Die Bewegung des Blattes kann als Diskussionsgrundlage somit in 4 Phasen eingeteilt werden:

1. Das Blatt verläuft in Bewegungsrichtung
2. Danach wandert es weg vom Boot nach außen
3. Anschließend findet eine Bewegung entgegengesetzt der Fahrtrichtung statt
4. Gefolgt von einer Bewegung zum Boot hin

In der bisherigen Betrachtungsweise haben wir uns nur mit der Effektivität des Ruderschlages nach einer Sinusfunktion nach Gl. 2.5.1a beschäftigt und daraus

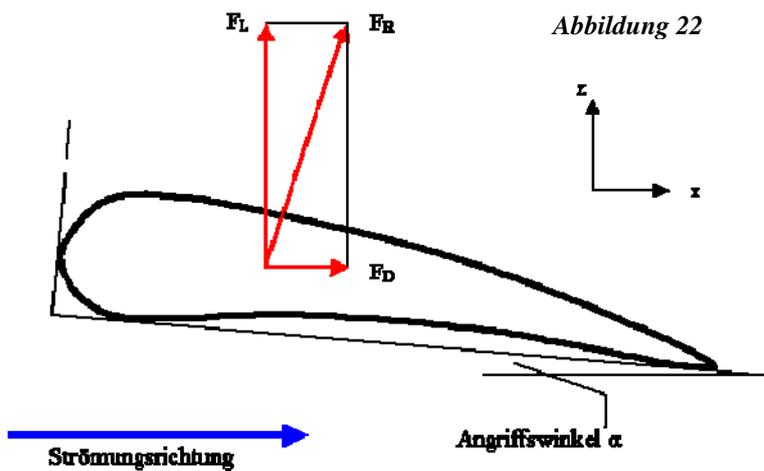
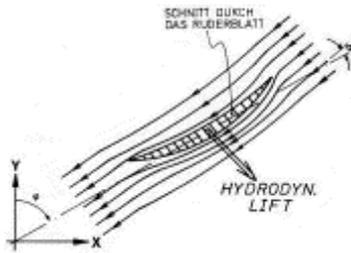


Abbildung 22

angenommen, dass wir jenseits der orthogonalen Stellung des Ruders zur Längsachse des Bootes einen verminderten effektiven Vortrieb des Bootes haben. Der Grund hierfür lag in dem Anstellwinkel des

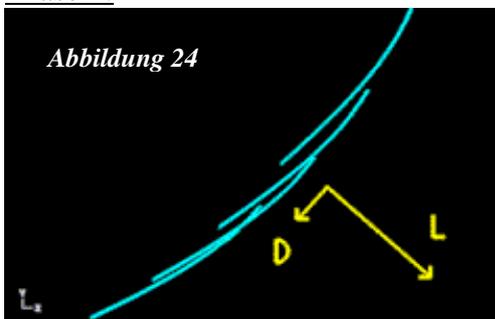
Blattes. Die projizierte Fläche des Blattes in Richtung der Fahrtrichtung wurde geringer. Doch genau diese Tatsache, dass das Blatt einen gewissen Anstellwinkel zum Wasser erfährt, erzeugt einen neuen antriebswirksamen Effekt namens hydrodynamischen Lift. Die Antriebsfläche des Blattes erzeugt quer zur Bewegungsrichtung, also ausgenommen die orthogonale Stellung, einen weiteren antriebswirksamen Impuls. Das schräg anströmende Ruderblatt wirkt wie eine Tragfläche und erzeugt am Ruderblatt Druckunterschiede. Nach dem Bernoulli Prinzip, welches erklärt, warum bei ausreichend hohen Strömungsgeschwindigkeiten an der gewölbten Oberseite von Körpern (und damit auch von Ruderblättern) durch den Druckunterschied ein Auftrieb entsteht. Dieses Prinzip stammt aus der Aerodynamik, welches den Auftrieb einer Flugzeugtragfläche während des Fluges verdeutlicht. An einem Flügel strömt aufgrund der Bauart die Luft an der Oberseite schneller als an der Unterseite. Es bildet sich auf der Unterseite einen Überdruck, auf der Oberseite einen Unterdruck. Der entstehende Sog führt zum Auftrieb. Der Auftrieb wird im Folgenden durch die Kraftkomponente  $F_L$  dargestellt.  $F_D$  bezeichnet einen neuen Widerstand, der bei dem Hydrodynamischen Lift eine Rolle spielt. Bewegt sich die Tragfläche eines Flugzeuges, so entsteht auf der Tragflächenvorderseite parallel der Bewegungsrichtung einen Widerstand.



Beziehen wir das Beispiel auf ein Ruderblatt, so besitzt dieses auch eine leichte Krümmung. Durch die Wölbung des Blattes und dem Anstellwinkel im Wasser entsteht am Blattrücken ein Sog, der eine Kraftkomponente in Fahrtrichtung besitzt. Im

Folgenden werden die in den 4 einzelnen Phasen des hydrodynamischen Liftes wirkenden Kraftkomponenten veranschaulicht.

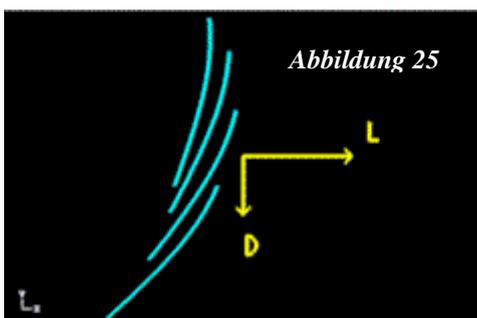
#### Phase 1:



In dieser Phase bewegt sich das Blatt mit einem Winkel von  $\sim 45^\circ$  zur Fahrtrichtung. Daher entsteht der Bewegungsrichtung des Blattes ein Widerstand  $F_D$ , der allerdings im Vergleich zu der erzeugten Liftkomponente  $F_L$  um sehr viel kleiner ist. Der Grund

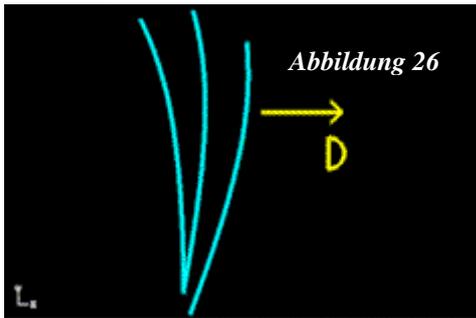
hierfür ist, dass das Blatt in eine Bewegungsrichtung nahezu parallel zur Oberfläche ausführt. Der Angriffswinkel des Wassers ist somit äußerst gering und dadurch der erzeugte Lift maximal. Der Vorschub verläuft in dieser Phase nahezu nur durch den hydrodynamischen Lift. Desto größer die Auslage des Ruderers ist, umso größer ist der Angriffswinkel des Blattes im Wasser und umso größer der durch den Lift erzeugten Vortrieb.

#### Phase2:



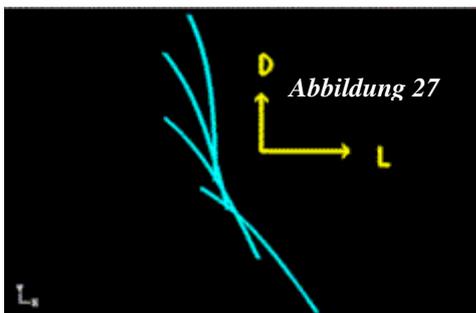
Hier bewegen sich die Blätter stark vom Boot weg nach außen. Der Druck am Blatt wird zunehmend größer, der Anteil des Liftes bleibt jedoch durch den Angriffswinkel noch relativ hoch.

### Phase3:



Die Blattstellung ist in diesem Bild am  $90^\circ$  Winkel zur Bootsängsachse angekommen. Der Druck am Blatt ist nun maximal groß. Das Ruderblatt besitzt keinen Angriffswinkel mehr, da es senkrecht zur Bewegungsrichtung verläuft. Daher findet auch kein Lift statt und der Antrieb verläuft rein aus dem übertragenen Druck an der Dolle auf das Boot.

### Phase4:

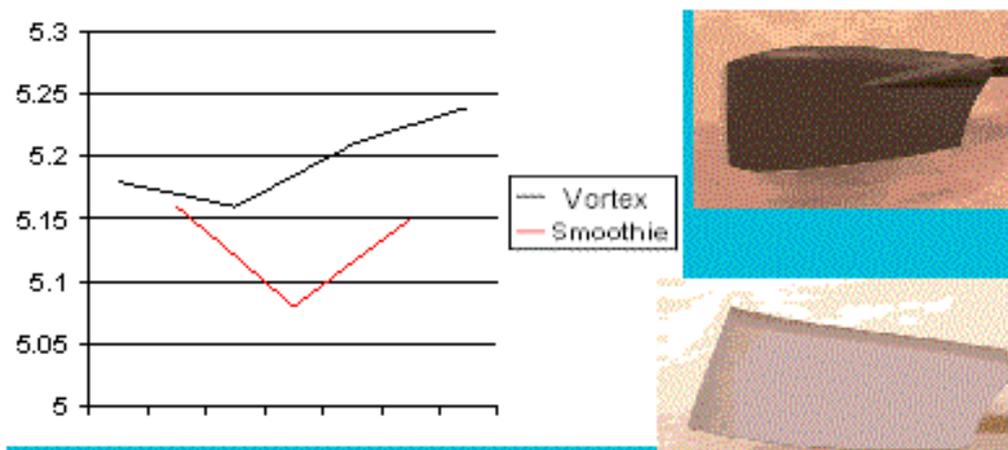


Das Ruderblatt beschreibt in der letzten Phase des Schlages wieder eine Bewegung zum Boot hin, vergleichbar mit der Phase 2 nur in entgegengesetzter Richtung. Der Angriffswinkel zum Wasser wird wieder größer und der Blattwiderstand nimmt ab. Dadurch verstärkt sich der Lift und der Anteil des hydrodynamischen Lifts am Vortrieb wird bedeutender.

### Warum ist nun der hydrodynamische Lift so wichtig für die Ruderarbeit:

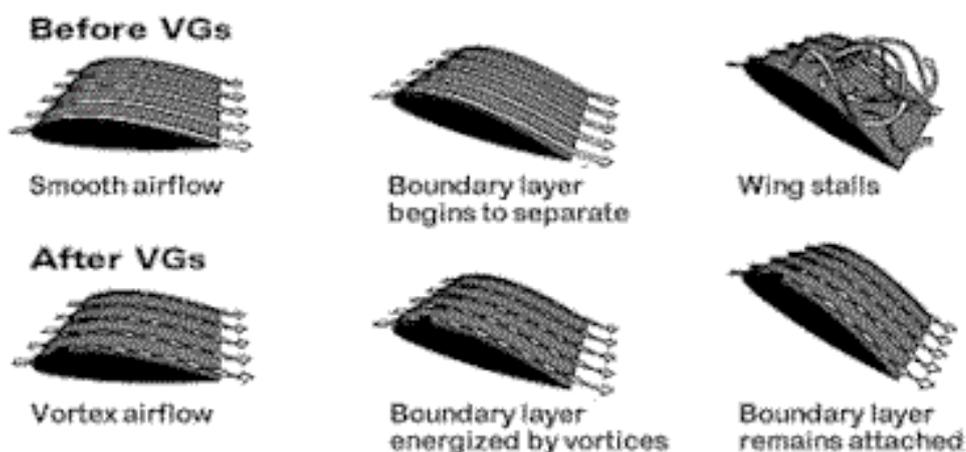
Der normale Vortrieb durch Verdrängung von Wasser durch die Blätter arbeitet äußerst ineffektiv. Wird der Anstellwinkel sehr groß, kommt es im  $90^\circ$  Bereich zu einem Strömungsabriss im Wasser. Es treten große Verwirbelungen auf und Energie geht verloren. Doch durch den Lift wird ein Sog am Blattrücken erzeugt. Dies, dass das Blatt zum Sog hin ausweicht und den Überdruck am Blattbauch meidet. Das Blatt wird sozusagen bugwärts versetzt. Am Innenhebel äußert sich dieser Effekt durch eine Kraft, die meiner wirkenden Kraft auf den Innenhebel entgegen wirkt. Der Lift erzeugt somit eine Gegenkraft, die mir einen Widerstand beim Durchzug erzeugt. Dieser Widerstand ist für den Antrieb deshalb besser geeignet, als der

Wasserwiderstand, da dieser durch die kreisförmige Bewegung durch das Wasser nur teilweise eine Kraft in Fahrtrichtung erzeugt und in der 90° Stellung durch den Strömungsabriss zu starken Energieverlusten führt. Um die Wirkung des hydrodynamischen Liftes noch weiter zu verstärken, führte die Firma Concept2 eine neue Blattform ein. Man versucht mit einem so genannten „Vortex Edge“ den Strömungsabriss bei einem großen Angriffswinkel im orthogonalen Bereich hinauszuzögern und die Wirkung des Liftes zu verstärken. Forschungen in der Luftfahrt führten zu einem äußerst positiven Ergebnis. Der Strömungsabriss tritt bei Flugzeugtragflächen unweigerlich bei hohen Angriffswinkeln statt. Diesen kann man durch Anbringung der Vertex Generatoren vermeiden. Genau das gleiche Prinzip auf das Rudern übertragen, führte zu ähnlich positiven Ergebnissen. Nach Testanalysen von Concept2 führte die neu entwickelte Blattform zu höheren Bootsgeschwindigkeiten, welches das folgende Diagramm verdeutlicht:



**Abbildung 28: Unterschiedliche Bootsgeschwindigkeiten bei dem Vortex und Smoothie Blatt**

Man konnte eine Geschwindigkeitssteigerung von 1,3% gegenüber einem Blatt ohne Vertex Generatoren feststellen. Dies bewies die hohe Wirkung der Vertex Generatoren auf den Lift, welcher besonders in der Phase 1 und 2 des Schlages gesteigert werden konnte.



