

C. Schönle¹, T. Jöllenbeck², W. Kuchler³

Schontechniken für Gelenke und Wirbelsäule beim alpinen Skifahren

Protecting style for joint and spine when skiing

Zusammenfassung: Während bei früheren Skitechniken (enge Skiführung, Hüftknick, Körperdrehung und Knie-rotation) Bodenreaktionskräfte (BRK) und damit Belastungen der Beingelenke vom 4–6-fachen Körpergewicht (KG) auftraten, sind heute bei taillierten Ski und Carvingtechnik selbst bei Rennläufern nur noch Kräfte vom 2–4-fachen KG messbar. Wird gezielt eine dosierte Fahrweise mit Carvingtechniken (Schontechnik) durchgeführt, sinkt die BRK unter das Körpergewicht und ist niedriger als beim Gehen mit Skischuhen. Werden dabei beide Ski belastet, kann die Hüftbelastung weiter reduziert werden. Bleibt das Kniegelenk des Außenskis gestreckt, kann die retropatellare Belastung reduziert werden. Ein aufrechter Oberkörper mit schmerzlindernder Neutralhaltung kann Rückenschmerzen beim Skifahren lindern. Orthosen und Korsetts können dabei die Gelenk- und Wirbelsäulenstabilität unterstützen. Skifahren mit einer Endoprothese des Hüftgelenks ist erlaubt, aber nach Implantation einer Knie-Endoprothese sollte das Skifahren aufgegeben werden.

Schlüsselwörter: Carving Ski, Gelenkbelastung, Schontechnik

Zitierweise

Schönle C, Jöllenbeck T, Kuchler W: Schontechniken für Gelenke und Wirbelsäule beim alpinen Skifahren.

OUP 2014; 11: 544–553 DOI 10.3238/oup.2014.0544–0553

Summary: In previous skiing techniques (narrow ski position, hip bending, body rotation and knee rotation) ground reaction forces (GRF) – and thus the load upon the leg joints – increased up to 4–6-fold of body weight (BW). Today the parabolic shaped carving-ski and the modern carving technique produces only a load of 2–4-fold BW even in ski-racers. If performing a dosed carving technique (protecting style), the GRF decreases below the body weight and is lower than when walking in ski boots. When both legs (i.e. skis) are loaded equally, the load upon the hip can be further reduced. The retropatellar load can be diminished, if the knee joint of the outer ski remained stretched. An upright torso with a neutral posture can relieve the back pain while skiing. Orthoses and corsets can thereby support the joint and spinal stability. Skiing with an endoprosthesis of the hip joint is allowed, but after implantation of a knee endoprosthesis skiing should be abandoned.

Keywords: Carving skis, joint loading, load reducing ski technique

Citation

Schönle C, Jöllenbeck T, Kuchler W: Protecting style for joint and spine when skiing.

OUP 2014; 11: 544–553 DOI 10.3238/oup.2014.0544–0553

Alte und moderne Ski-Technik

Bemühungen, das Skifahren gelenkschonender zu gestalten und den natürlichen Bewegungen des Körpers anzugleichen, gibt es schon seit mehr als 40 Jahren [1–3]. Bei der „alten Skitechnik“ wurde eine Belastung gemessen, die auf flacherem Gelände etwa dem 5-fachen Körpergewicht (KG) entsprach; bei steileren Abfahrten stieg die Belastung auf das 4,1-fache (lange Schwünge, flacheres Gelände) bis zum 7,8-fachen (kurze Schwünge, steiles Gelände) an. Vor allem in der Buckelpiste traten höhere Belastungen vom 8– bis 13-fachen KG auf [4]. Im Vergleich dazu erhöhte das Gehen die Gelenkkraft

nur um das 2,5-fache, Laufen bei einer Geschwindigkeit von 12,6 km/h jedoch auf das 5,2-fache KG. Skilanglauf lag mit Werten vom 4,0-fachen KG für die klassische Technik und 4,6-fachen für Skaten unter diesen Werten [4]. Folglich wurde nur das kontrollierte, langsame Skilaufen alpin und Skilanglaufen als „sicher“ für Menschen mit einer Hüftendoprothese eingestuft [4].

Die althergebrachte „perfekte Skitechnik“, die auf eine enge Skiführung, eine intensive Arbeit aus den Kniegelenken (Kniekurbel), auf starke Vertikalbewegungen (Hoch- und Tiefentlastung), auf kurze enge Schwünge (Wedeln), auf Verdrehungen im Becken und Wirbelsäu-

lenbereich (Gegendrehen, Antizipation, Rotation), und auf Knickbewegungen in Hüfte und Knie großen Wert legte, ist glücklicherweise durch eine moderne, freiere und dynamischere Fahrweise (Carvingtechnik) abgelöst worden [5].

Immerhin erkannten Skifahrer schon vor über 100 Jahren (Sondre A. Norheim 1860, Mathias Zdarsky 1897, Carl J. Luther 1916) die Vorteile der „bogigen Wirkung der Skikante“. Diese Erkenntnisse wurden 1982 und 1991 von den Firmen Kneissl und Elan als „taillierter Ski“ umgesetzt.

Mit diesen neuen, kurzen und taillierten Skiern ist es möglich, die Ski im gesamten Kurvenverlauf auf der Kante

¹ Klinik Lindenplatz, Bad Sassendorf

² Institut für Biomechanik, Klinik Lindenplatz, Bad Sassendorf

³ Ehemaliger Institutsdirektor am Sportwissenschaftlichen Institut der Uni Dortmund

zu führen [6]. Das aktive Drehen der Ski – resultierend aus einer intensiven Verdrehung der Beingelenke und der Wirbelsäule – ist nun nicht mehr notwendig.

Standen früher Merkmale wie „Außenskibelastung“ und „Vertikalbewegung“ im Vordergrund sind heute Technikparameter wie „beidbeiniges Fahren“ und „ständiger Bodenkontakt“ gefragt. Vor allem die „beidbeinige Belastung“ – möglichst über den gesamten Schwungverlauf – hat sich in vielen Leistungsbereichen als Technikkriterium etabliert (Abb. 1): Durch synchrones Belasten von Innen- und Außenski gleitet der Ski am schnellsten und entfaltet die geringste Bremswirkung. Zugleich werden die hohen Bodenreaktionskräfte (BRK) auf beide Beine verteilt. Es hat sich allerdings gezeigt, dass es sich hierbei um gravierende Technikumstellungen handelt, die gerade von älteren Athleten nur schwer umsetzbar sind [7].

