

# **Bewegungslehre und biomechanische Aspekte des alpinen Skilaufs**

Bei genauer Betrachtung der Bewegungsvollzüge kommt man schnell zu der Einsicht, dass am Steuerprozeß des Systems Skiläufer/Ausrüstung (Schuh/Bindung-Platte/Ski/Stock) nicht nur körperbezogene Maßnahmen alleine beteiligt sind, sondern eine fließende Mischung aus **dynamischen Mitteln der Schwungausführung** (Steuermechanismen des Körpers) und **mechanischen Mitteln der Schwungausführung** (Steuermechanismen, welche sich aus der Funktion der Ausrüstung u. deren Wechselwirkung mit der Piste ergeben), stattfindet. Die Bewegungen und Haltungen des Skiläufers während des Skifahrens werden natürlich nicht nur durch dynamisches und mechanisches Steuerverhalten verursacht, sondern auch durch die Beschaffenheit der Pistenoberfläche, die Steilheit der Piste, durch wechselnde Geländeformen und die Fahrgeschwindigkeit beeinflusst. Ständig sich ändernde Variablen der Umwelt erfordern ein reaktives Verhalten des Skiläufers, ein ständiges Anpassen an neue Situationen, die nur bedingt vorhersehbar sind. Diese Tatsache macht aber auch ganz wesentlich den Reiz der Sportart alpiner Skilauf und die Herausforderung darin aus. Bewegungserfahrung hat hierbei einen sehr großen Anteil am Gelingen der Schwünge. Skifahren heißt gleiten, bestimmte Haltungen oder Bewegungsabläufe in ein **gleitendes System** einzubringen, das aus Skifahrer und Ausrüstung besteht. Skiläufer und Ausrüstung sind also eine untrennbare Einheit in Verbindung mit der direkten Umwelt. Die Haltungen und Bewegungen des Skiläufers müssen räumlich und zeitlich so abgestimmt sein, dass sie das System Skiläufer-Ski in seiner Gesamtheit dorthin dirigieren, wo der Skiläufer hin will. Dieses Dirigieren (Steuern) ist relativ einfach bei Geradeausfahrt und wird schon schwieriger zu verstehen bei der Kurvenfahrt des Skiläufers.

### **Mechanische Mittel zur Schwungausführung**

Mechanische Mittel der Schwungausführung umfassen diejenigen Hilfen oder Vorzüge der Ausrüstung, die einen entscheidenden Einfluss auf präzises Steuern haben. Mit Ausrüstung ist hier primär der Ski selbst gemeint, der natürlich über verschiedene Systeme (Platte, Bindung, Schuh) mit dem Skifahrer verbunden ist, sekundär auch der Skistock. Der Einfluss der Skier auf das Steuern wird durch einige typische Konstruktionsmerkmale bedingt:

#### **Die Skilänge:**

Lange Ski sind richtungsstabil, deshalb waren noch vor wenigen Jahren Herrenabfahrtsski im Rennsport 2,20 m und länger, sie waren jedoch schwer zu drehen. Kurze Ski sind beim Schussfahren mit höherem Tempo instabil um die Mittelachse, lassen sich jedoch leicht in die Kurve drehen und weiterdrehen. Diese Tatsache hängt mit der Massenträgheit der Skier und mit den notwendigen Momenten zusammen, die für eine Drehung der Skier um die Mittelachse erforderlich sind.

In dieser einfachen Tatsache liegt für viele frischgebackene „Carver“ auch ein Teil des neuen „Feelings“ begründet. Kürzere Ski lassen auch engere Taillierungsradien zu als längere Ski.

### Die Seitengeometrie:

Durch die Taillierung der Ski im Bereich der Skimitte erhält der Ski zugleich Stabilität und Drehmöglichkeit: flach geführte Skier werden über die zwei ausschweifenden Skienden richtungsstabil geführt. Werden beide Skier in Fahrtrichtung nach links aufgekantet, leitet die Taillierung eine Kurvenfahrt nach links ein, bei Aufkanten nach rechts erfolgt eine Einlenkung in die entgegengesetzte Richtung, nach rechts. Treibende Kraft für die Ablenkung von der geraden Fortbewegungsbahn ist dabei das Ungleichgewicht der Momente im Augenblick des Aufkantens. Bei gleicher Taillierung ziehen größere Aufkantwinkel engere Kurvenradien nach sich. Neuester Trend sind verschiedene Taillierungsradien für Innen- und Außenkante eines Skis.