*Abbildung 29: Der Strömungsabriss wird mit Vortex Generatoren hinausgezögert*

Es gibt also zwei verschiedene Arten, Vortrieb zu erzeugen. Einerseits kann durch eine Fläche Wasserwiderstand erzeugt werden, indem die Fläche entgegen der Fahrtrichtung bewegt wird. Oder es wird eine Fläche mit entsprechender Form bzw. entsprechendem Anstellwinkel quer zur Fahrtrichtung bewegt und man nutzt den hydrodynamischen Lift als Kraft aus. Letztere genannte Antriebstechnik arbeitet viel ökonomischer und ohne Leistungsverlust wie der Wasserwiderstand. Wenn sich das Blatt nämlich durch das Wasser bewegt, so wirkt nicht immer die komplette Kraft in Fahrtrichtung. Zusätzlich wird besonders im Mittelzug das Wasser sehr aufgewirbelt und es kommt zu einem Strömungsabriss am Blatt. Dies äußert sich somit durch eine unökonomische Antriebsweise gegenüber dem hydrodynamischen Lift. Es existieren derzeit jedoch noch keine Ergebnisse, inwieweit die beiden Antriebsarten für den Vortrieb verantwortlich sind. Derzeit wird an der „University of Western Ontario“ an einer verbesserten Blattform für die kanadische Nationalmannschaft hinsichtlich der bevorstehenden Olympischen Spielen in Athen geforscht. In einem Zeitungsbericht der „London Free Press“ wird demnach dem Vortrieb durch den hydrodynamischen Lift nicht so viel Bedeutung geschenkt wie anfangs angenommen. Die Zukunft wird somit viele neue und interessante Aspekte über die Physik des Rudersports liefern.

### 3. Das Rudertechnische Leitbild unter Biomechanischen Gesichtspunkten

#### 3.1 Technik

Kommen wir nun zu dem dritten Teil meiner Arbeit, dem Rudertechnischen Leitbild unter der biomechanischen Betrachtung mit Hilfe des Messsystems 2000, welches ich nach der Technikbeschreibung näher erläutern werde.

Die Rudertechnik ist einer der grundlegenden Faktoren, um eine optimale Ruderleistung zu erzielen. Hierbei versucht man die antrainierten konditionellen Fähigkeiten, wie Ausdauer, Kraft, Beweglichkeit und Schnelligkeit und die koordinativen Fähigkeiten wie die Differenzierungs-, Kopplungs-, Reaktions-, Orientierungs-, Gleichgewichts-, Umstellungs- und Rhythmisierungsfähigkeit, durch eine zweckmäßige Rudertechnik, in einen größtmöglichen Vortrieb des Bootes zu verwandeln.

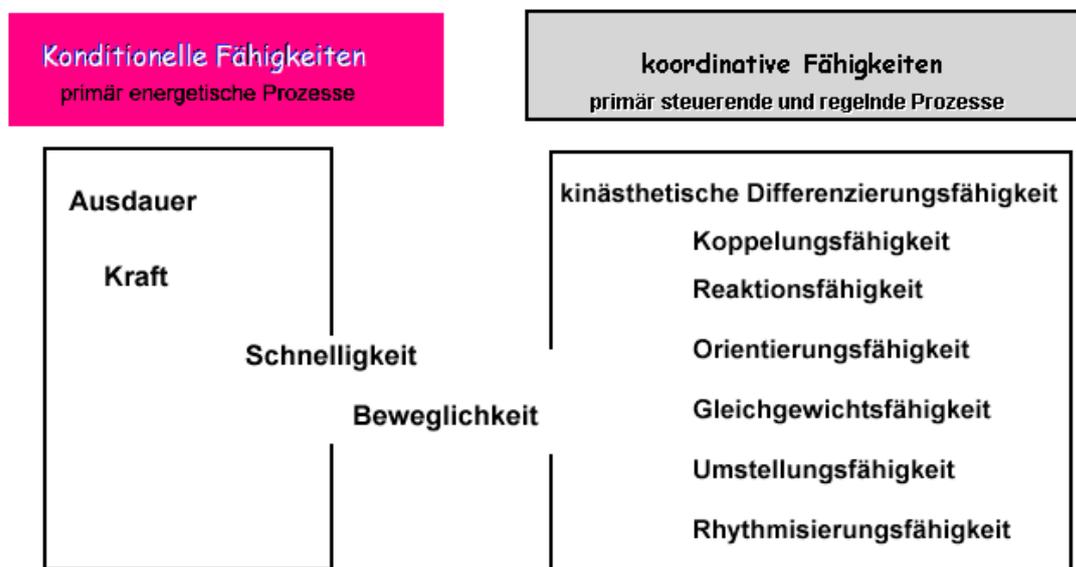


Abbildung 30: konditionelle - koordinative Fähigkeiten

Unter den konditionellen Fähigkeiten versteht man folgendes:

- Kraft: Fähigkeit, einen äußeren Widerstand zu überwinden oder ihm entgegenzuwirken. Man spricht von dem Begriff Kraft, wenn Muskelleistungen mindestens 30% der jeweils überwindbaren Last betragen. Beim Rudern spielt die Kraftausdauer eine große Rolle, welche die Ermüdungswiderstandsfähigkeit bei lang andauernden oder sich wiederholenden Kraftleistungen charakterisiert. Es gilt bei einem 2.000m Rennen nicht nur lange einen Widerstand wie dem Druck am Innenhebel auszuhalten, sondern diesen Widerstand mit möglichst viel Kraft zu überwinden. Die Durchzugsgeschwindigkeit wird in erster Linie durch die Kraft bestimmt, die in einen Ruderschlag investiert wird. In der Regel dauert der Ruderschlag in einem Rennen mit 32 Schlägen pro Minute ca. 0,7sek, so dass hier der Anteil an Kraft besonders groß ist.
- Ausdauer: Widerstandsfähigkeit des Organismus gegen Ermüdung bei lang andauernden Belastungen. Bei den Unterscheidungskriterien der Ausdauer sprechen wir beim Rudern von der allgemeinen Ausdauer, da mehr als 1/7 bis 1/6 der gesamten Muskulatur beansprucht wird. Über 80% der Gesamttrainingszeit dienen der Entwicklung der aeroben Ausdauer, also in einem Laktat Steady-State. Die Ziele dieses Grundlagenausdauertrainings sind unter anderem die Entwicklung und Stabilisierung der aeroben Leistungsfähigkeit, der Verbesserung der Regenerationsfähigkeit, welche bei mehreren Rennen pro Tag äußerster Wichtigkeit zukommt und der Stabilisierung der Wettkampfleistung. In der sehr kurzen Zeit der Rudersaison von ca. 1,5 Monaten liegen mehrere Wettkampfhöhepunkte wie die Hessen- und Deutschen Meisterschaften als auch regionale Regatten. Es ist hinsichtlich eines breiten Erfolgsspektrums sehr wichtig, die maximale Leistung auf allen Regatten zu zeigen, welche eine hohe Stabilisierung der Wettkampfleistung erfordert.

- Schnelligkeit: Fähigkeit, motorische Aktionen möglichst schnell durchzuführen. Gemessen am Gesamttrainingsumfang hat das Schnelligkeitstraining eine eindeutig untergeordnete Stellung, doch gewinnt es mit zunehmendem Maße in allen Trainingsbereichen und über das ganze Jahr hinweg an Bedeutung. Vor allem wirkt sich diese Fähigkeit auf die taktischen Fähigkeiten während eines Rennens aus.

Man unterscheidet bei der Schnelligkeit folgende Faktoren:

*Reaktionszeit*: Die Zeit, die vom Startkommando bis zum Beginn des ersten Schlages verstreicht.

Die *Durchzugsgeschwindigkeit* ist ein Maß dafür, wie schnell der Sportler seine Kraft für den Antrieb des Bootes bereitstellen kann. Eine höhere Durchzugsgeschwindigkeit ermöglicht dem Ruderer bei gleich bleibender Schlaglänge eine höhere Schlagfrequenz zu fahren. Bei gleich bleibender Schlagfrequenz und Schlaglänge verlängert sich die Freilaufphase und der Ruderer hat somit mehr Zeit sich zu regenerieren.

Die *Bewegungsfrequenz* wird aus der Schlagzahl nach den Schlägen pro Minute bei einer vorgegebenen Bewegungsamplitude, also der Schlaglänge, vorgegeben.

Die *Fortbewegungsgeschwindigkeit* ist eine komplexe Eigenschaft, die sich aus der Rudertechnik, der maximalen Kraft- und Schnellkraftausdauerfähigkeit bildet. Hierbei gilt es eine hohe Geschwindigkeit über eine festgelegte Distanz (im Rennen über 2000m) aufrecht zu erhalten.

- Beweglichkeit: Aktionsradius der Gelenke und die Dehnfähigkeit der Muskulatur. Diese letzte Grundeigenschaft Beweglichkeit wird heute meist nicht mehr eindeutig den konditionellen Fähigkeiten zugeordnet, da die

koordinativen Aspekte eine wichtige Funktion haben (vgl. Meinel/Schnabel 1998, S. 206). Trotzdem wird auch die Beweglichkeit beispielsweise bei einer weiten Auslage benötigt, bei der sowohl der Kniewinkel sehr spitz verläuft und der Oberkörper weit nach vorne gestreckt werden muss, um das Wasserfassen in einem minimal kleinen Außenwinkel des Außenhebels zur Rollrichtung zu erhalten. (vgl. Kapitel 2.5.1 Der Hebel als Ursache des dynamischen Geschwindigkeitsverlaufes während eines Schlages)

Wichtige koordinative Fähigkeiten für den Rudersport unterscheidet man wie folgt:

- Kienästhetische Differenzierungsfähigkeit: Fähigkeit zum Erreichen einer hohen Feinabstimmung einzelner Bewegungsphasen und Teilkörperbewegungen, die in großer Bewegungsgenauigkeit und Bewegungsökonomie in unterschiedlichen Geschwindigkeitsbereichen zum Ausdruck kommt. Dies äußert sich im Rudern besonders durch eine zweckmäßige Blattführung und eine optimale Übertragung vortriebswirksamer Kräfte auf das Boot, also zur Umsetzung einer ökonomischen und zweckmäßigen Rudertechnik.
- Reaktionsfähigkeit: Fähigkeit zur schnellen Einleitung und Ausführung zweckmäßiger motorischer Aktionen auf Signale. Gerade bei dem Startkommando, welches entweder optisch oder akustisch erfolgen kann, kommt es darauf an, schnell zu reagieren und den Start auszuführen. Die Reaktionsfähigkeit ist in einem gewissen Maße an die konditionelle Fähigkeit „Schnelligkeit“ gekoppelt.
- Kopplungsfähigkeit: Fähigkeit, Teilkörperbewegungen bzgl. eines bestimmten Handlungsziels räumlich, zeitlich und dynamisch aufeinander abzustimmen. Nach dem biomechanischen Prinzip der „optimalen Kopplung von Teilkörperbewegungen“ ist es sehr wichtig, die Bewegung der Beine, des

Oberkörpers, des Rumpfes, der Armen und Händen aufeinander abzustimmen. Nur wenn diese räumlich in eine Richtung zeigen (ansonsten wirkt nur die Resultierende aller Kräfte) und zeitlich aufeinander fallen, addieren sich die Teilkörperbewegungen und einem maximalen Gesamtimpuls. Aufgrund des Baus der menschlichen Gelenke (Rotationsbewegungen) ist die räumliche Gleichgerichtetheit oft nur bedingt möglich.