Während die alten Ski Kurvenradien von 40–80 m erlaubten, können mit den deutlich stärker taillierten Carvingski Radien zwischen 11 und 25 m erreicht werden [8]. Die Verkleinerung des Schwungradradius führt zu höheren, auf den Skifahrer einwirkenden Kräften. Während bei einer Fahrgeschwindigkeit von ca. 32 km/h eine Verkleinerung des Radius von 25 auf 15 m am Schwungende nur zu einer Erhöhung der Belastung um 270 N (vom 1,18-fachen auf 1,48-faches KG, Skifahrer 92 kg) führt, ruft eine weitere Verkleinerung des Radius von 15 auf 11 m bereits eine Erhöhung um weitere 690 N (2,25-faches KG) hervor (Werte aus [8] abgelesen und berechnet). Wird die Fahrgeschwindigkeit nur leicht erhöht, steigen die Kräfte bereits deutlich [8].

Durch das Carven sind neue physikalische Bedingungen und physiologische Bewegungsformen beim Skifahren möglich (nach [3]).

- Die **Kurvenlage** ist beim Carven verstärkt (teilweise mehr als 40°) und ein erlebnishaftes Ziel. Die Neigung eines Körpers von über 20° in eine Kurve entspricht aber nicht der menschlichen Evolution. Sie ist daher beim Carving zunächst ungewohnt, entwickelt sich aber mit zunehmendem Kantengefühl und mit steigender Sicherheit auf Skiern [9].
- Beim Carven steigt die **Kurvengeschwindigkeit** stark an [8].



Abbildung 1 Carving-Technik im Skirennlauf mit breiter Skiführung, starker Kurveninnenlage und Belastung beider Skier. Österreichischer Skirennläufer, Hintertux, Oktober 2011.

- Die hohe Festhaltekraft der Skikanten staut die nach außen und nach unten drängenden **Kurvenkräfte** (je nach Fahrgeschwindigkeit treten Fliehkräfte bis zum 3,8-fachem KG auf [10]) und zwingt den Skifahrer, Widerstand (Stemmkraft) zu leisten.
- Ein guter **Aufkantwinkel**, eine starke Durchbiegung des Skis („Flex“), das Ausreizen des Skiradius und das Bemühen um das optimale Gleiten ergeben ein „Gefühl des Ziehens“ der Kanten.
- **Schneekontakt** mit der Hand, dem Unterarm oder sogar dem Körper ist bei starker Kurvenlage erreichbar.

Gefahren beim Carven

Die „geschnittenen“ Carvingschwünge bremsen den Ski deutlich weniger als die ehemals „gerutschten“ Schwünge. Bei hoher Kurvengeschwindigkeit werden rasante Fahrgeschwindigkeiten quer zur Piste möglich, die sogar ein Bergauffahren am Ende der Kurve ermöglichen. Bei steileren Pisten bringen dies nur Rennläufer fertig. Snowboarder oder Skifahrer, die in der Falllinie fahren, können mit den

querenden Carvern kollidieren. Auch Carver, die von einer anderen Piste einfahren oder am Pistenrand kurven, oder gleichzeitig die Piste mit Carvingschwüngen in entgegengesetzter Richtung bewältigen, können mit hohen Geschwindigkeiten aufeinanderprallen – oder gegen Gegenstände am Pistenrand. Die Zahl der Kollisionsunfälle stieg 2012/2013 auf 16 % [13]. Schon Aufprallgeschwindigkeiten von 30 km/h zeigen ein hohes Verletzungspotenzial [11] und schwere Verletzungen. Polytraumen und Todesfälle sind möglich [11, 14–17]. Das Kollisionsrisiko scheint zumindest bei sportlichen Carvern annähernd doppelt so hoch wie bei konventionellen Skifahrern [12]. Die Einführung der Carvingski hat aber nicht zu einem Anstieg der gesamten Unfallzahlen im alpinen Skisport geführt [12]. Der Vergleich der Verletzungshäufigkeit zwischen konventioneller alter Technik und neuer Carvingstechnik ergibt kein einheitliches Bild [18]: Eine Studie zeigt bei Carving-Skifahrern ein Zunahme des Schweregrads von Knieverletzungen [19], eine andere dagegen eine Abnahme der Kreuzbandverletzungen, aber eine Zunahme der Schulter-Arm-Verletzungen

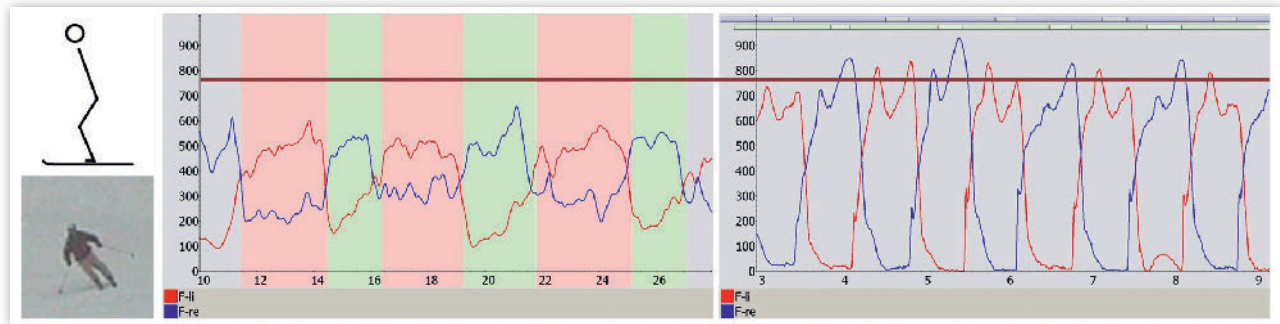


Abbildung 2 Kraftmessung mit Fußdruckmesssohlen (pedar-X, Novel) sowie Videoanalyse bei einem Skilehrer (1,58 m, 70 kg, 70 J.), der die Schontechnik fährt: Fußdrucksohlenkräfte [N] des rechten (blau) und linken (rot) Fußes bei zügiger Carving-Fahrt auf blauer Piste mit nahezu gestreckten Kniegelenken (linke Kurve). Die beidbeinige Belastung ist vor allem in der Steuerphase der Schwünge zu erkennen. Dadurch werden Druckkräfte pro Bein erreicht, die unter dem Körpergewicht (inkl. Ausrüstung 764 N) liegen [27]. Das Gehen mit Skischuhen (rechte Kurve) zeigt Druckkräfte, die etwas oberhalb des Körpergewichts (rote Linie) liegen.