### Elastizität der Skier in Richtung ihrer Längsachse:

Die durch Aufkanten eingeleitete Kurve kann über ein dosiertes Verteilen der Kräftemomente in Skilängsrichtung weitergesteuert werden. Natürlich gehört eine Schwerpunktverschiebung in die Maßnahmen der Körperdynamik. Die Elastizität („Steifigkeit“) der Skier ist in diesem Zusammenhang jedoch entscheidend. Erfahrene Skiläufer wissen aus der Praxis, dass ein „weicher“ Ski viel leichter zu drehen ist als ein „steifer“. Rennläufer spielen mit dieser Feinsteuerung der Kurven zwischen den Toren. Auch beim Carving kommt diesem Umstand vermehrte Bedeutung zu- nur so kann ein Gleiten auf den Kanten durch die Kurve zustande kommen.

### Einzugswinkel Beta an der Skispitze:

Nach der breitesten Stelle  $b_v$  des Skis an seiner Spitze verjüngt sich die Skitailierung nach hinten bis zur schmalsten Stelle  $b_m$  im Bereich der Skimitte. Diesen Einzugswinkel nennt man auch den „Verjüngungswinkel Beta“. Dieser Einzugswinkel ist dafür verantwortlich, wie weit ein Ski in Schussfahrt aus der geraden Richtung gedreht und wieder zurückgedreht werden kann, ohne zu verkanten. Hierbei sind Ski mit einem großen Einzug toleranter als weniger taillierte Ski. Zu beachten ist jedoch, dass nach verkanten mit starker Taillierung eine Korrektur zurück nur mehr schwer möglich ist und viel Erfahrung des Skiläufers erfordert.

### Standhöhe über der Piste:

Die Standhöhe ändert sich mit Unterlageplatten und modernen Skischuhen. Mit den erwähnten neuen Bindungssystemen und Erhöhungsplatten ist ein größerer Abstand zur Piste gegeben. Erhöhter Stand über der Piste erlaubt größere Aufkantwinkel, der Schuh kommt später auf den Schnee. Dies ermöglicht einerseits engere Kurvenradien bei gleicher Geschwindigkeit, andererseits werden im Rennlauf die Schuss-Strecken zwischen den Richtungsänderungen länger und dies ergibt in der Regel schnellere Endzeiten.

## Dynamische Mittel zur Schwungausführung

Unter dynamischen Mitteln der Schwungausführung kann man alle Bewegungsvollzüge des Skiläufers selbst zusammenfassen- also die „klassische“ Bewegungslehre. Diese Bewegungsabläufe werden vorzugsweise in den verschiedenen Skilehrplänen der Länder beschrieben. Die von außen beobachtbaren Steuerungsmaßnahmen lassen sich vereinfacht auf folgende Tätigkeiten reduzieren:

- ✚ **Gleichgewicht halten / Gleiten (in Schussfahrt, Schrägfahrt, Kurvenfahrt)**
- ✚ **Drehen (Entlasten)**
- ✚ **Steuern / Kanten (Belasten)**

Eine Fülle von Bewegungen und Haltungen in alle Richtungen des Raumes („vor-rück“, „hoch-tief“, „links-rechts“) sind zur Erfüllung dieses Zieles der dynamischen Bewegungssteuerung notwendig. Dabei interessiert natürlich, welche Kräfte den Skiläufer vorwärts treiben.