- Orientierungsfähigkeit: Fähigkeit zur Bestimmung und zielangepassten Veränderung der Lage und Bewegung des Körpers im Raum. Da der Blick eines Ruderers der Bewegungsrichtung entgegengerichtet ist, muss dieser versuchen, durch ein Anvisieren eines festen Punktes mit dem Heck, eine geradlinige Bewegungsrichtung beizubehalten. Denn die Kürzeste Verbindung zweier Punkte ist die Gerade. Des Weiteren kann sich dieser nicht ständig umschaun und ist somit auf seine Orientierungsfähigkeit angewiesen.
- Gleichgewichtsfähigkeit: Fähigkeit, den gesamten Körper im Gleichgewichtszustand zu halten, oder während und nach umfangreichen Körperverschiebungen diesen Zustand beizubehalten oder wiederherzustellen. Durch die Vermeidung seitlicher Schwankungen können die vorhandenen Kräfte voll in Vortrieb des Bootes umgesetzt werden und vortriebshemmende Faktoren wie das Kippen ausgeschaltet werden. Schon die geringste Abweichung der Lage des Bootes im Wasser verändert die hydrodynamischen Gegebenheiten, denn alle Boote werden so konstruiert, dass sie mit Eintauchen auf Höhe des Wasserlinienrisses die besten hydrodynamischen Eigenschaften in Bezug auf den Wasserwiderstand haben.
- Umstellungsfähigkeit: Fähigkeit während des Handlungsvollzugs das Handlungsprogramm veränderten Umgebungsbedingungen während des Trainings und Wettkampf anzupassen, oder evtl. ein völlig neues und adäquates Handlungsprogramm zu starten. Beispiele hierbei können das

Rudern in verschiedenen Bootsklassen und Mannschaften sein, ein Reagieren auf unterschiedliche Wind- und Strömungsverhältnisse oder eine Anpassung der Renntaktik: Beginnt der Gegner mit einem Zwischenspurt oder kommt dem eigenen Boot immer näher, so muss der Ruderer sich der gegebenen Situation anpassen und seine Taktik möglicherweise umstellen. Denn rein aus psychologischer Sicht ist es taktisch sehr schwer, ein davorliegendes Boot noch einmal anzugreifen. Eine labile Mannschaft schafft es meist nicht mehr, infolge mangelnden „Zutrauens“, an die Führenden aufzuschließen. Man spricht davon, dass der Start und die darauf folgenden ersten 30 Schläge meist ein Rennen entscheiden können.

- Rhythmisierungsfähigkeit: Der Ruderer beeinflusst den Wechsel zwischen Anspannung und Entspannung während des Ruderschlages und damit das Verhältnis zwischen Durchzug und Freilaufphase. Die Fähigkeit, einen Rhythmus einzuhalten oder zu verändern ist nicht nur im Mannschaftsboot unerlässlich, sondern eine generelle Voraussetzung für eine effektive Gestaltung von Schlagfrequenz und Vortrieb. Ein Beispiel hierfür liefert die Renntaktik, welche auch die angepasste und planvolle Veränderung der Schlagzahl während einem Rennen beinhaltet. Nach einem Start folgen meist 10-20 Spurtschläge, bevor man auf einen Streckenschlag übergeht. Zwischen dem Rennen fährt man, wenn es die Situation erforderlich macht, einige Zwischenspurreinlagen, gefolgt von einem Endspurt. Diese Planung und Umstellung des Rhythmus kommt einer hohen Wichtigkeit in einem Rennen zu, denn kein Ruderer kann ein 2000m Rennen durchsprinten. Wer das Rennen zu selbstbewusst angeht, dem droht seine Muskulatur zu übersäuern und muss mit Leistungseinbußen rechnen.

Man kann die Rudertechnik als eine Art Bindeglied sehen, welche die antrainierten motorischen Grundeigenschaften des Organismus mit der Fortbewegung des Bootes verbindet. Nur durch eine optimale Kopplung der Rudertechnik mit Mensch und Gerät kommt es zu einer bestmöglichen Ausnutzung der motorischen Grundeigenschaften und somit zum Vortrieb des Bootes. So kann ein bestmöglich

trainierter Sportler, beispielsweise ein 3.000m-Läufer, welchen man zugesteht ein geborener Ruderer zu sein, noch so gut trainiert sein; aber wenn er nicht die Kopplung seiner Fähigkeiten mit dem Gerät durch die Technik umsetzen kann, bleibt der Erfolg im Ruderboot aus.

Es ist also das Bestreben der Trainer und Ruderer, einer Optimaltechnik durch wissenschaftliche Methoden immer näher zu kommen. Nach einer Analyse der Olympiade 1997-2000 wurden deutliche Verbesserungen der Rudertechnik beobachtet und der Deutsche Ruderverband entwickelte demnach ein aktuelles Rudertechnisches Leitbild, welches neue Reserven für die weitere Leistungsentwicklung ausbauen soll. Doch bildet ein technisches Leitbild einen zurzeit rationellen, zweckmäßigen und ökonomischen Bewegungsablauf, den es gilt, unter Anweisung eines Trainers in der Bewegungskoordination bis hin zur „Feinstform“ zu erlernen. Von der Feinstform spricht man von einer Festigung und Anpassung der Bewegung, auch unter wechselnden Bedingungen wie z.B. Wind, Strömung und taktische Veränderungen der Gegner in einem Rennen. Für den Ruderer kommt es also darauf an, unter der Verwendung seiner Analysatoren äußere Reize schnell aufzunehmen und in die richtige motorische Handlung umzusetzen. Als Analysatoren sind jedoch nicht nur die Sinnesorgane gemeint, sondern die Funktionseinheiten zur Aufnahme, Weiterleitung und Verarbeitung eines Sinnesreizes. Ein Analysatorkomplex besteht aus Rezeptor (zur Aufnahme von Informationen), afferenter Nervenbahn (leiten Nervenimpulse von den reizaufnehmenden Strukturen zum zentralen Nervensystem) bis hin zur Hirnrinde, welche die Informationen verarbeitet. Für den Rudersport sind folgende Analysatoren zur Bewegungskoordination von äußerster Wichtigkeit:

- Der optische Analysator dient der Bewegungssteuerung mit den Augen. Da beim Rudern die Blickrichtung zum Heck verläuft, lässt sich die eigene Bewegung kaum optisch erfassen. Der Blick sollte daher vom Boot gelöst werden und in Richtung des Horizontes sehen, einem Punkt der sich nicht bewegt. Dieser dient zum Gleichgewichtserhalt und bei einer Neigung des Bootes lässt sich dies auch optisch erkennen.

- Bei dem kienästhetische Analysator liegen die Rezeptoren in den Muskelspindeln, Gelenken und Sehnen, welche Auskunft über die Änderung von Längen, Spannungs- und Gelenkveränderungen während der Bewegung geben. Bei der Ausführung der Ruderbewegung liefern die Rezeptoren Rückmeldungen über die Eigenbewegung. Der Ruderer kann somit selbst seine Arm-, Oberkörper- und Rumpfbewegungen kontrollieren und versuchen, mögliche Fehler abzustellen. Ein Beispiel für den kienästhetischen Analysator wäre z.B. bei der Eigenkontrolle der Rollbahnbewegung gegeben. Es gilt beim Vorrollen das Boot unter seinem Rollsitz durchzuziehen, also zu versuchen, mit den Füßen das Stemmbrett ranzuholen, um in der Auslage einen möglichst geringen Druck gegen das Stemmbrett zu erzeugen, welches das Boot abbremsen würde. Aufgrund der Rezeptoren in den Beinen kann ich somit spüren, wie schnell ich nach vorne rulle und ob ich dabei einen großen Druck auf das Stemmbrett durch abbremsen meiner Vorwärtsbewegung ausübe. Wenn dies der Fall wäre, könnte ich dies durch den Analysator erkennen und bei den nächsten Ruderschlägen versuchen abzustellen.
- Das wichtigste Organ für den statico-dynamischen Analysator ist das Innenohr. Er ist zuständig für die Erhaltung bzw. Wiederherstellung des Gleichgewichts und für die Erfassung von Beschleunigungsvorgängen. Wie wichtig die Beschleunigungs- und Gleichgewichtsvorgänge beim Rudern spielen, sind ja bereits bekannt.
- Der akustische Analysator verarbeitet akustische Signale über den Bewegungsvollzug, Bewegungsauswirkungen oder Umwelt- bzw. Sportgerätgeräusche wie z.B. das „Aufplatschen“ der Blätter auf dem Wasser. Der akustische Analysator spielt besonders bei einem Mannschaftsboot eine große Rolle, denn so lässt sich auch akustisch die Synchronität der Bewegung, z.B. beim Drehen der Rudermanschette in der Dolle, bewerten.
- Der taktile Analysator erhält Informationen über die Rezeptoren der Haut. So lässt sich beispielsweise das „Aufplatschen“ der Blätter auf dem Wasser auch

an den Griffen erfühlen, ohne den Vorgang akustisch wahrnehmen zu müssen. Aber auch auftretende seitlichen Winde oder Böen lassen sich erfühlen und geben die Möglichkeit, darauf entsprechend zu reagieren.

Gerade die zahlreichen Projekte und Aktionen des Deutschen Ruder Verbandes zur Integration von Körper-, Hör und/oder Sehbehinderten zeigen, dass die alternativen Analysatoren der Optik und Akustik eine große Rolle im Rudersport spielen und dadurch der Rudersport auch von Behinderten Menschen aktiv ausgeübt werden kann.

Der Ruderer erhält über seine Analysatoren sowohl innere als auch äußere Rückmeldungen. Die innere Rückmeldung erfolgt ohne Einbeziehung der Umwelt, d.h. von den bewegungsausführenden Organen ausgehend durch kinästhetische und statico-dynamische Informationen. Formen der äußeren Rückmeldung sind visuelle, akustische und taktile Rückmeldungen. Diese werden von der Umwelt beeinflusst. Durch Korrekturhinweise, die entweder vom Trainer oder vom Ruderer kommen können, kann der Sportler sofort während der Bewegungsausführung die Informationen nutzen und seine Technik verbessern. Man spricht hierbei von einer Synchroninformation, denn zwischen dem rezeptorischen Signal der Analysatoren, dem Weg zum Zentralen Nervensystem und dem Gehirn und dem Rücksignal zur Übungsverbesserung und der möglichen Umsetzung vergehen nur kurze Zeiteinheiten. Bei einem Fußballschuss beispielsweise kann eine Übungsverbesserung erst nach dem Schuss passieren, man spricht von einer Schnellinformation nach der Bewegungsausführung. Natürlich kann ein Sportler hier auch durch seine Analysatoren während der Bewegung erkennen, ob seine Bewegungsausführung ideal ist. Diese Informationen können allerdings erst mit zunehmender Bewegungserfahrung und im Stadium der Feinform optimal genutzt werden. Der Fußballspieler hat somit nicht die Möglichkeit, seine Bewegung im nächsten Zyklus umzusetzen, sondern muss seine Bewegung neu ansetzen.

Eine Leitvorstellung der Rudertechnik soll sowohl Trainer, als auch Sportler eine Basis schaffen, um eine gemeinsame Anpassung des Bewegungsvollzuges des

Sportlers an ein Bezugssystem zu schaffen. Die Rudertechnik kann nicht nach völliger Beliebigkeit ausgeführt werden. Die physikalischen Gesetzmäßigkeiten und das Regelwerk der Ruderverbände lassen nur enge Vorgaben zu. In einer Leitvorstellung werden somit eine Reihe von Prinzipien erstellt, die der Entwicklung der technischen- und ruderischen Fähigkeit als Orientierung dienen. Nichtsdestotrotz gibt es über die Auffassung der „richtigen“ Rudertechnik verschiedene Meinungen. Dies lässt sich besonders stark bei der Analyse der Rudertechnik von Weltmeisterschaftsruderern veranschaulichen. Die Bewegungsabläufe wenden sich zum Teil so stark vom Rudertechnischen Leitbild ab und es lassen sich vollkommen andere Akzentuierungen der Bewegung erkennen. Man spricht daher von einem Stil, wenn sich Leistungsruderer über jahrelanges Rudern bei ausgereifter Technik eine persönliche Note angeeignet haben. Gerade diese Eigenart kann dem Ruderer zu seinem Erfolg durch optimale Ausnutzung der persönlichen Stärken beigehtolfen haben, ohne dass dieser Stil einem anderen Ruderer zu seinem Erfolg verhelfen kann. Es ist somit eine persönliche Eigenschaft, welche nicht allgemeingültig auf andere übertragbar ist. Doch der Weg zu solch einem persönlichen Stil muss über die wissenschaftlichen Erkenntnisse des technischen Leitbildes erfolgen und bildet demnach für die Rudertechnik eine unverzichtbare Basis.

Ein Beispiel für einen sehr eigenen Ruderstil zeigte Katrin Boron, als erfolgreichste Ruderin der Welt auf. Beim Wasserrassen beugte sie ihre Arme relativ stark ohne dass Beine und Rumpf arbeiteten. Die Kopplung der Teilkörperbewegungen war hier nicht optimal, doch erschien für sie diese Technik als das Rationellste, ihr Ruderstil.