[20]. Eine weitere Studie ergab insgesamt keine Unterschiede in der Verletzungshäufigkeit zwischen beiden Skitechniken [12]. Tendenziell scheinen Carvingski mit Radien von unter 14 m besonders für die unteren Extremitäten verletzungsgefährdend zu sein. Dies kann zu einer Verletzung von Muskeln bzw. Bändern der unteren Extremitäten führen [12]. Das Knie ist der am häufigsten verletzte Körperteil bei Skifahrerinnen [21].

Zu den erfreulichsten Fortschritten gehört die positive Sturzproblematik beim Carven: Die Stürze ereignen sich häufig zum Berg hin, weil die Ski in der Schräglage wegrutschen. Damit hat der Stürzende nur einen kurzen Weg zum Schnee und kann durch Schlittern den Bremsweg verlängern. Dies ist ein positiver Unterschied zu früher, wo Stürze häufig über die Außenkante ins Tal mit größeren Kraftimpulsen beim Aufprall – teilweise mit Überschlagen des Skifahrers – auftraten. Da bei älteren Menschen aber nicht nur die Knochen, sondern auch die Kreuzbänder an Stabilität verlieren (Reißfestigkeit des vorderen Kreuzband bei jungen Menschen 1716–3000 N, bei Menschen über 60 Jahren maximal 642 N [22, 23]), sollten das Verletzungsrisiko und die vielfältigen positiven gesundheitlichen Aspekte des Skisports (Koordinations- und Krafttraining, Osteoporose-Prophylaxe im Sinne der Vitamin-D-Bildung u.a.) gut überlegt werden.

Gelenkbelastung beim Carven

Modernes Skifahren scheint – zumindest im Freizeitbereich – eine gelenk-

schonende Sportart, weil der Sportler die meiste Zeit sein Körpergewicht auf 2 Beine verteilt und somit die Belastung eines Beins ungefähr nur die Hälfte des Körpergewichts beträgt. Die Taillierung der Skier und die Technik des Carvens sind bestens geeignet, ohne besonderen Kraftaufwand und ohne größere Belastung der Gelenke ein sicheres und freudvolles Skifahren zu ermöglichen [24, 25]. Die Skimodelle von Gottschlich und Zehetmayer [2] zeigen, dass Carvingski von ganz allein um die Kurve fahren, ohne dass es größerer muskulärer Anstrengung bedarf. Messungen an einem versierten Skilehrer (ehemaliges Mitglied des deutschen Skilehrerteams), der die Schontechnik demonstrierte (s. Abb. 2), bestätigten, dass die **Bodenreaktionskräfte** bei moderaten Geschwindigkeiten wegen der beidbeinigen Skibelastung **grundsätzlich geringer sind als beim Gehen** [26, 27].

Im Skirennlauf müssen allerdings etwas größere Kräfte aufgebracht werden, um den Fliehkräften entgegenzuwirken und den Ski durchzubiegen. Bei sportlichen, hochtrainierten Skilehrern trat eine Belastung auf, die dem 3-fachen KG entspricht, wobei Fußdrücke von bis zu 30 N/cm² auftreten können [28]. Der höchste Druck trat an der Medialseite der Ferse und an der Medialseite des Vorfußes (1. Metatarsale) auf. Der Druck wanderte während der Kurvenfahrt vom 1. Metatarsale zur Ferse [28]. Modernes Skifahren, bei dem auch in der Kurvenfahrt beide Beine belastet werden, zeigt eine Belastung des Außenskis von bis zum 3,5-fachen und des Innenskis vom bis zu 1,5-fachen KG [29]. Andere Auto-

ren konnten dies bei Skirennfahrern bestätigen (2,5-faches KG des Außenski, 1,5-fach des Innenski) [30, 31]. Somit ist die Belastung selbst beim sportlichen Carven gering (Abb. 2). Allerdings können beim Skifahren auch höhere Impact-Kräfte (Schläge vom Boden bei Geländeunebenheiten, hartem, eisigem Untergrund oder Kräfte nach Sprüngen) auf die Beine einwirken [26].

Es stellt sich daher die Frage, wie weit die gelenkschonende Komponente des Ski-Carvens für Menschen, die aufgrund von Einschränkungen ihrer Gelenke oder der Wirbelsäule eine Sprung- oder Sprintbelastung nicht mehr tolerieren, zur Ausübung des schönen Schneesports genutzt werden kann.

Die geeignete Ausrüstung zum Carven

Die kurzen und stark **taillierten** Ski bieten schon bei geringem Aufkantwinkel und geringem Fleximpuls (Biegekraft) einen autokinetischen (selbst steuernden) Kantenanschnitt und Kurvendurchzug. Die **Skilänge** sollte Schulterhöhe (oder darunter) betragen, der Radius unter 16 m liegen, die Schaufel ausgeprägt breit sein. Der Flex (Biegesteifigkeit) sollte in der Tendenz eher weich sein. Der **Pflege der Ski** kommt höchste Bedeutung zu: Die Führung des Ski funktioniert nur, wenn der Ski – und vor allem die Kante – im optimalen Zustand ist. Insbesondere bei harten Schneearten und Kunstsnowe verliert der Ski rasch an fahrerischen Qualitäten. Eine regelmäßiger Ski- und Kantenservice ist daher notwendig.

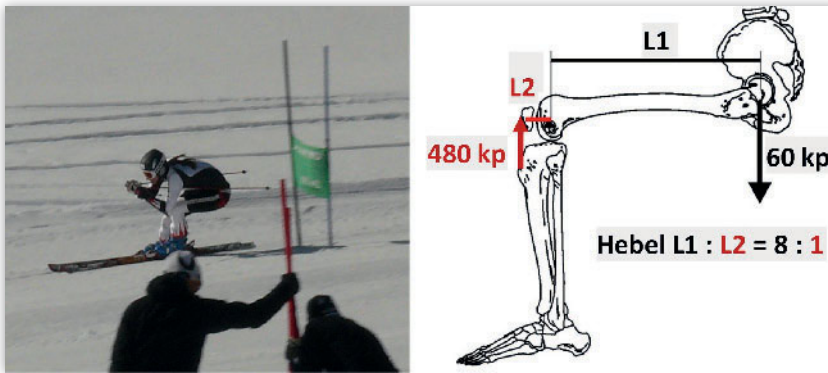


Abbildung 3 Eine Rücklage des Oberkörpers führt über die schlechten Hebelverhältnisse (L1 = langer Hebel des Femur, L2 = kurzer Hebel der Patella) zu einer sehr großen Belastung des Kniegelenks.