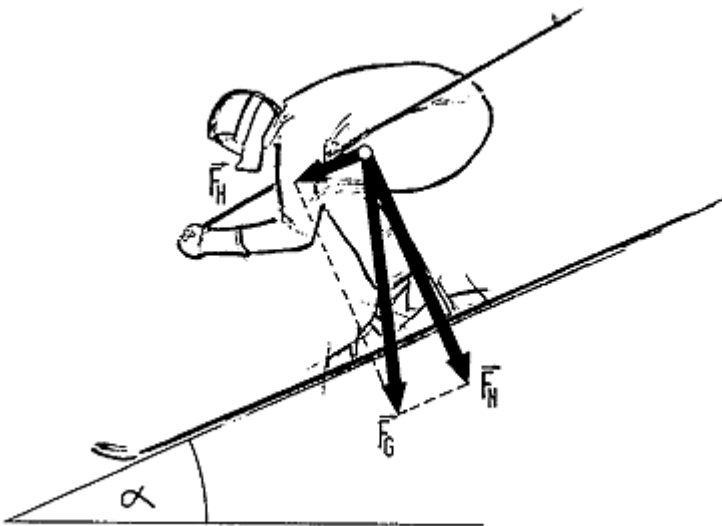


Abb. 1: Das Kräftesystem in der Schussfahrt (Falllinie) (Quelle: FETZ/MÜLLER, Biomechanik Band 2, 7)

### Kräfte bei Schussfahrt (Gewichtskraft)

Treibende Kraft für einen Skiläufer in Schussfahrt ist die Schwerkraft (Gewichtskraft  $F_G$ ), die in Form einer hangparallelen Kraftkomponente  $F_H$  und einer hangnormalen Komponente  $F_N$  (im rechten Winkel zur Unterstützungsfläche), auftritt. Die Größe beider Kräfte steht in direktem Zusammenhang mit der Hangneigung (Neigungswinkel  $\alpha$ ). Je größer der Hangneigungswinkel, desto größer die Hangabtriebskraft und umso kleiner wird die Normalkraft.

$$F_H = F_G \cdot \sin \alpha$$

$$F_N = F_G \cdot \cos \alpha$$

Einer ungebremsen Fortbewegung stellen sich Reibungskräfte entgegen, so etwa der Luftwiderstand oder Gleitreibungskräfte:

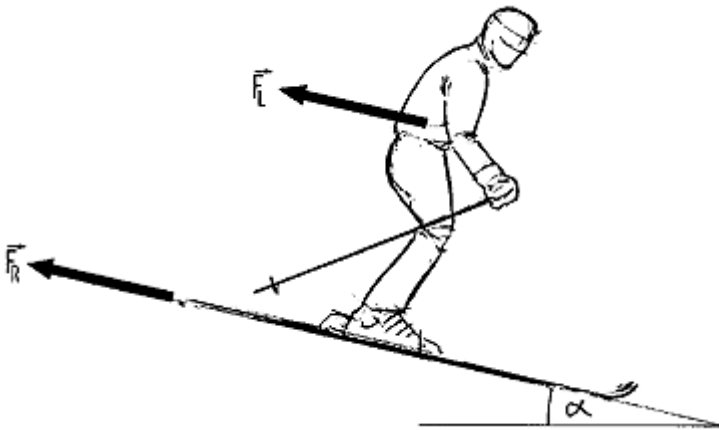


Abb. 2: Bremskräfte während der Schussfahrt:  $F_R$  Gleitreibungskraft,  $F_L$  Luftwiderstandskraft

### **Gleichgewicht halten / Gleiten (Schussfahrt, Schrägfahrt, Kurvenfahrt)**

Grundvoraussetzung hierzu ist eine bewegungsbereite Körperhaltung mit gebeugten "Skigelenken", nämlich Sprung-, Knie- und Hüftgelenk. Diese sind in Anpassung an Gelände und Tempo mehr oder weniger gebeugt. Balancieren ist die Grundfertigkeit und steht vor den anderen dynamischen Schwungmechanismen, es überlagert alle Tätigkeiten des Skiläufers. Der Körper pendelt in ständiger Anpassung an wechselndes Gelände. Obwohl das Gleichgewicht halten eine autonome Grundfertigkeit des Menschen darstellt (also automatisch funktioniert), wird erst nach Störmechanismen deutlich, dass es einigen Aufwand braucht, um auf einen so komplexen Einfluss wie z. B. die Veränderung der Geschwindigkeit rasch und richtig zu reagieren. Später, mit mehr Bewegungserfahrung, kommt der Automatismus zurück und drückt diese Grundtätigkeit auch beim Skilaufen wieder in das Unterbewusstsein, in die Reflexzonen abwärts des Kleinhirnes. Der ganze Körper ist über die kurze Fußsohle mit der Ausrüstung verbunden. Sohlendruck und satter Kontakt mit dem Fußbett des Skischuhes sind daher sehr wichtig. Hier greifen die Kräfte konzentriert an: wechselnde Gleitreibung, Stöße von vorne und von der Seite, Luftwiderstand und Drehmomente. Richtige Positionierung des Körpers über den Skiern und eine große Unterstützungsfläche helfen beim Balancieren. Armhaltung vor dem Körper mit den Skistöcken als zusätzliche Hilfe erleichtern das Gleichgewicht halten. Muskelspindeln, Sehnenorgane und Druckrezeptoren gleichen die Daten gegeneinander ab und bringen den Körper in Sekundenbruchteilen in die richtige Position. Gleiten wird genussvolles Erleben als fixer Bestandteil des Skilaufens in allen Fahrsituationen.