Abschließend kann man somit folgendes über die Rudertechnik aussagen:

- Rudertechnik ist demokratisch vereinbart
- Rudertechnik folgt objektiven Kriterien
- Rudertechnik wird durch individuelle Eigenschaften bedingt und ist somit subjektiv

### 3.2 Phasenstruktur der Ruderbewegung:

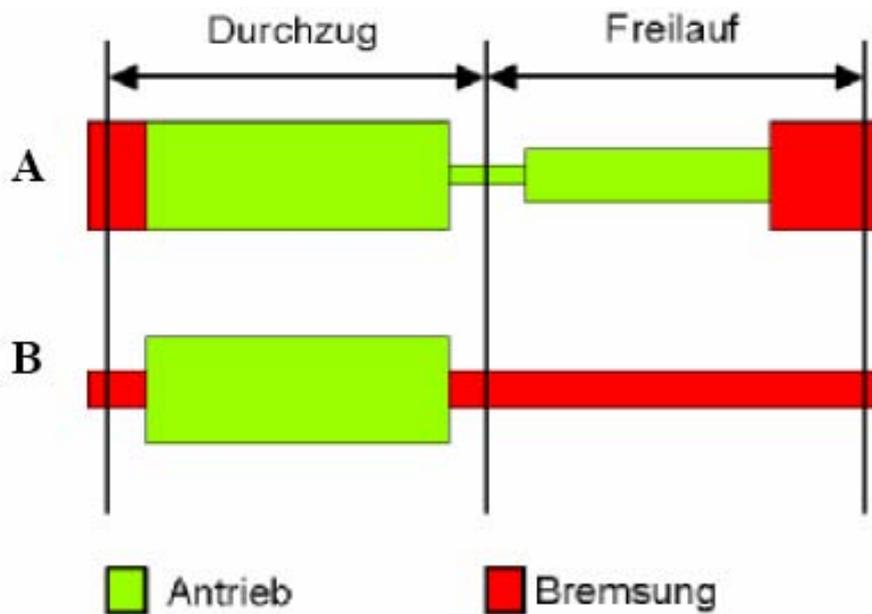


Abbildung 31: Phasenstruktur

Die Ruderbewegung besitzt eine zyklische Phasenstruktur, welche ein sich immer wiederholender Bewegungsablauf charakterisiert. Man spricht von einer zweiphasigen Bewegungsstruktur. Die klassische Dreiphasenstruktur einer azyklischen Bewegung (z.B. Weitsprung) nach Meinel, bestehend aus der Vorbereitungs-, Haupt- und Endphase, verschmelzt mit der Zweiphasenstruktur, nämlich einer Haupt- und Zwischenphase. Die Aufgabe der Hauptphase wird durch die Lösung der eigentlichen Bewegungsaufgabe definiert. Bezogen auf das Ruder stellt dies somit den Durchzug der Blätter zum Beschleunigen des Bootes dar. Wir erteilen unserem Mensch/Rudergerät-System somit einen Eigenimpuls, der uns zu einer anderen Ortsstelle führt. Man spricht daher von einer Lokomotion. Weitere Beispiele hierfür sind Laufen, Springen oder Schwimmen. Die Hauptphase beginnt somit nach dem Einsetzen im Wasser in der Auslage und endet mit dem Beginn des Aushebens der Blätter in der Rückenlage. Die darauf folgende Zwischenphase leitet den nächsten Schlag ein und besteht somit aus dem Ausheben der Blätter in der Rückenlage, dem Vorrollen in die Auslage und dem anschließenden Wasserfassen und dient der Erholung nach dem Ruderschlag.

Die Bootsgeschwindigkeit hängt stark von der Ausführung der Durchzugs-, und Freilaufphase ab. Diese zeigt die Abbildung 31, welche die Grundstruktur des Schlages bezüglich deren Antriebes- bzw. Bremskräfte unterteilt. Danach kennzeichnen in A, die grünen Balken den Anstieg der Bootsgeschwindigkeit förderlichen Phasen und in B, die roten Balkenteile die Bremsung des Gesamtsystems (Geschwindigkeitsabfall) gegenüber dem Antrieb (Geschwindigkeitsaufnahme). Die Schlagstruktur nach A sollte nach der physikalischen Betrachtung des Antriebes klar sein. Sowohl der Durchzug, als auch der Freilauf des Bootes fördern den Bootslauf aufgrund des Impulses zwischen Wasser und Boot (vgl. 2.3.1) und dem Impuls zwischen Mannschafts- und Bootsschwerpunktes aufgrund der Rollarbeit (vgl. 2.3.2). Teile der vorderen und hinteren Bewegungsumkehr fördern den Antrieb des Bootes nicht. Darunter zählt in der Vorlage die Abbremsbewegung der Rollarbeit auf das Stemmbrett (Kraft gegen Fahrtrichtung) und die damit verbundene Bewegungsumkehr, als auch die zeitliche Dauer des Durchzuges bis das Blatt eine relative Geschwindigkeit zum Boot aufgrund der noch vorhandenen Bootsgeschwindigkeit überschritten hat. Es kann nur ein vortriebswirksamer Druck am Blatt erzeugt werden, wenn sich das Blatt schneller heckwärts bewegt, als das Boot bugwärts (vgl. Technisches Leitbild im Durchzug). Im B Teil der Grafik wird zwischen der Antriebs- und Bremsphase im Gesamtsystem unterschieden. Hierbei werden die auftretenden Impulsveränderungen in der Rollarbeit außen vor gelassen, denn nach dem Impulserhaltungssatz ist der Gesamtimpuls vor und nach der Rollarbeit in einem geschlossenen System wie dem Boot gleich groß. Massenverlagerungen heben sich sozusagen auf und der Ruderer befindet sich nach der Rollarbeit in Aus- und Rückenlage, ohne die Blätter ins Wasser zu tauchen auf der gleichen Stelle. Bei der Betrachtung des Gesamtsystems kommt somit nur einem Teil des Durchzuges eine antriebswirksame Bedeutung zu. Darüber hinaus deutet die Trennung von Durchzug und Freilauf (senkrechte Linie) darauf hin, dass der Phasenbeginn sich ändert, wenn die Bewegungsrichtung des Ruders (Richtungswechsel) zugrunde gelegt wird.

### 3.3 Handführung Skullen

Das Skullrudern ist der klassische Einstieg für Anfänger in den Rudersport. Daher ist es besonders wichtig, den Anfängern den objektiv richtigen Bewegungsablauf beizubringen, um diese dann auch in ein Mannschaftsboot mit anderen Ruderern zu integrieren. Voraussetzung hierbei ist natürlich die einheitliche Bewegung.

*Handführung:*



Abbildung 32

Eine Vereinbarung der Rudertechnik suchte 1982 schon Volker Nolte. Er versuchte die Rudertechnik aus biomechanischer Sicht zu analysieren und darzulegen. Dabei schrieb er zur Handführung folgendes: „Da es außer dem Ziel, miteinander rudern zu können, kein sachliches Argument für die eine oder andere

Ausführung gibt, sollten sich die gegensätzlichen Standpunkte endlich in der schon seit Jahren geltenden Absprache im Bereich des DRV treffen. Die Skullführung soll im DRV einheitlich links über rechts und rechts vor links sein.“ 1991 legte der Sportdirektor des Deutschen Ruderverbandes Peter-Michael Kolbe diese Absprache fest und nennt diese Absprache für Trainer des DRV als verbindlich. Eine Nominierung auf internationalen Regatten erfolgt daher nur bei entsprechender Handführung.

Die rechte Hand befindet sich also näher am Körper und unter der linken Hand. Diese Festlegung gilt sowohl für das Vorrollen als auch im Durchzug. Daher wird am Backbordausleger die Dollenhöhe um ca. 5-10mm höher als am Steuerbordausleger getrimmt.

*Handgelenk:*

Eine weitere wichtige Rolle bei der Handführung spielt das Handgelenk. Während des Durchzuges muss dieses gestreckt sein. Somit lässt sich eine höhere Kraft auf den Innenhebel übertragen und das Handgelenk schmerzt nicht in einer gebeugten

Stellung. Dieses einfache Prinzip wird beim Tragen einer schweren Tüte deutlich: Halte ich die Tüte mit einem gebeugten Handgelenk wird dies rasch dazu führen, dass ich diese aufgrund der hohen Belastung für das Gelenk absetzen muss. Während die Blätter in einer senkrechten Position zum Wasser und sich im Durchzug befinden, muss das Handgelenk somit gerade gestreckt sein und sich in natürlicher Verlängerung des Armes befinden. Somit kann ich schmerzfrei die komplette Kraft aus den Armen in das Handgelenk leiten und den Innenhebel beschleunigen.

Beim Vorrollen allerdings ergibt sich natürlich zwangsläufig ein Drehen des Innenhebels um 90°, da das Blatt flach nach vorne gebracht werden muss, um nicht den Lauf des Bootes zu stören. Ansonsten wäre ein unnötiges Abstoppen des Bootes bei dem Aufplatschen des Blattes die Folge. Um jedoch das Abknicken des Handgelenkes so gering wie möglich zu halten, löst man beim Vorführen den Handballen etwas vom Griff, so dass der Griff nur noch mit den Fingern umfasst wird. Dies lässt erstens eine präzisere Handführung zu und zweitens ein nicht so starkes Abknicken des Handgelenkes entstehen.

#### *Handhaltung:*

Das Skull wird grundsätzlich immer am äußersten Ende gefasst. Somit kann man den Innenhebel optimal ausnutzen. Ein zu weit innen gegriffenes Skull verkürzt den Innenhebel und lässt den Druck bei gleicher Bootsgeschwindigkeit erhöhen. Der Daumen drückt seitlich gegen das Griffende und hält den Klemmring des Skulls an der Dolle. Eine Verschiebung des Druckpunktes des Skulls an der Dolle hätte eine Verlängerung des Innenhebels zu Folge und damit eine Minderung des Druckes bei gleich bleibender Geschwindigkeit sowie eine schlechtere Kontrolle, da das Ruder nicht fest in der Dolle sitzt.

#### *Höhe der Hände:*

Befinden sich die Blätter auf dem Wasser, kann sich das Boot nur in der waagrechten Position befinden, wenn sich die Hände auf gleicher Höhe befinden. Wir stellen also mit den Händen unser Boot. Von daher muss der Ruderer die Hände in der Vorlage und im Endzug auf gleicher Höhe führen.

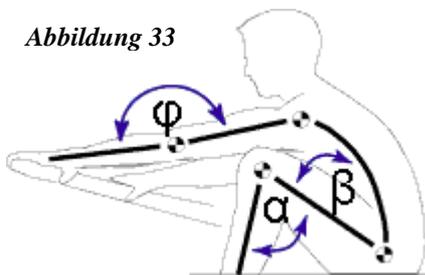
### 3.4 Bewegungsablauf Skullen

#### *Durchzug:*

Wie schon bereits erwähnt, beginnt der Ruderschlag mit der Hauptphase bei der eigentlichen Lösung der Aufgabe, nämlich das Boot zu beschleunigen. Dies geschieht in der Phase des Durchzuges nach dem Einsetzen der Blätter und der vollen Druckaufnahme durch eine Kraftübertragung vom Stemmbrett auf die kinematische Kette des Körpers und den Innenhebel. Die kinematische Kette des Körpers wird aus der kraftübertragenden Kette, bestehend aus Fuß, Unterschenkel, Oberschenkel, Rumpf und Oberarme gebildet.

Die Geschwindigkeit des Blattes muss die relative Geschwindigkeit des Bootes im Wasser übersteigen um einen für den Vortrieb wirksamen Schub zu erzeugen. Daher spricht man beim Rudern bezüglich der Schlagstruktur auch von einem Schubschlag. Hierbei wird versucht, das Boot fortlaufend bis zum Endzug zügig zu beschleunigen und den kontinuierlichen Anstieg der Innenhebelgeschwindigkeit bis zum Endzug zu erhalten.

*Abbildung 33*



Diese Voraussetzung charakterisiert auch gleich die Funktion des Durchzuges, welcher vom Bewegungsablauf folgendermaßen aussieht: Der Durchzug beginnt mit dem gleichzeitigen Öffnen des Knie- und Hüftwinkels. Der Kniewinkel  $\alpha$  beschreibt den Winkel zwischen dem Oberschenkel und dem Unterschenkel, der Hüftwinkel  $\beta$  den zwischen dem Oberkörper und dem Oberschenkel. Während des Durchzuges bleiben die Arme (Armwinkel  $\varphi=180^\circ$ ) gestreckt, um den vollen Impuls des Beinstoßes über die Arme auf den Innenhebel abzugeben. Die Zughöhe und somit die Tauchtiefe des Blattes hängt von der jeweiligen Blattbreite und der Dollenhöhe ab. Diese muss so gewählt werden, dass sich die Blattoberkante im Durchzug gerade unter der Wasseroberfläche befindet.

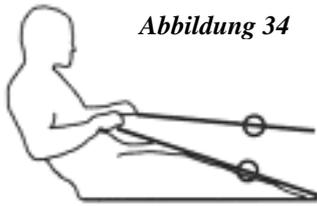


Abbildung 34

Durch den Beinstoß im Mittelzug muss bei zunehmendem Krafteinsatz die Winkelgeschwindigkeit der Blätter gesteigert werden. Wenn die Beine fast durchgestreckt sind, also die Hände sich in Höhe der Knie befinden, beginnt die Kopplung von Arm und Schulterzug. Das Einsetzen der Schulter unterstützt den aktiven Armzug und der Ellenbogen wird nahe am Körper vorbeigeführt. Der Endzug wird bis zum Erreichen der Rückenlage ausgezogen und endet kurz vor dem Körper, um einen gewissen Spielraum für das Ausheben der Blätter zu gewährleisten.