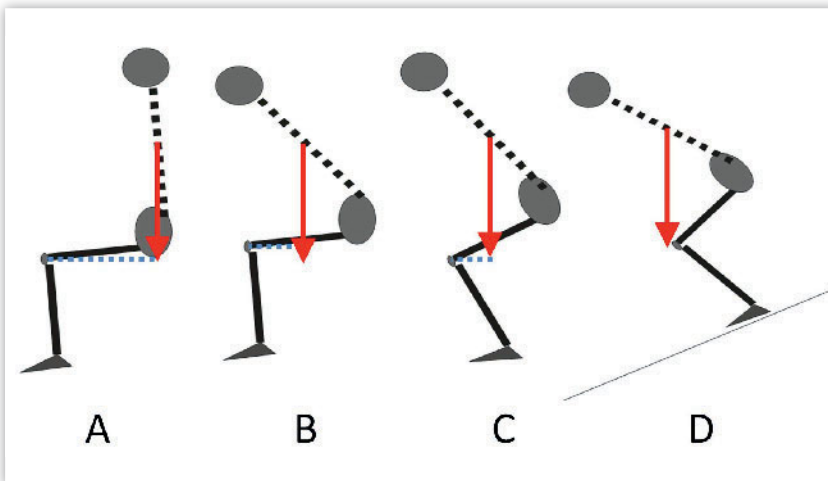


Abbildung 4 a) Bei etwa 90° gebeugtem Kniegelenk und Rücklage ist der Oberschenkelhebel (blaue gepunktete Linie) sehr groß, damit ist die Kniescheibenbelastung sehr hoch. **b)** Durch Vorneigung des Oberkörpers kann der Schwerpunkt nach vorn verlagert, damit der Oberschenkelhebel verkleinert und der Anpressdruck der Kniescheibe reduziert werden. **c)** Werden Oberkörper und Knie nach vorn verlagert („Vorlage“), wird der Oberschenkelhebel noch kleiner. **d)** Wird das Gelände steiler und kippt der Körper weiter nach vorn, liegt der Körperschwerpunkt sogar noch vor der Kniescheibe, damit ist der Anpressdruck der Kniescheibe durch die Schwerkraftkomponente gering.

Die **Skischuhe** sollten darauf ausgerichtet sein, mit einem **aktiven Schaft** Dauerfixierungen des Sprunggelenks zu vermeiden und eine beidbeinige Belastung beim Skifahren zu ermöglichen, also auch eine Innenskielastung zuzulassen. Die Schaftvorlage sollte eher gering sein (5° oder weniger), die Schaftbeweglichkeit gut (ohne großen Widerstand), der Flexweg weit (wenigstens bis 30° Grad). Eine Einstellungsmöglichkeit auf Gehen/Walk sollte gegeben sein. Der Außenrand sollte hoch sein, wenigstens so wie der Innenrand. Im Vorderfußbereich sollte Spielraum für Pro- und Su-

pination möglich sein. Durch **schlecht sitzende und meist zu harte Skischuhe** entstehen Druck-, Blasen- und Scheuerstellen an den Füßen, besonders im Fersen- und Knöchelbereich sowie am Schienbein. Ein guter Skischuhsitz ist eine der wichtigsten Voraussetzungen für ein erfolgreiches und genussvolles Skifahren in Schontechnik. Die Zehen müssen im geschlossenen Schuh annähernd frei bewegt werden können. Der Skischuh darf aber nicht zu groß sein, damit der Fuß in der Vorlage nicht im Schuh rutschen kann. Dadurch wären Blasenbildungen an der Ferse oder am

Schienbein möglich. Spezielle Einlagen mit stützenden oder bettenden Bereichen sind bei Fußfehlformen anzuraten.

Die Grundtechniken der „Schontechnik“

Grundsätzlich sollten Knickungen und Verdrehungen des Körpers, wie sie bei klassischen Techniken und sportlichem Skifahren sinnvoll waren, möglichst vermieden werden, weil dadurch Gelenke und Wirbelsäule erheblichen Belastungen unterworfen werden. Ebenso sollten steile, eisige oder stark sulzige Pisten nach Möglichkeit vermieden werden.

Grundtechnik bei moderater Hangneigung

Eine **hüftbreite** Skiführung und eine **mittlere Körperposition mit leichter Vorlage** sind grundlegend. Die Körperquerachse sollte eine **neutrale Position mit frontaler Ausrichtung einhalten**. Die Schwungausrückung (-einleitung) kann durch verschiedene Maßnahmen erleichtert werden (durch Vor-Seit-Kippen, Schrittstellung der Ski, Kantendruck des Fußes, Pedalieren usw.). Im Schwung sollten der Außenski und auch etwas der Innenski **belastet** werden, wobei der Außenski führend bleibt.

Das seitliche **Kippen des Oberkörpers** kann eher aktiv (Strecken des zukünftigen kurvenäußeren Beins) oder passiv (Beugen des zukünftigen kurveninneren Beins) erfolgen. **Ein Abknicken der unteren Lendenwirbelsäule (sog. Hüftknick) soll nur moderat** durchgeführt werden. Die Aufkantung der Ski kann durch eine Ganzkörper-Seitneigung erfolgen. **Mit etwas mehr oder weniger Aufkanten der Ski und Neigung des Körpers** kann die Schwungweite gut reguliert werden. **Ein nur geringes Vorausrücken des Oberkörpers** (Antizipation) ist erlaubt. Je schwieriger die Schwungausrückung durch die Situation (steile Piste, Sulzschnee etc.), desto hilfreicher ist eine leichte Antizipation, vorausgesetzt, es sind keine Wirbelsäulenschäden vorhanden. Eine „federnde“ Körperhaltung beim Skifahren (mäßig gebeugte Knie- und Hüftgelenke) hilft, Bodenebenheiten auszugleichen.