### **Drehen (Entlasten)**

Bei einer Richtungsänderung folgt das Skiläufer-Ski-System einer Bogenbahn. Je nach dem Radius dieser Kurve müssen die Skier langsamer oder schneller in die neue Richtung gedreht werden. Nach Beherrschen des Gleitens ist das Drehen der Skier das Hauptproblem für den Lernenden. Das erste Drehen geschieht im methodischen Aufbau als Schwung zum Hang ohne Kantenwechsel. Es dient dem Erfühlen des Wechselspieles der inneren und äußeren Kräfte. Drehen der Skier mit Überfahren der Fall-Linie heißt immer Umkanten.

Zentrale Rolle für das Gelingen des Drehens nimmt der Vorgang des Belastungswechsels ein. Hilfestellung bieten Entlastungsbewegungen. Einfachste Möglichkeit für eine Entlastung der Skier ist eine deutliche Hochbewegung, an deren Umkehrpunkt eine kurze Entlastung der Skier zur Ausführung der Umkantbewegung genützt werden kann.

Drehen der Skier erfolgt zunächst in Abhängigkeit vom Schwungradradius. Bei langem bis mittellangem Radius erfolgt die Drehung nach dem Flachstellen der Skier (Umkanten) durch ein langsames Schwungeinwärtsdrehen der Beine (Oberschenkel) aus der Hüfte. Müssen die Ski schnell gedreht werden (Kurzschwinger, steiles Gelände), werden sie mehr aus den Knien und Unterschenkeln bewusst gegen den Oberkörper als Gegenmasse gedreht. Für eine großräumige Pendelbewegung des ganzen Körpers bleibt hier keine Zeit.

Der Stockeinsatz ist eine Drehhilfe. Als einseitiger Kraftstoß liefert er einen Drehimpuls, der für die Richtungsänderung ausgenützt werden kann. Außerdem vergrößert er in einer kritischen Gleichgewichtsphase die Unterstützungsfläche. Nach Steilheit des Geländes, Tempo und Rhythmus der Schwungfolge wird der Stockeinsatz unterschiedlich platziert (mehr Richtung Skispitze oder neben dem Schuh). Mit zunehmendem Tempo verliert der Stockeinsatz als Drehhilfe an Bedeutung. Im Rennlauf werden bei hohen Geschwindigkeiten keine Stockeinsätze mehr gemacht.

Drehen kann auch durch zeitversetztes Andrehen der Skier erfolgen (Umsteigbewegungen). Drehen der Skier nacheinander verringert den Drehwiderstand, benötigt jedoch mehr Zeit. Umsteigbewegungen verkürzen den Kurvenradius, Carvingskier lenken auch ohne Steigbewegungen willig über die Falllinie. Der Drehabstoß von einem gekanteten Ski erfordert viel Kraft in einem Bein. Die moderne Fahrweise tendiert zum Fahren auf zwei Skiern, welches im methodischen Weg auch von Beginn an gefördert wird.

Moderne Carverski erleichtern das Drehen durch ihre Eigenschaft des Eigenlenkverhaltens. Wegen ihrer Taillierung und geringen Skilänge können sie leicht und nahezu ohne Hochbewegung umgekantet werden. Dieses Umkanten wird vom geübten Skiläufer durch ein Schwungeinwärtskippen des ganzen Körpers erzielt. Die Kunst bei dieser Fahrweise ist, nach dem Einlenken den Kontakt zum steuernden Außenski nicht zu verlieren.