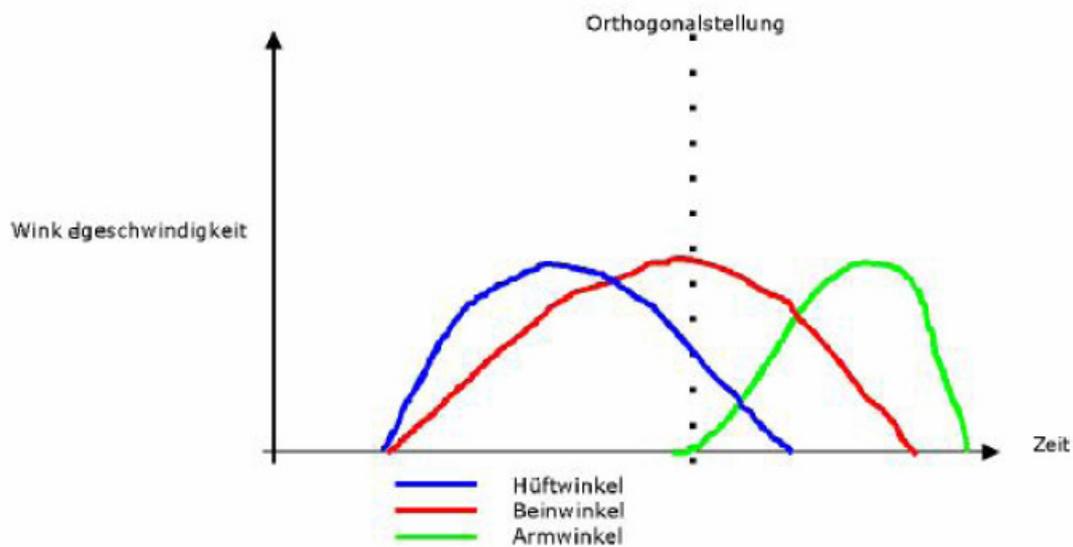


Abbildung 35

Der Oberkörper befindet sich in der Rückenlage in einer stabilen und leicht nach hinten gelehnten Position. In dieser Phase ist die Bauchmuskulatur voll angespannt, um dem Druck im Oberkörper stand zu halten und diesen nicht zusammenfallen lässt. Die Wahl der Rückenlage kommt einer wichtigen Rolle zu, denn ohne eine Rückenlage ist ein kräftiger Endzug nicht möglich. Besitzt dagegen der Ruderer eine zu große Rückenlage, so verlagert dieser seinen Körperschwerpunkt zu weit in Richtung Bug. Das Boot beginnt durch die Abduckbewegung im Bug mit dem Stampfen, der Stampfwiderstand (Vgl. 2.4.3) erhöht sich und der Bootslauf wird gestört. Optimal ist somit eine Rückenlage von  $-10^\circ$  bis  $-20^\circ$  von der Senkrechten aus gemessen. Positive Werte gehen in Richtung Vorlage, negative in Richtung Rücklage.

Durch eine aktive Kopplung aller Teilkörperkräfte versucht man vor allem im Endzug, einen Geschwindigkeitszuwachs des Innenhebels zu erreichen. Denn das biomechanische Prinzip der Kopplung von Teilkörperkräften besagt, dass sich die Teilimpulse nur bei einer räumlichen und zeitlichen Überlagerung zu einem maximalen Gesamtimpuls addieren.

Die folgende Grafik erläutert die schematische Darstellung der idealen zeitlichen Verläufe der Winkelgeschwindigkeiten der Körperwinkel  $\alpha$ ,  $\beta$  und  $\varphi$  während der Durchzugsphase.



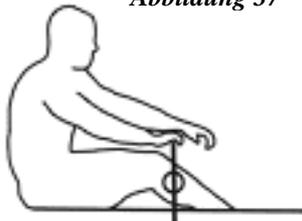
*Abbildung 36: Zeitliche Verläufe der Körperwinkel*

*Ausheben und hintere Bewegungsumkehr:*

Nach Beendigung des Durchzuges in der Rückenlage erfolgt das senkrechte, spritzfreie und widerstandsarme Ausheben der Blätter durch das Niederdrücken der Innenhebel aus den Armen. Dies wird durch eine stabile Oberkörperposition begünstigt. Um den Freilauf des Bootes in keinsten Weise zu stören, muss dies zeitlich genau dann erfolgen, wenn Blatt- und Bootsgeschwindigkeit nahezu übereinstimmen. Nach dem Flachdrehen der Blätter erfolgt die hintere Bewegungsumkehr des Körpers, bei der die Rollbewegung abgebremst wird. Dabei muss der Ruderer versuchen, einen leichten Zug mit den Zehnspitzen auf das Stemmbrett auszuführen, um dadurch den Freilauf zu fördern. Das fließende Vorführen der Innenhebel bei gleichzeitiger Mitnahme des Oberkörpers vollzieht sich in gleicher Geschwindigkeit wie das Heranführen des Innenhebels im Endzug. Dabei nutzt man die Freilauf fördernde Wirkung der hinteren Bewegungsumkehr maximal aus.

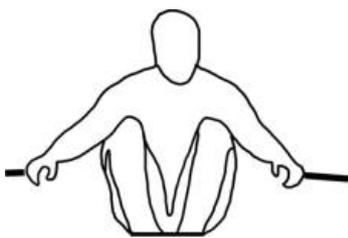
### *Vorrollen:*

Die Vorrollbewegung ist sowohl von einer Entspannungsphase der gesamten Muskulatur, als auch von der geistigen Vorbereitung auf die Schaffung optimaler Voraussetzungen für den neuen Schlag gekennzeichnet.



*Abbildung 37*

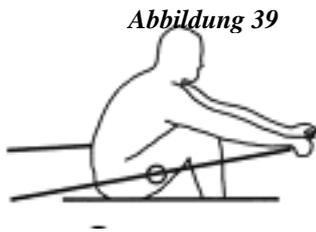
Wenn die Schultern über dem Rollstuhl und sich die Hände über den Knien befinden, beginnt das fließende Vorrollen in Richtung des Hecks, welches durch einen aktiven und gleichmäßig dosierten Zug am Stembrett geschieht. Der Ruderer muss dabei das Gefühl haben, das Boot unter seinem Rollstuhl in Fahrtrichtung hindurch zu ziehen. Die Innenhebel werden in gleich bleibender Höhe dermaßen in Richtung Heck bewegt, dass das aufgedrehte Blatt ca. 1 Blattbreite über dem Wasser geführt wird. Sind die Innenhebel über dem Stembrett angekommen, so beginnt die Vorbereitung für den neuen Schlag, indem das Blatt frühzeitig aufgedreht und senkrecht zum Wasser gestellt wird. Durch die richtige Höhe des Blattes über Wasser muss die Innenhebelhöhe beim Aufdrehen der Blätter nicht verändert werden. Ziel dieser Bewegung ist es, die Blätter beim anschließenden Wasserfassen so schnell wie möglich im Wasser zu versenken. In der letzten Phase des Vorrollens sollen die Arme gestreckt und der Oberkörper sich in einer leichten Vorlage befinden.



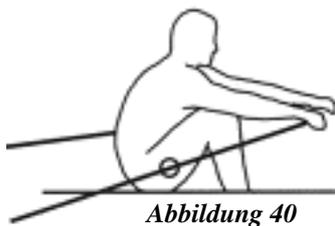
*Abbildung 38*

Beim Skullen spricht man bei der äußersten Vorlageposition von einem Tangentialzug, welcher durch ein weites Öffnen der Arme charakterisiert ist. Der Unterschenkel befindet sich nahezu senkrecht zur Wasseroberfläche und der Hüftwinkel ist komplett geschlossen.

### *Vordere Bewegungsumkehr und Wasserfassen:*



Die vordere Bewegungsumkehr wird durch ein weiches und aktives Abbremsen gekennzeichnet. Dadurch muss der Ruderer gezwungenermaßen einen Druck auf das Stemmbrett entgegen der Fortbewegungsrichtung aufbringen, welches das Boot abbremst. Um diese negative Phase so klein wie möglich zu halten, spricht man vom „Wasserfassen mit fliegendem Rollsitze“. Das bedeutet, dass das Wasserfassen sofort im Scheitelpunkt der vorderen Bewegungsumkehr geschehen muss, und zwar schnell, senkrecht und spritzerfrei.



Dies kann nur durch ein aktives Hochnehmen der Hände und Arme aus den Schultern heraus erfolgen. Die hohe Wichtigkeit des schnellen Wasserfassens wird durch folgendes Beispiel deutlich: Gemessen wird jeweils die Dauer, welche ein Blatt vom ersten Berühren der Wasseroberfläche bis zur vollen Eintauchtiefe der Blätter benötigt. Ruderer A schafft dies in 0,031s und Ruderer B in 0,061s. Dies bedeutet eine Verzögerung von nur 0,03s. Rechnet man diese Verzögerung jedoch auf ein 2000m Rennen mit einer Schlagfrequenz von 30S/m und einer Dauer von 7min hoch, so ergibt sich ein Vorteil von 6,3s für Ruderer A. Diese Relation macht nochmals die Wichtigkeit einer optimalen Rudertechnik deutlich. Ein kleiner Fehler hat für „einen“ Schlag nur eine relativ kleine Bedeutung. Rechnet man jedoch diese kleinen Fehler auf ca. 210 Schläge eines Rennens hoch, so addieren sich die Fehler und kosten mehrere Meter Vorsprung, welche ein Rennen maßgeblich entscheiden können. Desto größer die Bootsgeschwindigkeit, umso schneller muss das Wasserfassen geschehen, da das Blatt ansonsten durch die noch vorhandene Relativgeschwindigkeit gegenüber dem Wasser durch langsames Wasserfassen gebremst werden würde.



Direkt nach dem Wasserfassen erfolgt ohne Verzögerung der Zug in vertikaler Geschwindigkeit. Der Durchzug nach dem Wasserfassen ist erst dann vortriebswirksam, wenn das Blatt eine heckwärts gerichtete relative Geschwindigkeit gegenüber dem Boot übersteigt. Besitzt das Boot zum Zeitpunkt des Wasserfassens eine Geschwindigkeit von 4m/s, so erfolgt ein „Druckfinden“ erst bei einer Durchzugsgeschwindigkeit der Blätter bei über 4m/s. Der Ruderer muss somit auf eine minimal dauernde vordere Bewegungsumkehr, schnelles Wasserfassen und ein verzögerungsfreies „Druckfinden“ am Blatt bedacht sein.

### 3.5 Unterschiede zum Riemenrudern

Infolge der mechanischen Unterschiede zwischen Skullen und Riemen muss man trotz mancher Übereinstimmungen zur Skultechnik auch Unterschiede betrachten.

#### *Handhaltung:*

Beim Riemenrudern umfassen beide Hände den Innenhebel mit einem Abstand von ca. 2,5 Handbreiten. Die Außenhand schließt mit dem Ende des Riemens ab, der kleine Finger liegt auf dem Ende des Riemens seitlich auf und kontrolliert das feste Anliegen des Klemmrings an der Dolle. Die Innenhand hat die alleinige Funktion des Auf- bzw. Abdrehens des Ruders. Währenddessen gleitet das Ruder durch die Außenhand. Ansonsten führt die Außenhand den Innenhebel.

#### *Vorrollen:*



Beim Vorrollen folgt der Ruderer dem Innenhebel durch ein aktives Eindrehen der Schulter und Hüfte. Die Schulterquerachse bleibt in der Auslage fast parallel zum Innenhebel. Beide Arme bleiben bis zuletzt leicht angewinkelt und werden erst im letzten Moment gestreckt. Dadurch, dass

die Außenhand sich in der Auslage zwischen den Knien befindet, wird das Außenbein leicht abgewinkelt.

Auch bei der Riementechnik ist das Vorrollen von einer Phase der Entspannung und Erholung gekennzeichnet und es ist auf eine entspannte Körper- und Armführung zu achten.

#### *Auslage:*

Im Riemenbereich kommt man bekanntlich in einen nicht so großen Auslagewinkel wie beim Skullen. Daher bleibt der Kniewinkel größer als  $50^\circ$  bis  $60^\circ$ . Dafür streckt sich der Oberkörper in einer Verwringung weit nach vorne.

#### *Durchzug:*

Der Durchzug verläuft mit den gleichzeitigen Öffnen des Hüft- und Kniewinkels, wie auch beim Skullen. Unterschiede sind lediglich im Endzug bzw. der Rückenlage erkennbar: Im Endzug wird der Holmen relativ weit hoch an den Körper knapp unter die Brust herangezogen. Der Rückenlagewinkel ist bedeutend größer als beim Skullen und verläuft sich auf ca.  $25-30^\circ$ , aus der Senkrechten heraus gemessen. Die Verwringung im Oberkörper wird schon während dem Durchzug aufgelöst und dieser befindet sich mit der Längsachse des Bootes auf einer Linie. Die Schultern werden weit in die Rückenlage genommen und nur die Außenhand berührt den Körper.

#### *Effektive Kraftübertragung:*

Die effektivste Kraftübersetzung am Innenhebel ist dann gewährleistet, wenn die Zugrichtung am Innenhebel möglichst tangential zur kreisförmigen Bewegungsbahn um die Dolle erfolgt. Praktisch ergibt sich daraus die Forderung, während des Durchzuges den Innenhebel nicht zum Körper zu ziehen, sondern der Innenhebel muss bewusst um die Dolle gedreht werden. Die Zugkraft sollte also optimal im rechten Winkel zum Riemen erfolgen. Dies ist zu vergleichen, wenn im Handwerksbetrieb ein einseitiger oder zweiseitiger Hebel verwendet wird. Ich belaste meine Zug- bzw. Drückkraft am ökonomischsten immer senkrecht des Hebels.