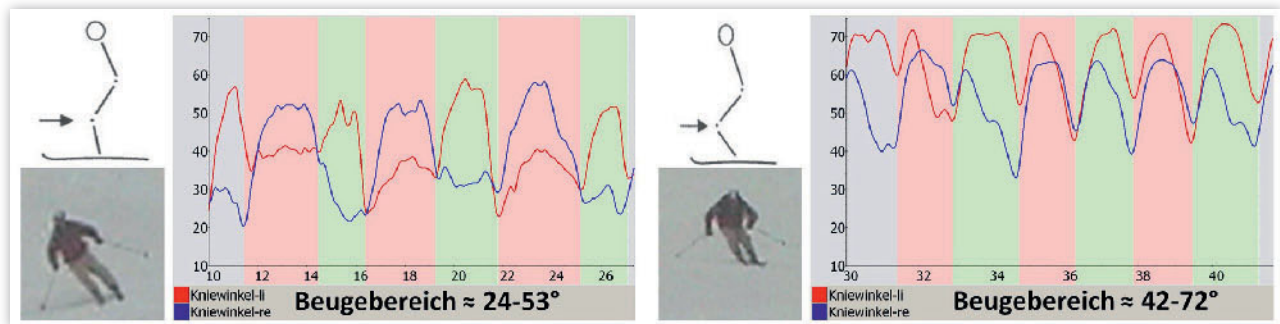


Abbildung 5 Winkelmessung mit Goniometern (Biovision) sowie Videoanalyse bei einem Skilehrer, der die Schontechnik Knie fährt: Kniegelenkwinkel [°] des rechten (blau) und linken (rot) Beins bei zügiger Carving-Fahrt auf blauer Piste mit wenig (links, Schontechnik) und stark gebeugten Kniegelenken (rechts). Der mittlere Beugewinkel in Schontechnik ist um rund 20° reduziert, wodurch die Gelenkbelastung um rund 50 % reduziert wird.

Grundtechnik bei steilerem Gelände

Bei steilerem Gelände sollten 3 skitechnische Elemente beachtet werden: Die Bewegung des Körpers soll nach vorn, zum Tal hin gerichtet sein. Der Oberkörper darf intensiver als auf flachem Gelände zur Schwungseinleitung der Bewegung vorausdrehen (Vorsicht bei Wirbelsäulenschäden!). Die aktive Vorlage ist notwendig zur Skiführung: Die Hände gehören nach vorne (beispielsweise auch in diagonaler Position), mindestens vor die Hüfte. Das ergibt eine gute Balance und sichert einen energischen Schwungwechsel. Wenn der Oberkörper vorausdreht, dann darf **kein Arm hinter dem Körper** verbleiben.

Diese 3 skitechnischen Elemente verbessern jedes Schoncarven, in steilerem Gelände sind sie unabdingbar:

1. Bewegung des Körpers nach vorne,
2. Oberkörper dreht etwas zur Schwungseinleitung der Bewegung voraus,
3. Hände nach vorn.

Grundtechnik bei eisiger Piste

Wenn es eisig wird, kommt es fast immer zum Rutschen. In alten Skitechniken mit Rotation oder Fersenschub dreht in der Regel der Ski hinten weg, bricht aus und stellt sich mehr oder weniger gegen die Fahrtrichtung an. Carven gelingt es, die Ski in Fahrtrichtung zu halten, indem sie den Belastungsdruck nicht ändern, die Körperspannung nicht erhöhen und einfach die Rutschphase abwarten, die durch die Taillierung des Ski relativ kurz ausfällt. Die Ski rutschen so vergleichsweise auf der Tangente an einem sich erweiternden

dem Kreis nach außen. So kommt es auch zu keiner schwankenden Mehraufwendung an Kraft.

Allgemeine Richtlinien für gelenkschonendes Skifahren

Unabhängig von der körperlichen Einschränkung können Hinweise zum gelenkschonenden Skifahren gegeben werden:

Geeignete Taktik

- Schwierigen Tiefschnee, vereiste Pisten, Buckelpisten, Sprünge, Skifahren bei schlechter Sicht, überfüllte Pisten vermeiden,
- sehr hohe Geschwindigkeiten vermeiden,
- keine Sprünge, möglichst keine Stürze,
- keinen hohen Belastungsdruck auf einem einzelnen Bein aufbauen,
- extreme Steilhänge meiden,
- werden die Bedingungen zu schlecht, sollte das Skifahren unterlassen werden,
- regelmäßige Erholungspausen.

Geeignete Fahrtechnik

- Grundtechnik des Carvens mit beidbeiniger Belastung (Betonung des Außenski), breiterer Skiführung, mittlerer Position/leichter Vorlage auf dem Ski,
- dosiertes Aufkanten durch Kantendruck, Neigen, Kippen,
- Rutschen ist erlaubt, um die Geschwindigkeit zu dosieren,
- zusätzlich zur Grundtechnik sollten spezielle skifahrerische Elemente bei Rücken- oder bestimmten Gelenksbeschwerden eingesetzt werden (s. folgende Bemerkungen).

Gelenkspezifische Schontechniken

Knieschonende Skitechnik

Der Anpressdruck

Der retropatellare Anpressdruck und damit auch der Kompressionsdruck zwischen Femur und Tibia, ist beim Skifahren vor allem von der Körperposition abhängig. Schon im Alltag kann bei stärkerer Kniebeugung die Anpresskraft der Patella auf fast 300 kp ansteigen. So erzeugt das Hin-hocken bei einem Kniebeugewinkel von 140° Kompressionskräfte auf das Patella-Gleitlager vom 7,6-fachen und auf das Femuro-Tibial-Gelenk vom 5,6-fachen KG [23]. Dies bedeutet, dass mit zunehmender Beugung des Kniegelenks auch beim Skifahren die Kniescheibenbelastung zunimmt. Zwar ist eine Kniebeugung beim Skifahren für die Skiführung und Federwirkung der Beine erforderlich, von einer zu starken Kniebeuge – vor allem im flachen Gelände oder mit Rücklage des Körpers – ist abzuraten.

Beim Skifahren sind daher im flachen Gelände eine **tiefe Kniebeuge** und eine **Rücklage des Oberkörpers zu vermeiden** (Abb. 3). Auch das Aufstehen nach einem Sturz über die Rücklage ist sehr belastend. Daher sollten vor dem Aufstehen besser die Ski abge-schnallt werden.