### **Steuern / Kanten (Belasten)**

Der Steuervorgang beginnt nach dem Kantenwechsel, wenn die Ski in die vorgesehene Richtung steuern. Mit zunehmender Ablenkung aus der Fall-Linie erhöhen sich die Fliehkräfte, diese werden durch Kurvenlage ausgeglichen. Das Schneiden der Schwünge wird immer schwieriger. Schneiden heißt Gleiten auf den Kanten in Kurvenfahrt, die Bahn des Skiendes folgt jener der Skispitze. Ein Ausscheren des Skiendes bedeutet rutschen oder driften, das Skiende fährt eine längere Kurvenbahn als die Skispitze. Präzises Schneiden erhöht die Sicherheit durch genaues Lenken. Die Aufkantbewegung wird aus Knie- und Hüftgelenk reguliert, der Oberkörper gleicht aus. Ein richtiges alpines Grundverhalten ist unverzichtbar für gutes Schneiden! Der Außenski ist leichter zu lenken, deshalb übernimmt er die Hauptrolle der Skiführung in der Endphase des Schwunges. Geübte und Rennläufer schneiden mit der Innenkante des Innenskis mit, sie kantet effektiver. Dies braucht jedoch viel Erfahrung, der Innenski verkantet (verschneidet) leicht.

In der Phase des Größten Druckes ist richtiges **Alpines Grundverhalten** notwendig.

#### **Alpines Grundverhalten:**

- ✚ Die imaginären Achsen durch Sprung-, Knie- Hüft- und Schultergelenke sind zueinander annähernd parallel
- ✚ Hüfte und Knie sind schwungeinwärts gebeugt
- ✚ Der Oberkörper ist nach Vorne und talseitig gebeugt
- ✚ Der Außenski ist mehr belastet.
- ✚ Die Arme werden leicht gebeugt, seitlich und vor dem Körper geführt



Abb. 3: Alpines Grundverhalten

Die klassische Einteilung der Körperdynamik in **Gleiten**, **Drehen** und **Kanten** kommt durch die Weiterentwicklung der Ausrüstung in eine neue Ordnung. Die Trennung dieser Tätigkeiten kann in dem Maße nicht mehr so deutlich nachvollzogen werden, in dem die Ski mehr tauglich für geschnittene Kurven werden. Das "**Schwingen**" im herkömmlichen Sinn (mit viel Körperdynamik) tritt dadurch in den Hintergrund, das "**Schneiden**" (die Ausrüstungsmechanik) gewinnt an Bedeutung, hat mehr Anteil am raumzeitlichen Gesamtablauf der **Schwungphasen**.

#### **„Schwungphasen" - Gliederungsversuche des Schwungablaufs**

Beim Schwingen kann der nunmehr rhythmische Bewegungsablauf in charakteristische Phasen gegliedert werden. Hierzu werden in den Ländern und bei verschiedenen Autoren unterschiedliche Ansätze gemacht. WERNER NACHBAUER/ANDREAS RAUCH kommen bei ihren Untersuchungen der Torlauf- und Riesentorlauftechnik zur Gliederung in

✚ **schwungvorbereitende Phase** und  
✚ **Schwungphase.**

In der schwungvorbereitenden Phase werden jene Tätigkeiten ausgeführt, welche die Erzeugung der richtungsablenkenden Schneewiderstandskräfte vorbereiten (Belastungswechsel auf den zukünftigen Außenski, Entlastung der Skier, Umkanten des künftigen Außenskis). In der Schwungphase bewirken richtungsablenkende Schneewiderstandskräfte die Richtungsänderung (Aufkanten des schwungäußeren Skis, Einnehmen von Kurveninnenlage, Regulieren des Kurvenradius über den Kantwinkel).

ERICH MÜLLER gliedert das Schwungsverhalten auf Grund seiner „Biomechanischen Analyse moderner alpiner Skilauftechniken“ in eine

✚ **Schwungauslösephase** und eine  
✚ **Steuerphase**

In der Schwungauslösephase werden nach MÜLLER die Skier umgekantet und in eine neue Fahrtrichtung angedreht; in der Steuerphase werden die Skier in die Fall-Linie bzw. aus der Fall-Linie in eine Schrägfahrtposition gedreht.