Genauso soll dies auch beim Riemenrudern erfolgen. Dadurch vergrößert sich bei gleicher Zugkraft die Drehkomponente, welche die Drehbewegung des Innenhebels um die Dolle verursacht. Weiterhin vergrößert sich auch die Druckkraft längs des Ruders zur Dolle. Es ist somit eine geringere Reaktionskraft am Stemmbrett erforderlich. Der Zug am Innenhebel kann somit durch eine tangential gerichtete Zugkraft ökonomisiert werden.

### **3.6 Das Mobile Messsystem 2000 (MMS)**

Das Mobile Messsystem wird seit den Olympiavorbereitungen 2000 zur leistungsdiagnostischen und biomechanischen Untersuchung im Rennboot eingesetzt. Dadurch lassen sich sowohl Ruderleistung als auch Rudertechnik objektiv erfassen und in Messergebnisse veranschaulichen. Der Trainer erhält daraus wichtige Empfehlungen für die Renngestaltung zwischen Ruderer, dem Boot, der Rudertechnik und auch dessen Leistungsfähigkeit.

Die Konzipierung fand in Kooperation mit dem Institut für Sportwissenschaft der Humboldt-Universität zu Berlin (IfS) und dem Institut für Forschung und Entwicklung von Sportgeräten e.V. (FES) statt. Das Konzept eines Messsystems ist allerdings nicht neu: Schon seit 1991 wurden für den Deutschen Ruder Verband Rudermessfahrten in Rennbooten durchgeführt. In der neuen Ausführung des MMS wurde daher besonders Wert auf höhere Messgenauigkeit durch neue Sensorik und eine überarbeitete Messauswertung durch eine neue Software gelegt. Bei der Sensorik ist vor allem die Messung des Rollsitzweges in der Zeit als neue Messgröße hinzugekommen, auf dessen Bedeutung ich in Kapitel 2.8.1 noch weiter eingehen werde. Die Feindifferenzierung der Sensorik wurde durch die Messelektronik völlig neu überarbeitet, welche nun in höheren Abstraten von wahlweise 50,100 oder 200Hz und einer 12-Bit-Datenauflösung arbeitet.

Das Messsystem 2000 ermittelt Daten durch folgende Parameter:

- Stembrettkraft ( $F_S$ )
- Dollenkraft ( $F_D$ )
- Resultierende von  $F_D$  und  $F_S$ , genannt Bootskraft ( $F_B$ )
- Drehwinkel des Ruders um die Dolle durch Potentiometer ( $v;s;t$ )
- Rollsbizbewegung

Die Stembrettkraft  $F_S$  wird durch die Druck- bzw. die Zugkraft des Sportlers auf das Stembrett infolge der Ruderbewegung in Längsrichtung des Bootes in Newton ermittelt. Hierbei liegt eine proportionale Zuordnung zwischen dem Zug am Innenhebel  $F_H$  und der Stembrettkraft  $F_S$  zugrunde. Desto mehr ich am Innenhebel ziehe, umso mehr Druck muss man auf das Stembrett ausüben. Dies beruht auf dem 3. Newton'sche Axiom, welches folgendes besagt: Wirkt ein Körper A auf einen Körper B die Kraft  $F$  aus, dann übt Körper B auf A eine gleichgroße, aber entgegengesetzt gerichtete Kraft  $F$  aus. Kurz gesagt nennt man dies auch actio = reactio. Für die Beziehung zwischen  $F_S$  und  $F_H$  gilt somit folgendes:  $\mathbf{F}_S = - \mathbf{F}_H$  (Gleichung 3.6.a). Verallgemeinert treten die Stembrettkräfte als Reaktionskräfte der Arbeit am Innenhebel und der Körperbewegung auf.

Aus den Hebelgesetzen für den einarmigen Hebel gilt folgendes:  
**Kraft \* Kraftarm = Last \* Lastarm** (vgl. Gl. 2.5.a)

Der Kraftarm wird aus der gesamten Länge des Riemens gebildet. Die Kraft, welche am Kraftarm angreift, ist der Zug des Ruderers am Innenhebel, also  $F_H$ . Der Lastarm ist die Länge vom Drehpunkt am Blattende, bis zum Angriffspunkt der Last an der Dolle. Die Last an der Dolle wird von nun an als Dollenkraft  $F_D$  bezeichnet. Der Lastarm wird demnach durch den Außenhebel gebildet. Angenommen wir ein Zug des Ruderers am Innenhebel  $F_H$  von 500N, einer Innenhebellänge (IH) von 1,10m und einem Außenhebel (AH) von 2,70m Länge.

Durch gleichsetzen von  $F_S = -F_H$  und der Gleichung des Hebelgesetzes ergibt sich folgendes:

$$\text{Last} = \text{Kraftarm} / \text{Lastarm} * \text{Kraft}$$

$$F_D = (AH + IH) / AH * F_H$$

$$= (1 + IH / AH) * F_H \text{ (Gleichung 3.6.b)}$$

Die Bootskraft  $F_B$  stellt die Differenz zwischen Dollen- minus Stembrettkraft dar. Dieser neuen Kraft kommt daher eine große Bedeutung zu, da sich eine positive Stembrettkraft mit der Dollenkraft am Boot addieren. Aufgrund der antiparallelen Richtungsvektoren heben sich diese somit auf. Übe ich eine positive Kraft auf das Stembrett aus, so wirkt diese dem Zug an meiner Hand ( $F_S = -F_H$ ) und auch der Dollenkraft  $F_D$  entgegen. Für den Antrieb ist letztendlich nur die Bootskraft verantwortlich.

$F_B = F_D + F_S$  (Aufgrund der antiparallelen Richtungsvektoren können diese Kräfte addiert werden)

$$= (1 + IH / AH) * F_H + (-F_H) \text{ (Gleichsetzten von Gl. 3.6.a und 3.6.b)}$$

$$F_B = IH / AH * F_H \text{ (Gl. 3.6.c)}$$

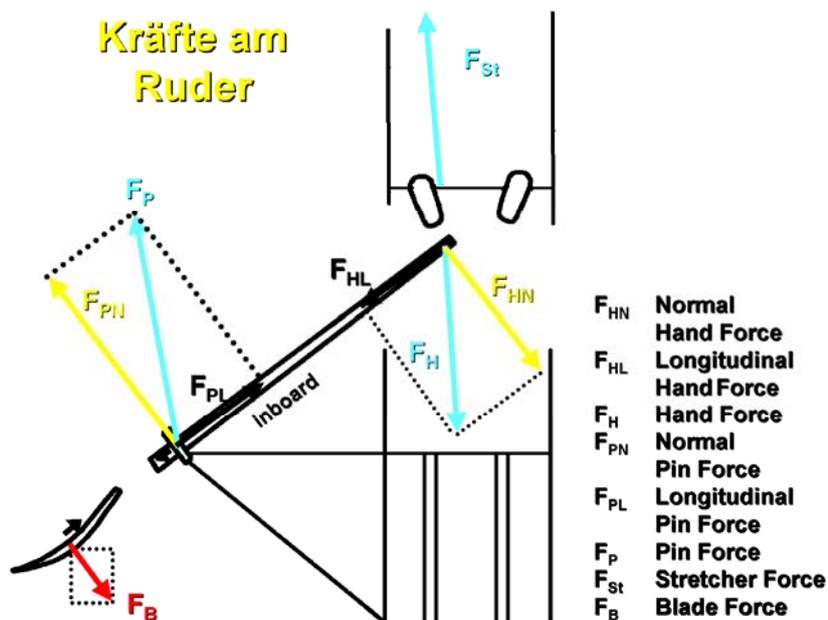


Abbildung 43: Wirkende Kräfte

Die Bootskraft hängt somit im Durchzug von dem Verhältnis von Innenhebel zu Außenhebel ab und von der Zugkraft am Innenhebel.

Im Freilauf, wenn sich das Blatt nicht im Wasser befindet und die Dollenkraft nur gering ist, wird zur Bootskraftbildung nur die Stemmbrettkraft berücksichtigt. Technisch hängt dies damit zusammen, dass nicht die Dollenkraft, sondern das Riemenbiegemoment gemessen wird und aus dieser über das Hebelverhältnis die Dollenkraft berechnet wird. Bei einer direkt gemessenen Dollenkraft würde die Reaktionskraft des Ruders mit erfasst. Diese geht bei der Messung des Riemenbiegemoments nicht ein. Im Messboot behilft man sich mit dem „Abfallprodukt“ des Riemenbiegemomentes. Dadurch geht zwar Energie für den Antrieb verloren. Das Biegen des Riemens ist jedoch kaum vermeidbar und somit behilft man sich zur Dollenkraftherrechnung durch das Biegemoment des Riemens. In der Errechnung der Dollenkraft steckt auch noch eine weitere Fehleranfälligkeit. Eine reine Berechnung der Dollenkraft nach den Hebelgesetzen des einseitigen Hebels ist nur dann möglich, wenn sich der Drehpunkt nicht verändert. Im Kapitel Antrieb haben wir allerdings das seitliche Auswandern des Blattes kennen gelernt, ohne dies keine fortschreitende Bewegung möglich wäre. Doch es gibt noch eine weitere Fehlerquelle: Für die Berechnung der Dollenkraft aus Gleichung 3.6.b wird angenommen, dass die Zugkraft des Ruderers am Innenhebel  $F_H$  senkrecht zum Kraftarm wirkt. Durch die biologischen Voraussetzungen des Ruderers ist eine orthogonale Kraftkomponente auf den Riemen jedoch kaum zu ermöglichen und es wirkt somit nur die Teilkomponente  $F_{HN}$  senkrecht zum Riemen. Die parallele Teilkomponente zum Riemen spielt für den Antrieb keine Rolle, ist jedoch im derzeitigen technischen Leitbild kaum zu vermeiden. Diese Fehlerkomponente besitzt jedoch für Gleichung 3.6.a keine Gültigkeit. Hier heben sich die tatsächlich wirkende Zugkraft am Innenhebel und die Stemmbrettkraft auf. Die parallel zum Riemen verlaufende Teilkomponente der Zugkraft übt keine Kraft auf das Stemmbrett aus, sondern nur auf die Dolle.

Hierbei wird die Komplexität einer solchen Erfassung sichtbar: Es spielen so viele Faktoren eine Rolle, eine menschliche Bewegung zu analysieren. Ich möchte jedoch

nochmals darauf hinzuweisen, dass ein solches Messsystem dazu entwickelt wurde, eine objektiv qualitative Aussage über die Zweckmäßigkeit einer Rudertechnik machen zu können. Das bedeutet, eine quantitative Aussage bezüglich der Ruderleistung eines Sportlers wird unter Zuhilfenahme anderer Testverfahren ermittelt. Hierbei soll wirklich nur der Verlauf der Kurve betrachtet werden als vielmehr deren Funktionswerte und somit der Ruderleistung.

### 3.7 Die Videobild-Messwertkopplung (VMK)

Ein weiteres interessantes Messverfahren stellt die Bild-Meßwert-Kopplung dar. Dadurch werden nicht nur Informationen über Mittelwerte und Standardabweichungen über definierte Teststrecken gegeben, wie es bei dem MMS der Fall ist. Bei der VMK lässt sich vielmehr die konkrete Bewegungsausführung direkt durch die Überblendung von Rudervideo und der dazugehörigen Messkurven für jeden Schlag erfassen. Während des Messvorganges wird der Ruderer über eine Videokamera gefilmt. Die Zeitsynchronisation mit dem Messsystem im Boot wird über ein Lichtsignal hergestellt. Die Überblendung wird letztendlich in der von FES dazu entwickelten Software realisiert, welche eine Vielzahl von verschiedenen Darstellungsweisen ermöglicht. So kann der Trainer die wichtigsten Informationen für die Überblendung wählen, um die Auswertung speziell für die Sportler anzupassen und somit ein optimales Feedbacksystem gewährleisten.