Im flachen wie steilen Gelände ist vor allem das Kurvenfahren für das Kniegelenk belastend (Abb. 4a-d). Durch die Fliehkraft treten hier große Kräfte auf, die von den Beinmuskeln kompensiert werden müssen. Die BRK und damit die Anspannung des M. quadriceps steigt deutlich an, wenn der Skifahrer

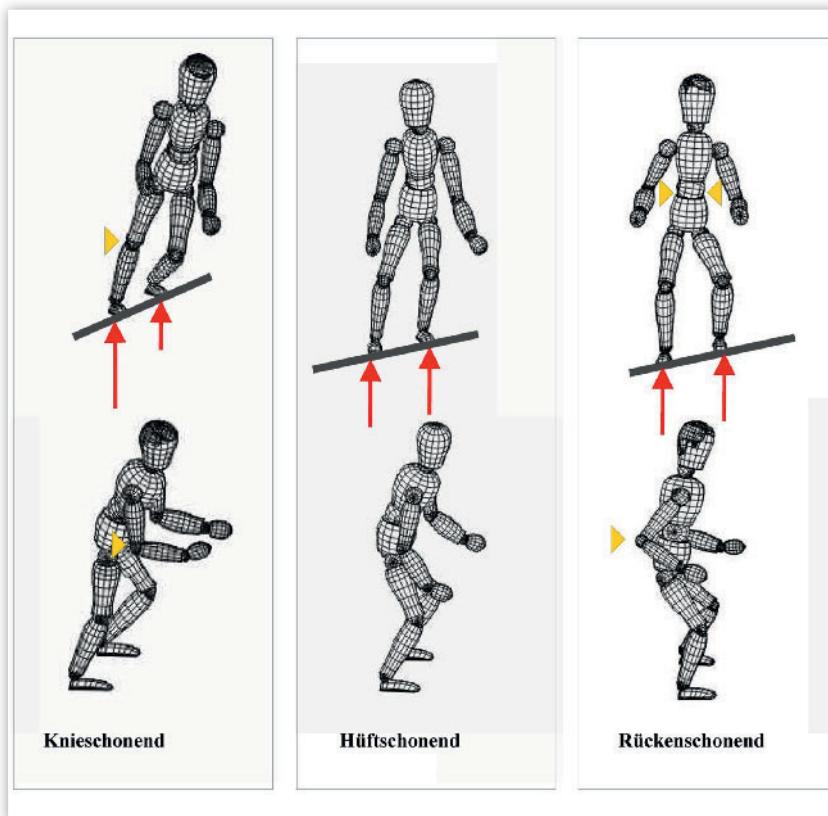


Abbildung 6 Knieschonende Skihaltung: Der Außenski wird verstärkt belastet, das belastete Knie soll möglichst gestreckt sein (gelbes Dreieck). Ein seitliches Kippen des Oberkörpers und/oder mäßiger Knick in der Hüfte ist erlaubt. Verstärkte Vorlage des Körpers und Oberkörpers, dabei sollen die Hände nach vorn genommen werden (s. gelbes Dreieck).
Hüftschonende Skitechnik: Beide Beine belasten, seitliches Kippen des Oberkörpers und/oder mäßiger Knick in der Hüfte erlaubt. Alle Beugelenke mäßig gebeugt zum Abfedern. Breitere Skiführung. **Rückenschonendes** Skifahren: Oberkörper gerade, nur leichte Vorlage im Gesamtkörper, schmerzfreie Neutralposition der Lendenwirbelsäule, Hände am Körper (s. gelbes Dreieck am Ellenbogen), Steifheit im Lendenwirbelbereich (s. gelbe Dreiecke), nur Kippen des ganzen Körpers erlaubt, Abfedern mit den Beugelenken.

den Scheitelpunkt der Kurve überschritten hat [30]. Damit treten mit dem Kurvendruck und eventuell auch der Rücklage 2 das Kniegelenk belastende Faktoren auf. Es ist daher sinnvoll, wenn ein Skifahrer mit Knieproblemen auch am Kurvenende seine Vorlage beibehält. Dies hat den skitechnischen Vorteil, dass die Schaufel weiter Kontakt zum Schnee hat und die Kurve weiterhin schneidend, also mit engem Radius, gefahren wird. Der Nachteil ist, dass der Kurvendruck nicht nachlässt und die Fahrgeschwindigkeit noch eher zunimmt. Dies ließe sich vermeiden, wenn ein leichtes Driften („Rutschen“) zugelassen wird.

Eigene Messungen konnten zeigen, dass sich die Belastung des Femuro-Tibial- und des Retropatellar-Gelenks bei

entsprechender Schontechnik Knie (Abb. 5, 6 links), d.h. durch einen reduzierten Kniebeugewinkel, um rund 50 % verringern lässt [26].

Durch Verzicht auf einen einwärts gerichteten „Knieknick“ kann zudem die Belastung des lateralen Kompartments verringert werden [26]. Wenn also die Kniegelenke beim Steuern der Kurve verstärkt belastet werden, dann **sollte das belastete Kniegelenk möglichst gestreckt sein**. Aus diesem Grund ist bei Patienten mit Knieproblemen eine **gleichmäßige Belastung** von Innen- und Außenski **nicht** zu empfehlen. Die stärkere Belastung des Außenskis in annähernder Streckstellung setzt aber voraus, dass keine größeren Achsabweichungen (X-oder

O-Bein) im Kniegelenk vorhanden und dass die Knie-Bänder stabil sind.

Knieschonende Skitechnik (s.a. Abb. 6 links):

- Das vorwiegend belastete Bein (Außenski) sollte möglichst gestreckt werden,
- leichter bis mäßiger Hüftknick erlaubt,
- stärkere Vorlage (Körperschwerpunkt nach vorn!),
- Armhaltung: Hände mäßig bis deutlich nach vorn, durchaus auch in diagonalen Führung,
- Rücklage muss vermieden werden,
- breite Skiführung.

Kniepathologien und Skifahren

Die gute Funktion der Knie-Seitenbänder ist eine wichtige Voraussetzung für das Skifahren: Vor allem das **mediale** Seitenband ist für die Stabilität wichtig. Wenn es überdehnt, geschwächt oder aus anderen Gründen untauglich ist, tritt bei jedem Schritt eine zunehmende Valgusstellung ein.

Eine Insuffizienz des **lateralen** Bands wird meist durch den Tractus iliotibialis kompensiert, eine Varus-Fehlstellung ist jedoch auch hier möglich. Sind beide Bänder locker, kann ein Genu recurvatum die Folge sein.