Der österreichische Skilehrplan teilt die Ablaufphasen eines Schwunges in:

- ✚ **Vorbereitungsphase:** Sie schafft die Voraussetzungen für die Hauptbewegung: Kanten, Belasten, Tiefgehen, Stockeinsatz
- ✚ **Hauptphase:** Entlasten, Umkanten, Skidrehen
- ✚ **Endphase:** Steuern, Kurvenlage, Kanten, alpines Grundverhalten

Bei rhythmisch aneinander gereihten Schwüngen kommt es zur *Phasenverschmelzung* zwischen Endphase des vorhergehenden und Vorbereitungsphase des nächstfolgenden Schwunges. Von außen beobachtet ist nur mehr ein Umsetzen-Steuern-Umsetzen zu erkennen.

### Kräfte während der Schrägfahrt

Während der Schrägfahrt trägt nur ein Teil der Hangabtriebskraft, nämlich die Vortriebskraft  $F_V$ , zur Beschleunigung des Skifahrers in Fahrtrichtung bei. Die Größe der Vortriebskraft  $F_V$  hängt vom Hangneigungswinkel  $\alpha$  und vom Fahrtrichtungswinkel  $\delta$  ab. Der restliche Teil der Hangabtriebskraft wirkt als Querkraft  $F_Q$  und versucht, das System Skifahrer/Ski quer zur Fahrtrichtung talwärts zu bewegen. Um ein durch die Querkraft  $F_Q$  bewirktes Rutschen talwärts zu vermeiden, muss der Skifahrer durch Aufkanten der Skier eine, dem Betrag nach gleich Große, der Querkraft

entgegengesetzt wirkende Kantengriffkraft erzeugen. Die Größe der Querkraft  $F_Q$  ist ebenfalls vom Hangneigungswinkel  $\alpha$  und vom Fahrtrichtungswinkel  $\delta$  abhängig. Die Normalkraft  $F_N$  wirkt wie beim Schuss fahren.

Kräfte bei Kurvenfahrt und in unterschiedlichen Schwungphasen:

Beim Schwingen treten zusätzlich zu den Kräften in Schussfahrt noch auf:

- $F_Q$  Die Hangabtriebskraft als Querkraft
- $F_{zf}$  Die Zentrifugalkraft
- $F_{zp}$  Die Zentripetalkraft

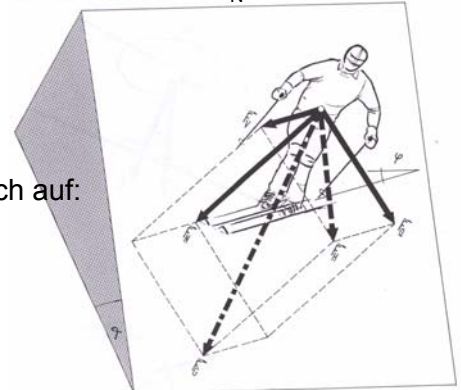


Abb. 4: Kräftesystem in der Schrägfahrt

Auch diese Kräfte greifen im Systemschwerpunkt an, wirken jedoch radial, also senkrecht zur jeweiligen Bogentangente, nach außen. Zur Einhaltung einer vorbestimmten Kurvenbahn muss der Skiläufer eine gleich große Zentripetalkraft erzeugen (Aufkanten). Dadurch entsteht ein Drehmoment, das den Läufer nach schwungaußen kippt. Dem wirkt der erfahrene Skiläufer durch Kurvenlage (Kippwinkel Epsilon) entgegen. Somit gehen Resultierende aus Gewichtskraft und Zentrifugalkraft wieder durch die Unterstützungsfläche und das Skiläufer-Ski-System bleibt im Gleichgewicht.