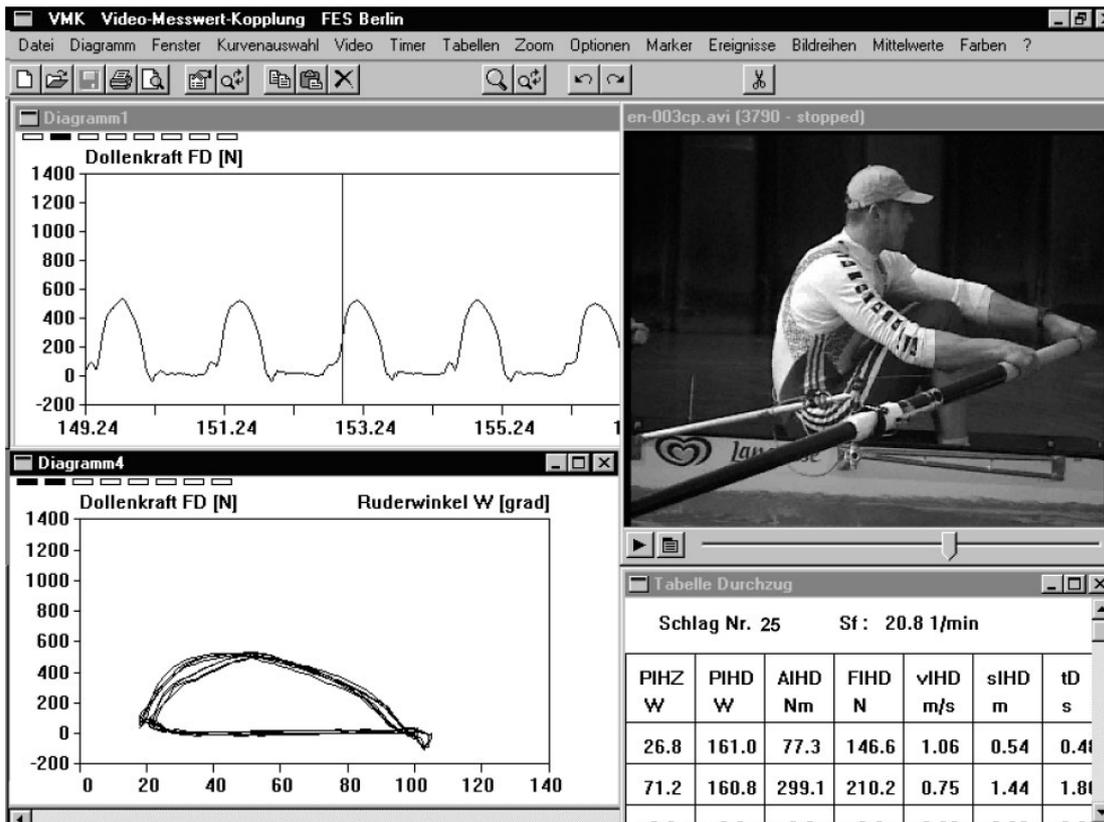


Abbildung 44: Bildschirmfoto VMK

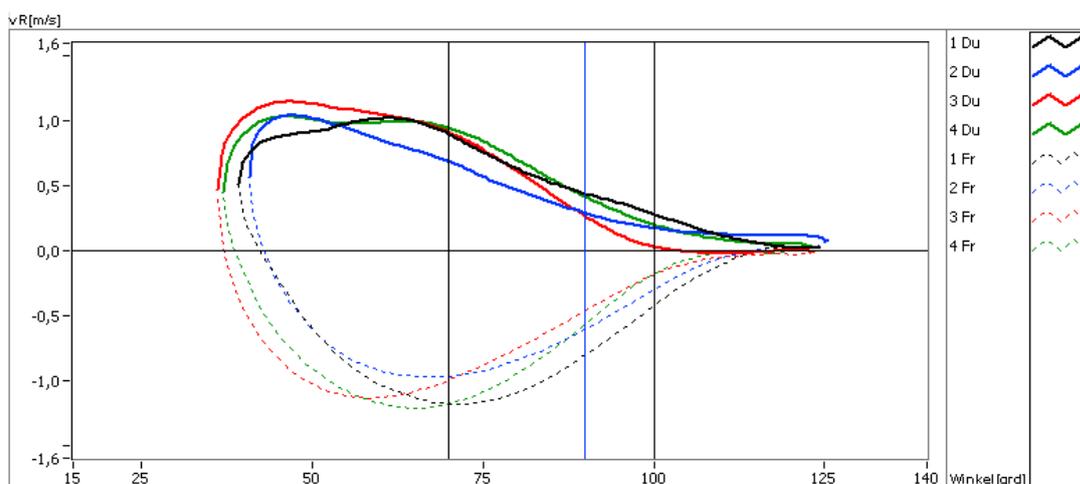
Abbildung 44 zeigt am Beispiel eines Riemenruderers die Analyse des Videos und der Messdaten. Im Diagramm 1 wird der zeitliche Verlauf der Dollenkraft und in Diagramm 4 die Dollenkraft pro Schlag zusammen mit dem Ruderwinkel aufgetragen. Die Daten für diese Kurven ergeben sich aus der Tabelle Durchzug, welche sich fortlaufend mit neuen Daten des Schlags füllt.

### 3.8 Biomechanische Analyse

#### 3.8.1 Rollsitzbewegung

Die Rollsitzbewegung ermöglicht eine objektive Analyse der Beinarbeit. Diese relativ starke Muskelgruppe überträgt, wie bereits im Rudertechnischen Leitbild erläutert, über eine kinematische Kette die Kraft auf das Ruderblatt. Auch in der

Vorroll- und Umkehrbewegung stellt die Rollsitzeigwindigkeit eine wichtige Einflussgröße für den Lauf des Bootes dar. Hierbei muss versucht werden, dass in der Freilaufphase der erzeugte Wasserwiderstand so gering wie möglich gehalten werden muss. In der praktischen Umsetzung gibt es in der Beinarbeit eines eingespielten Ruderteams jedoch häufig deutliche Unterschiede in der Beinarbeit in der Durchzug- und Freilaufphase. Über die Messung des Rollsitzeiges in der Zeit oder über den Ruderwinkel können die Abweichungen im Bewegungsverhalten objektiv erfasst und ausgewertet werden. Die Ursachen der Rollsitzeigbewegung können im Bereich der Sprung- und Kniegelenke klar abgegrenzt und optimiert werden. Neben den Kennlinien des Rollsitzeiges ( $sR$ ) und der Rollsitzeiggeschwindigkeit ( $vR$ ) über die Zeit sowie über den Ruderwinkel werden eine Reihe weiterer Kennwerte ausgewertet. Diese sind der absolute Rollsitzeig ( $sR$ ), der wirksame Rollsitzeig ( $sRD$ ), der Rollsitzeigverlust ( $dsR$ ), die Rollsitzeige in Vorder- ( $sRV$ ) und Mittelzug ( $sRM$ ) sowie Mittelwerte und Extreme der Rollsitzeiggeschwindigkeiten.



**Abbildung 45: Rollsitzeiggeschwindigkeitsverlauf über den Ruderwinkel im Vierer bei einer Schlagzahl von 32 Schlägen pro Minute**

In der obigen Grafik wurde der Rollsitzeiggeschwindigkeitsverlauf auf y-Richtung über den Ruderwinkel in x-Richtung in einem Senior Frauen Vierer ohne Stm. aufgetragen. Die Kurven stammen aus einer Belastung mit einer vorgegebenen Schlagzahl von 32 Schlägen pro Minute.

Geringe Ruderwinkel bedeuten eine weite Vorlage und kennzeichnen den Beginn des Ruderschlages. Während des Durchzuges vergrößert sich der Winkel und erreicht in der Rückenlage den maximalen Wert. Der gestrichelte Kurvenverlauf zeigt die Rollsitze Geschwindigkeit über den Winkel in der Freilaufphase, also beim Vorrollen. Hierbei entsteht eine negative Geschwindigkeit aufgrund der entgegengesetzten Rollrichtung.

<u>Messung</u>	<u>sR</u>	<u>sRD</u>	<u>dsR</u>
Einheit	m	m	m
1	0,54	0,46	0,08
2	0,47	0,37	0,1
3	0,53	0,46	0,07
4	0,54	0,46	0,08

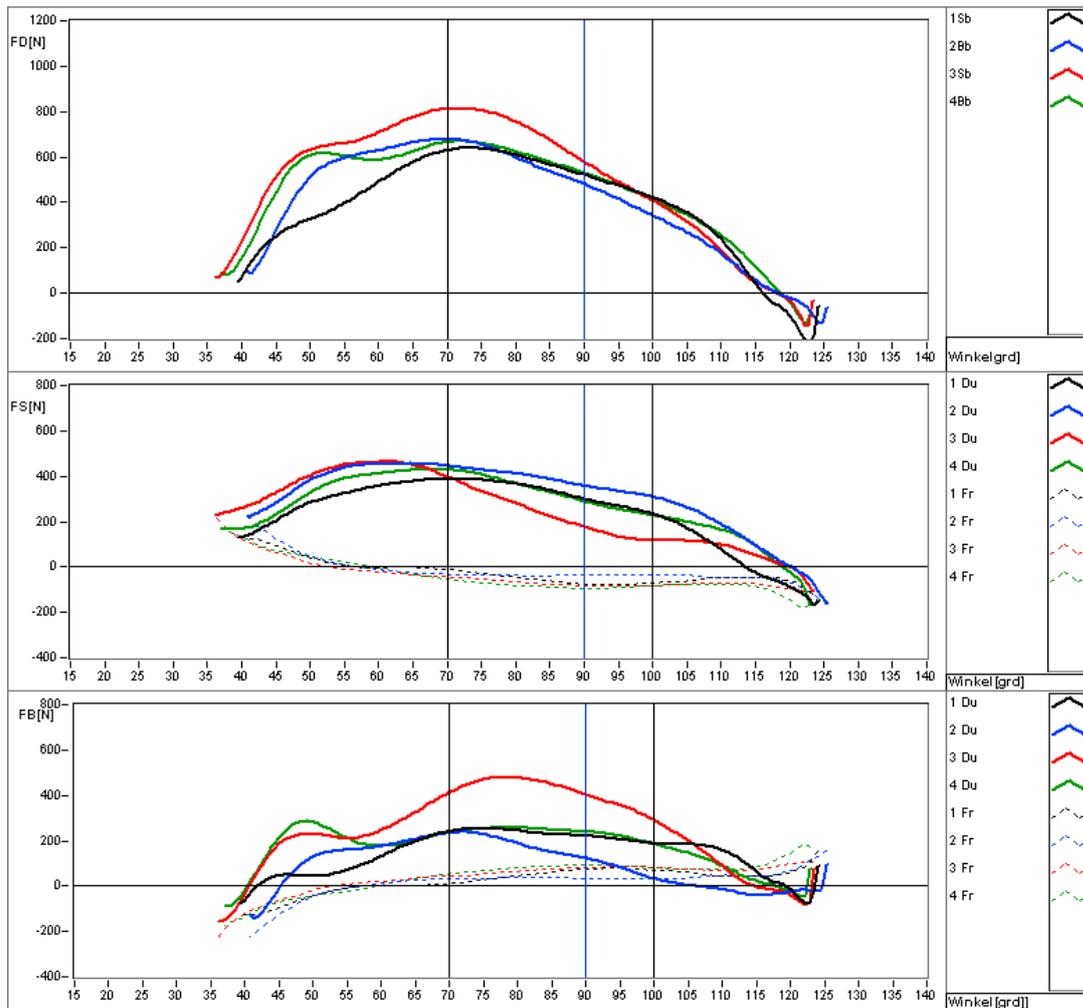
Die nebenstehende Tabelle liefert die durchschnittliche Rollweglänge (sR), der wirksame Rollweg (sRD) und der Verlustrollweg (dsR) in Meter von der vorausgegangenen Belastung mit 32 Schlägen pro Minute.

Der wirksame Rollweg gibt Aufschluss über die Effektivität der Beinarbeit und somit über die Zweckmäßigkeit der Rudertechnik. Hierbei wird nur der Rollsitze Weg gemessen, welcher tatsächlich für die Innenhebelarbeit verantwortlich ist. D.h. es wird nur der wirksame Rollsitze Weg (sRD) gemessen, bei dem sich die Blätter vollständig im Wasser befinden. Einen Verlustrollweg (dsR) ist aufgrund biomechanischer Begebenheiten des menschlichen Körpers nicht zu vermeiden. Der Verlustrollweg verringert sich jedoch mit steigender rudertechnischer Leistungsfähigkeit und reicht bei Spitzenrudern bis an die 3cm Marke heran.

### 3.8.2 Bootskräfte an Stemmbrett und Dolle

Für einen effektiven Ruderschlag ist neben der Rollsitze Arbeit der Kraftverlauf von entscheidender Bedeutung. Nur ein harmonisches Zusammenspiel der verschiedenen Teilkraft am Stemmbrett und der Dolle zwischen den Rudern im Boot kann ein Boot schnell machen. Die ausgeübten Kräfte der Rudern auf das Boot müssen sowohl betragsmäßig, als auch qualitativ übereinstimmen, um diese optimal in

Vortrieb umwandeln zu können. Die Dollenkraft  $F_D$  und Stembrettkraft  $F_S$  sollten zu gleichen Zeitpunkten ansteigen. Der Bootslauf hemmende Druck auf das Stembrett ist war für ein Ruderschlag unvermeidbar, darf aber erst geschehen, wenn sich die Blätter im Wasser befinden und somit ein Dollendruck aufgebaut werden kann. Hieran ist eng der Verlustrollsweg ( $ds_R$ ) gekoppelt, welcher im Zusammenhang mit  $F_D$  und  $F_S$  steht.



**Abbildung 46: Stembrettkraft ( $F_S$ ), Dollenkraft ( $F_D$ ) und Bootskraft ( $F_B$ ) über den Ruderwinkel im Vierer bei einer Schlagzahl von 32 Schlägen pro Minute**

### 3.8.3 Messergebnisanalyse

Aus der Abbildung 45 ist nicht schwer zu erkennen, dass sich die Rollsitzeigenschaften der Ruderer sich zum Teil erheblich unterscheiden.