Bei einem **Seitenbandschaden** wäre es empfehlenswert, wenn der Sportler eine stabilisierende Knieschiene mit stabilen Metallgelenken (Orthese) tragen würde. Liegt ein **Kreuzbandschaden** vor, kann eine Orthese keinen sicheren Schutz vor einer Instabilität (vordere Schublade bzw. Rotation) bieten. Hier wäre es sinnvoller, die Muskulatur der Oberschenkelrückseite zu kräftigen.

Beim Meniskusschaden treten unterschiedliche Beschwerden auf, je nachdem, ob der vordere, mittlere oder hintere Anteil des Meniskus betroffen ist. Daher können eine Varus- oder aber auch eine Valgus-Beinbelastung oder eine Rotation schmerzhaft sein. Diese gilt es dann beim Sport zu vermeiden, bzw. durch eine stabilisierende Orthese zu verringern.

Wenn es die Beschwerden zulassen, ist auch bei **Knierarthrose** eine Teilnahme an sportlichen Aktivitäten sinnvoll:

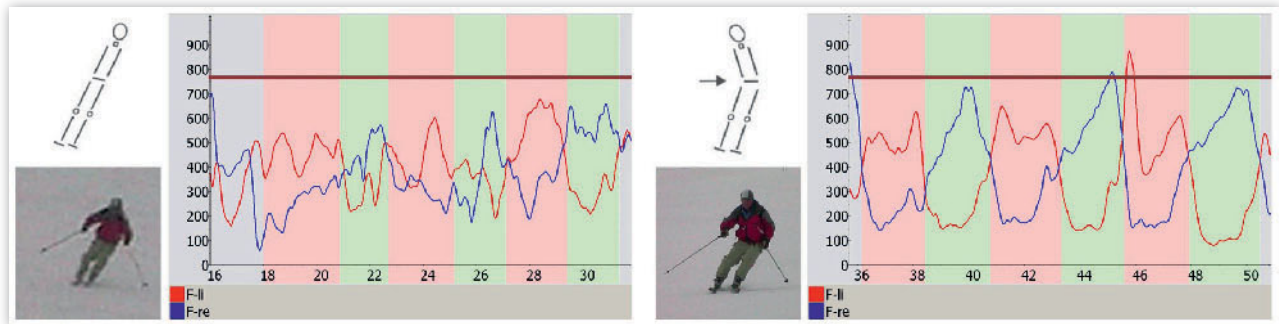


Abbildung 7 Fußdrucksohlenkräfte [N] des rechten (blau) und linken (rot) Fußes bei zügiger Carving-Fahrt auf blauer Piste mit (rechts) und ohne „Hüftknick“ (links). Mit „Hüftknick“ sind die Werte etwas höher, aber auch hier liegen die Sohlenkräfte pro Bein meist unterhalb des Körpergewichts (rote Linie) [27].

Bei Patienten mit einer Arthrose des Kniegelenks konnte in einem 4-monatigen Trainingsprogramm, Trainingsfrequenz 3-mal pro Woche, die Kraft und die Ausdauer um jeweils 35 % und die Schnelligkeit um 50 % verbessert werden. Diese Verbesserungen waren mit einer **Verringerung** der Schwierigkeiten im Alltag (–30 %), der Pflegebedürftigkeit (–10 %) und **der Schmerzen** (–40 %) verbunden [32]. Selbst stärkere Beugekontrakturen von bis zu 30° bessern sich innerhalb eines Jahres fast vollständig [33]. Ähnliche positive Ergebnisse hinsichtlich der Schmerzreduktion und einer verbesserten Kniestabilität durch ein Krafttraining werden auch von anderen Autoren berichtet [34].

Daher sollte auch das Skifahren weiterhin ermöglicht werden. **Orthopädische Hilfsmittel** (Tab. 1) und **spezielle Skitechniken** (s.o.) können dabei hilfreich sein: Bei einem X- oder O-Bein können die Skischuhe mit einer leichten Außen- oder Innenranderhöhung zur Kompensation der Achsfehlstellung ausgeglichen werden. Hier kann bei vielen Skischuhmodellen das „Skischuhcanting“ (eine Veränderung der seitlichen Schaftneigung) so eingestellt werden, dass die Schaftneigung sich entsprechend ändert.

(Kein) Skifahren mit Knieendoprothesen

Bei den Knieendoprothesen („Knie-TEP“) ist die Lockerungsrate bei jüngeren Menschen deutlich höher als bei Patienten über 65 Jahre, wenngleich auch diese Unterschiede nicht so groß sind wie bei den Hüftendoprothesen [35].

Implantationen, die nicht achsgerecht (also im Valgus oder Varus) ausge-

führt wurden, wirken sich stärker auf eine frühere Lockerungsrate oder Verschleißrate des Materials aus [36]. Bei der Implantation einer Knie-TEP wird meistens das vordere Kreuzband reseziert. Damit ist eine verstärkte Instabilität vorhanden. Nach einer Verletzung des Seitenbands, nach operativer Revision einer Valgusfehlstellung oder auch bei zunehmender Schwächung des medialen Bandapparats nach Implantation einer Knieendoprothese können Bandinsuffizienzen in Erscheinung treten [37].

Übergewicht führt nicht unbedingt zu einer früheren Lockerung einer Knie-TEP, aber zu doppelt so vielen patellofemorale Symptomen [38]. Die Führung der Patella stellt das Hauptproblem der Knieendoprothetik dar. Auch hier sind die Achs- und Rotationsverhältnisse des Kniegelenks, die Zugrichtung des M. quadriceps und sogar die Länge des Ligamentum patellae für korrekte Gleitwege – oder aber für Verkippungen oder Lateralisierung der Kniescheibe – verantwortlich [39]. Etwa 30–40 % aller Komplikationen betreffen das Patellagleitlager [36]. Beim Skifahren lassen sich (leichte) Rotationsbewegungen und Varus-/Valgusstellungen des Kniegelenks nicht vermeiden. Damit treten nicht nur auf die Patella, sondern auch auf das Kunststoff-Inlay, das bei einer Knie-TEP weicher ist als das Kunststoff-Inlay einer Hüftendoprothese, Scher- und Rotationskräfte auf. Beim Skifahren können nicht nur diese Belastungen, sondern auch ein Sturz auf das Kniegelenk zu schweren Komplikationen führen. Ein Abbruch der Kanten des Inlays und eine Subluxation der Prothese sind möglich.