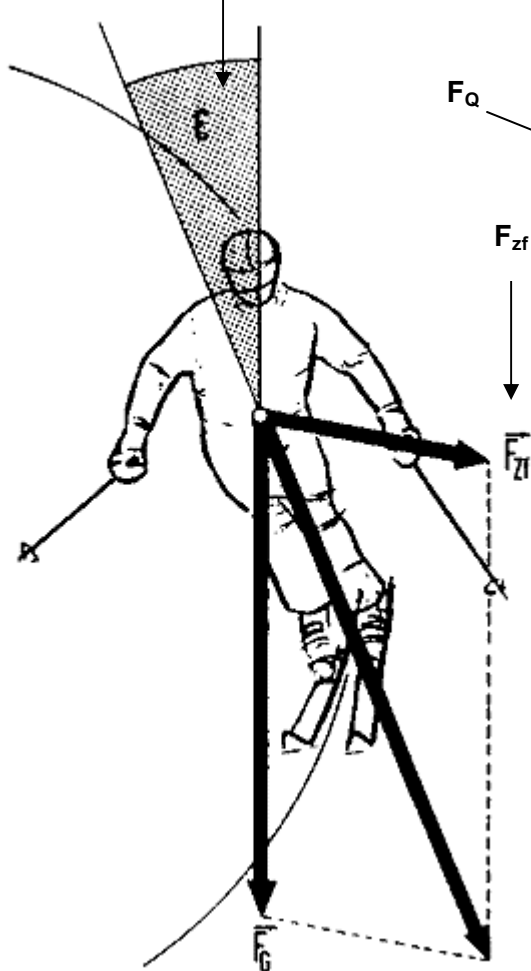


Abb. 5: Kräftesystem in Kurvenfahrt

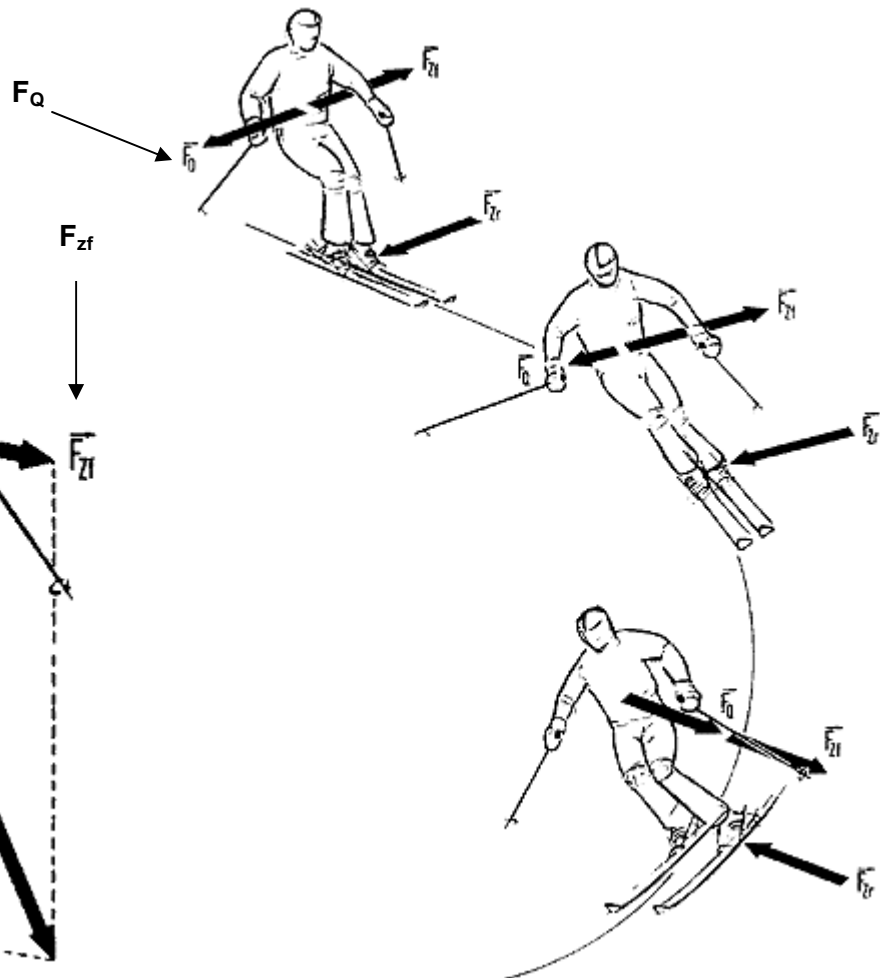
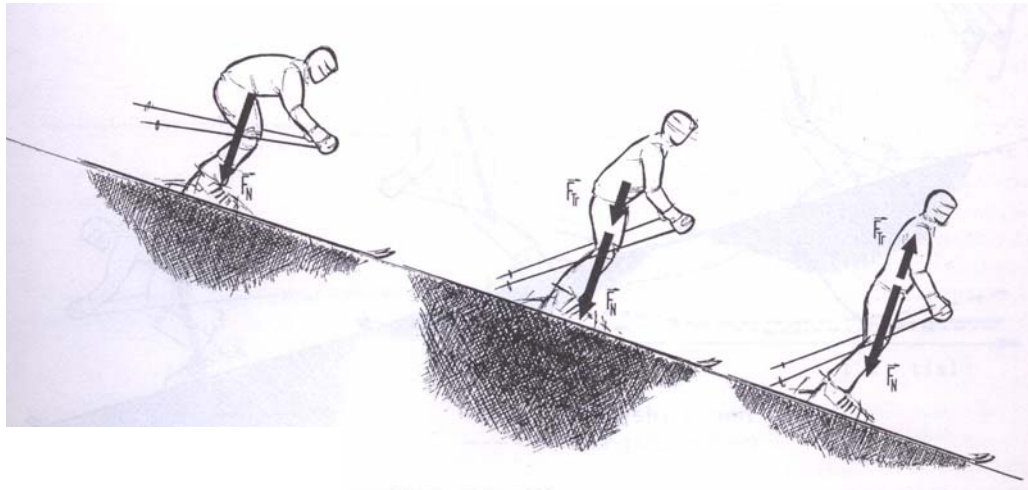