Der Ruderer auf Position 3 mit der roten Kurve rollt im Vorderzug mit einer relativ hohen Rollsitzeigenschaft von über 1m/sek. Hier setzt der Athlet die kräftigen Beinstrecker ohne Verzug akzentuiert im Vorderzug in die Ruderbewegung ein. Gleichzeitig beginnt der Ruderer seinen Durchzug auch schon in einem relativ weiten Vorlagewinkel, beendet jedoch seine Rollarbeit schon kurz nach durchlaufen der Mittelstellung von 90°, während die restlichen Ruderer noch lange nicht mit der Beinarbeit beendet haben. Der Blick auf die obige Tabelle verrät einen absoluten Rollsitzeigenschaftsweg von 0,53m pro Schlag und somit im Vergleich mit Position 1 (schwarz) und 4 (grün) um 0,01m weniger. Der Ruderer überträgt große Kräfte innerhalb kürzester Zeit auf das Stembrett, welches die Einheit der Mannschaft zerstört. Hierzu ist es interessant, den Kraftverlauf aus Kapitel 3.6.2 anzuschauen. Die Abbildung 46 wurde von der gleichen Mannschaft unter gleichem Belastungszeitraum aufgezeichnet. Wie vermutet liegt die rote Kraftkurve am höchsten und entfaltet im Bereich von 70-75° die größte Kraft an der Dolle. Die kaum noch vorhandene Rollsitzeigenschaft im Bereich um 100° lässt auf einen frühzeitigen beendeten Beinstoß im Vergleich zu den anderen Crewmitgliedern schließen. Die hohe Durchzugsgeschwindigkeit im Vorderzug ist somit für Ruderer 3 signifikant und müsste der Mannschaft angepasst werden. Die frühzeitig beendete Rollarbeit wirkt sich jedoch positiv auf die Bootskraft aus: Es wirkt verhältnismäßig wenig Kraft auf das Stembrett und somit ist die resultierende Bootskraft bei dem Ruderer auf Position 3 (rot) gerade im Mittel- und Endzug sehr hoch. Der Ruderer zeichnet sich somit durch eine große Rudereffektivität aus, welches jedoch mit der frühzeitig beendeten Rollarbeit zusammenhängt. Eine der Verbesserungsmöglichkeiten wäre eine länger anhaltende Rollarbeit, welche die Schlagweite ebenfalls erhöhen würde und somit die Verlängerung des Blattweges im Wasser einhergeht.

Solche Unsymmetrien in den Kraft- und Rollsitzeverläufe muss die Mannschaft versuchen besser zu kompensieren. Nur eine einheitlich und synchron rudende Mannschaft kann auch eine erfolgreiche Mannschaft werden.

Der Bugrunderer auf Position 1 (schwarz) besitzt im Vorderzug eine sehr geringe Rollsitze- und Rollgeschwindigkeit und überträgt im Winkelbereich von 40-65° kaum Kraft auf die Rolle. Dies lässt auf eine schlecht entwickelte Beinmuskulatur schließen, welche bei diesem Ruderer noch zu verbessern wäre. Eine geringere Kraftleistung des Ruderers muss jedoch nicht immer gezwungenermaßen an der Person liegen. Es gibt auch die Möglichkeit durch Trimmen am Boot z.B. an der Stemmbretteinstellung einen verbesserten Beinstoß zu erreichen. Nicht das Erkennen von Fehlern, sondern das Beseitigen von Fehlern stellt eine große Herausforderung an Trainer Ruderer und Mannschaft dar.

Bei Ruderer Nummer 2 (blau) ist der besonders geringe Rollsitze- und Rollweg auffällig. Hinzu kommt nochmals ein großer Verlustweg am Rollsitze. Der wirksame Rollsitze- und Rollweg (SrD) ist um 10cm kleiner als der absolute. Dieser Fehler tritt häufig durch spätes Wassersetzen ein. Der Ruderer auf Nummer 2 rollt bereits an, bevor das Ruderblatt richtig ins Wasser getaucht wurde. Somit errechnet sich ein Verlustweg von 10 cm (durchschnittlich). Der Ruderer muss also bemüht sein, schnell sein Blatt in der Auslage ins Wasser zu setzen und seinen Durchzugweg durch weites Strecken in die Vorlage zu verlängern.

Die Rollkraftkurve bei dem Schlagmann auf Position 4 (grün) zeigt im Vorderzug zwar eine steil ansteigende Kraftentwicklung, welche allerdings um 60° Rollwinkel in ein Tal abfällt und kurz danach wieder ansteigt. Hier liegt eine mangelnde Kopplung der Teilkörperkräfte vor. Es scheint, dass in diesem Rollbereich die Kraftübertragung durch die kinematische Kette nachlässt. Hier muss nun der Trainer äußerliche Auffälligkeiten in der Ruderbewegung durch eine eventuelle Videoanalyse erkennen und versuchen, diese mit dem Ruderer gemeinsam

diese zu beheben. Eine Videobild-Messwertkopplung mit der Dollenkraft wäre hierbei angebracht und würde die Analyse erleichtern.

#### **4. Ausblick**

Die Analyse der Messdaten verdeutlicht bereits die Schwierigkeit einer Technikverbesserung der Ruderer. Der Ruderer als solcher muss im Ganzen, bzw. in seiner Gesamtheit betrachtet werden und dazu sind mehrere und unterschiedliche Analysen notwendig. Einen Fehler zu erkennen ist nur ein kleiner Teil zur Technikverbesserung. Es muss vielmehr nach den Gründen geforscht werden. Ein Technikproblem kann z.B. sowohl von äußeren Einflüssen wie Wind, Wellen und ein falscher Bootstrimm verursacht werden als auch vom Eigenverschulden des Ruderers durch Unkonzentriertheit, Überforderung, Ermüdung, fehlende Feinkoordination oder mangelnde konditionelle Ausbildung der Person. Der Trainer erhält durch Messbootfahren eine optimale Voraussetzung zur Technikschiulung, aber sie stößt auch schnell an ihre Grenzen. Es muss somit immer noch Aufgabe des Trainers, den (Gesamt)Bewegungsablauf des Ruderers zu genau beobachten, diesen mit dem Soll und Ist Zustand zu vergleichen und gegebenenfalls eine Anweisung zur Technikverbesserung zu geben.

Die immer größer werdenden Anforderungen an Leistungssportlern und die immer wieder mit der Zeit fortschreitenden technischen Verbesserungen am Material, machen eine immer weiter differenziertere Betrachtungsweise der Rudertechnik unerlässlich. Das Messbootverfahren wird nach meiner Meinung, eine immer größere Verbreitung finden und ganz langsam in den Vereinen einziehen. Bisher war diese Technik nur den Verbänden und deren Nationalruderern vorbehalten. Doch dieses Novum in der Ruderentwicklung ist nicht mehr aufzuhalten und wird den Fortschritt im Rudergeschehen um weitere Meilensteine vorantreiben.

Volker Nolte, einer der bedeutendsten Rudertrainer und Bewegungswissenschaftlern erkannte schon damals:

”

Der Sport ist ein Teil unseres gesellschaftlichen Lebens und soll dieses auch widerspiegeln. Den Fortschritt aufzuhalten, die Technik zu verneinen und die Leistung einzugrenzen ist der Schritt in die falsche Richtung. (Rudersport 28, 1983)

“

Neue Innovationen sind für den Rudersport genau so unerlässlich wie die unserer fortschreitenden Gesellschaft. Die Messbootanalyse eröffnet dem Rudersport neue Möglichkeiten und Potentiale und sollte für jeden Ruderer frei zugänglich werden. Die Zukunft im Rudersport bleibt somit spannungsvoll.

Für Athen laufen die Vorbereitungen zu den Olympischen Spielen auf Hochtouren und damit auch die weiteren Forschungen nach Möglichkeiten der Leistungsverbesserung, sowohl bei den Sportlern, als auch beim Material.

Ich zumindest, werde den neuen Entwicklungen voller Erwartungen entgegenblicken und hoffe mit dieser Facharbeit einen kleinen Einblick, in die Veränderungen, dem Status quo und der möglichen Zukunft des Rudersports, gegeben zu haben.

## Literaturverzeichnis

- [He74] Gerhard Beyer/ Dr. Dieter Harre/ Dr. Ernst Herberger/ Hans Otto Krüger/ Dr. Hans Querg/ Gerhard Sieler/ Dr. Ernst Herberger(Gesamtredaktion): *Rudern*. Sportverlag, Berlin 1974
- [SC78] Walter Schröder: *Rudern. Training, Technik, Taktik*: Rowohlt Taschenbuch Verlag GmbH, Reinbeck bei Hamburg, 1978
- [ALNRS77] Karl Adam/ Hans Lenk/ Paul Nowacki/ Manfred Rulffs/ Walter Schröder: *Rudertraining*. Limpert Verlag GmbH, Bad Homburg 1977.
- [Fr90] Dr. Wolfgang Fritsch: *Handbuch für das Rennrudern. Planung – Training – Leistung*. Meyer & Meyer Verlag, Aachen 1990.
- [Fr03] Dr. Wolfgang Fritsch(Hrsg.): *Rudern. Erfahren – erkunden – erforschen*. Wirth-Verlag (Sport Media), Gießen 2003
- [Ru02] Rudersport: Das Rudertechnische Leitbild des Deutschen Ruderverbandes. Limpert Verlag GmbH, Wiebelsheim 2002
- [GrKr98] J. Grehn/ J. Krause(Hrsg.): Metzler Physik. Schroedel Verlag GmbH, Hannover 1998
- <http://home.hccnet.nl/m.holst/RoeiWeb.html>, 24.03.04
- <http://filebox.vt.edu/eng/mech/tidwell/me4016/final.html>, 24.03.04
- <http://www.phys.washington.edu/~wilkes/post/temp/phys208/>, 24.03.04
- <http://www.av8n.com/how/htm/airfoils.html>, 24.03.04

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Foto von Harald Czerwenski über unsere Rudergruppe

Abbildung 2: [ALNRS77, S.20]

Abbildung 3: Darstellung nach Daten von  
<http://www.ndr.de/sydney2000/sportarten/geschichte/db.phtml>

Abbildung 4: <http://rr-tms.org/physics/goei7.gif>, 25.03.04

Abbildung 5: [He74, S.20]

Abbildung 6: <http://www.astrosail.de/stab1.htm>, 25.03.04

Abbildung 7: <http://rr-tms.org/physics/fri4.gif>, 25.03.04

Abbildung 8: <http://rr-tms.org/physics/dfs3.gif>, 25.03.04

Abbildung 9: [http://www.atm.ox.ac.uk/rowing/physics/basics\\_62.gif](http://www.atm.ox.ac.uk/rowing/physics/basics_62.gif), 25.03.04

Abbildung 10: <http://www.btinternet.com/~furnivall.sc/fscbfig3.gif>, 25.03.04

Abbildung 11: Erstellt von Sascha Adrian

Abbildung 12: [He74, S.26]

Abbildung 13: [He74, S.27]

Abbildung 14: <http://filebox.vt.edu/eng/mech/tidwell/me4016/images/velocity.gif>,  
25.03.04

Abbildung 15: RK Möve

Abbildung 16: [He74, S.29]

Abbildung 17: [ALNRS77, S.166]

Abbildung 18: [He74, S.30] Abgeändert durch Sascha Adrian

Abbildung 19: RK Möve

Abbildung 20: Erstellt von Sascha Adrian

Abbildung 21:  
<http://www.phys.washington.edu/~wilkes/post/temp/phys208/images/dreiss2.mark.gif>

Abbildung 22: [http://home.hccnet.nl/m.holst/LiftDrag\\_files/image001.gif](http://home.hccnet.nl/m.holst/LiftDrag_files/image001.gif), Abgeändert  
durch Sascha Adrian

Abbildung 23: RK Möve

Abbildung 24: <http://www.concept2.com/media/op1e240.gif>, 25.03.04

Abbildung 25: <http://www.concept2.com/media/op2e240.gif>, 25.03.04

Abbildung 26: <http://www.concept2.com/media/op3d240.gif>, 25.03.04

Abbildung 27: <http://www.concept2.com/media/op4e240.gif>, 25.03.04

Abbildung 28: <http://www.concept2.com/media/s30.gif>, 25.03.04

Abbildung 29: <http://www.concept2.com/media/ef05.gif>, 25.03.04

Abbildung 30: <http://www.sportunterricht.de/lksport/mofae.gif>, 25.03.04

Abbildung 31: <http://www.ruderverein-austria.regionet.at/Ruderlektueren/Ruderleitbild.pdf>, 25.03.04

Abbildung 32: <http://www.rudertechnik.de/images/handfuehrung-durchzug.jpg> ,  
25.03.04

Abbildung 33: <http://rr-tms.org/physics/gfd6.gif>, 25.03.04

Abbildung 34: [Ru02, S.6]

Abbildung 35: [Ru02, S.7]

Abbildung 36: <http://www.ruderverein-austria.regionet.at/Ruderlektueren/Ruderleitbild.pdf>, 25.03.04

Abbildung 37: [Ru02, S.7]

Abbildung 38: [Ru02, S.7]

Abbildung 39: [Ru02, S.7]

Abbildung 40: [Ru02, S.7]

Abbildung 41: [Ru02, S.7]

Abbildung 42: [Ru02, S.7]

Abbildung 43: <http://www.rowing-technique.com/Rostock.pdf>, Abgeändert durch  
Sascha Adrian

Abbildung 44: Klaus Mattes - Ruderleistung und Rudertechnik in den Hauptphasen  
des Ruderrennens 3-8265-9457-6\_DOK.PDF

Abbildung 45: Messbootanalyse Uwe Bender

Abbildung 46: Messbootanalyse Uwe Bender