Abb. 6: Kräfte beim Schwingen in unterschiedlichen Steuerphasen

Weitere dynamische Mittel beim Schwingen sind:

- ✚ Hochbewegung des Körperschwerpunktes (KSP) = Hochbelastung / Hochentlastung
- ✚ Tiefbewegung des KSP = Tiefentlastung / Tiefbelastung
- ✚ Schubbewegungen des Unterkörpers = Fersendrehschub
- ✚ Rotation = Mitdrehen des Beckens/Oberkörpers in Schwungrichtung
- ✚ Gegenrotation (Verwindung) = Oberkörper dreht gegen den Unterkörper
- ✚ Antizipation (Vorausdrehen des Körpers in die neue Schwungrichtung).



Für eine Fahrt auf einer vorgewählten Kurvenbahn sind folgende Bewegungsvollzüge (dynamische Mittel) zielführend:

Abb. 7: Hochentlastung

**Kurvenlage des Körpers** - Einnehmen einer situationsgerechten Innenlage bedingt durch Radius und Fahrgeschwindigkeit und Tiefbelastung der Skier zum schneidenden Steuern des Systems (Steuern durch Kippen). Beim Schneiden eines Schwunges folgt das Skiende exakt der Bahn der Skispitze. Hierbei bedient man sich heute vermehrt der Hilfe modern gebauter Skier. Vorwiegend im Rennlauf und sportlichen Skilauf angewendet.

**Streckendes Drehen der Fersen und Beine** unter dem Körper (gegen die Masse des Oberkörpers) zum bürstenden Drehen (driften) des Systems. Vorwiegend im Massenskilaf angewendet, aber auch im Genuss-Skilaf des Könners wie etwa beim Tiefschneefahren oder Firnfahren. Driftendes Drehen ermöglicht feine Dosierung der Fahrgeschwindigkeit und laufende Anpassung des Radius. Es wird in der Grundschule verwendet, aber auch vom Könner und Rennläufer in bestimmten Fahrsituationen.

Für jede Art der Schwungsteuerung, ob rutschen oder schneiden, ist immer ein feinkoordiniertes **Verschieben des Körperschwerpunktes** entlang der Skilängsachse notwendig (Belastungswechsel vor/rück). Hierbei hat die Biegesteifigkeit der Skier eine große Bedeutung. Diese Tatsache wird im "Zeitalter der Skitailierungen und Radiusangaben" gerne vergessen.