Daher wird das Skifahren für Patienten mit einer Knie-TEP **nicht** empfohlen.

Dennoch wird über Menschen mit einer Knie-TEP berichtet, die das Skifahren seit vielen Jahren problemlos ausüben. „Die Studie zeigt eindrücklich, dass insgesamt 16 % der Patienten, und hierunter ein Anteil von 38 % älter als 70 Jahre, nach endoprothetischem Kniegelenkersatz außergewöhnliche sportliche Belastungen uneingeschränkt ausüben“ [40].

Hüftschonende Skitechnik

Beim Carven tritt eine Belastung auf, die nur wenig über der Belastung im Stehen – und meist sogar unter der beim Gehen – liegt (Abb. 2 und 7). Selbst beim sportlichen Fahren wurden Werte nur bis zum 3-fachen KG gemessen. Im Vergleich mit dem Gehen und Laufen ist somit selbst das sportliche Carven eine gelenkschonende Sportart. Bei harten, eisigen Pistenbedingungen sind allerdings kurzzeitige Impulse („Schläge“) auf die Beine möglich: Gemessen wurden sehr kurze Kraftspitzen bis etwa zum 17-fachen KG [27], die aber wahrscheinlich schon in den Füßen bzw. Sprunggelenken kompensiert werden.

Bei Arthrose der Hüfte kann die Belastung beim Gehen oder Laufen zu Schmerzen führen. Vor allem bei Sprüngen, schnellen Stoppbewegungen oder Richtungswechseln können Belastungen vom mehr als 7-fachen KG auf die Hüftgelenke auftreten. Das Stehen dagegen reduziert die Belastung auf die Hüfte, hier wirkt nur die Hälfte des KG auf das Gelenk.

Es ist daher sinnvoll, wenn beim Skifahren beide Beine möglichst gleich belastet werden. Ob eine moderate Abknickung der Hüfte beim Skifahren ange-



Abbildung 8 Kraftschonende Carvingtechnik. Patient nach Implantation einer Hüft-TEP links vor 11 Jahren, rechts vor 7 Jahren. Jährlich 25–40 Tage Skifahren, 3000–5000 km Rad pro Jahr. Die moderate Kurveninnenlage führt zu einer guten Aufkantung des Skis, eine mäßige Körpervorlage sichert den Schneekontakt der Skischaukeln, die leichte Schrittstellung verbessert die beidseitige Skibelastung und die Standsicherheit.

wendet werden sollte, hängt von den Beschwerden ab. Auf jeden Fall kann ein alleiniges Kippen des Oberkörpers das Carven ermöglichen, ohne dass die Hüftbelastung deutlich ansteigt. Der Schneepflug sollte vermieden werden, weil dazu eine starke Anspannung der kleinen Hüftmuskeln erforderlich ist (Abb. 8).

Skifahren mit einer Hüftendoprothese

Während einige Operateure das Skifahren nach Implantation einer Hüftendoprothese (Hüft-TEP) zumindest als nicht „besonders geeignete“ Sportart beschrieben, zeigte sich, dass viele Patienten auf diesen Sport nicht verzichten wollten [41]. Skifahren ist allerdings wegen der Sturzgefahr und der möglichen Rotationskräfte bei Verdrehungen nicht unbedingt gefahrlos. Dennoch überwiegen auch hier die vielen positiven Auswirkungen auf Körper und Seele gegenüber dem Risiko der früheren Prothesenlockerung.

Menschen, denen eine Hüft-TEP implantiert worden ist, dürfen – sobald die Hüfte nach etwa 6 Monaten fest eingewachsen ist – wieder Sport treiben und

Ski fahren. Die Kunststoff-Inlays der Hüft-TEP sind härter und abriebfester als die der Knie-TEP. Vermieden werden sollten aber extreme Gelenkpositionen (Spagat, extreme Hüftrotation etc.), um eine Luxation der Hüft-TEP zu verhindern, die auch noch nach Jahren auftreten kann. Ein seitlicher Sturz auf den Trochanter major ist gefährlich, da durch die direkte Krafteinwirkung der Femur bzw. die Hüft-TEP brechen können. Ein Hüftprotektor oder eine Protektoren Hose zum Schutz der Hüfte sind daher notwendig.

Hüftschonende Technikelemente

(Siehe auch Abb. 6 Mitte)

- Beine schulterbreit,
- beide Ski belasten,
- moderater Hüftknick wird zugelassen,
- Sprunggelenke und Knie gebeugt, um Stöße abzufedern,
- leichte bis mäßige Vorlage erlaubt,
- Armhaltung: Hände mäßig nach vorn, durchaus auch in diagonaler Führung,
- extremen Kurvendruck vermeiden,
- eisige Pisten vermeiden (seitliche Sturzgefahr).

Rückenschonende Skitechnik

Bei Schülern (15–19 Jahre) eines norwegischen Ski-Internats wurden signifikant mehr Knie- und Rückenschmerzen gefunden: 67 % von Ihnen klagten über Beschwerden in der unteren Lendenwirbelsäule während des Schulaufenthalts, während nur 36 % von ihnen vor Eintritt in das Internat Rückenbeschwerden gehabt hatten. Beim alpinen Skifahren führten bei ihnen die Vor- und Rückneigung und die Rotation der Wirbelsäule zu Rückenschmerzen bzw. Rückenschäden (skoliotische Fehllage, Bandscheibenhernie, Mikrotrauma der Apophyse). Diese Beschwerden konnten vor allem bei holpriger Piste bzw. in der Buckelpiste festgestellt werden [42].

Daher ist es auch beim Skifahren notwendig, durch ein rückenschonendes Verhalten die Schmerzintensität zu verringern, dazu gehören auch die Vermeidung des Hebens und Tragens von Lasten, der Verzicht auf eine Haltung mit vorgebeugtem Oberkörper, die Unterlassung von ausgedehnten Bewegungen der Lendenwirbelsäule, die Stabilisierung der Wirbelsäule durch ein geziel-

tes Training der Rumpfmuskulatur über mehrere Wochen und das stundenweise Tragen eines stabilisierenden Korsetts.

Bewegungen der Wirbelsäule beim Skifahren

Überträgt man diese Verhaltensregeln auf das Skifahren, so sollte auch hier **möglichst ein stärkerer Bewegungsausschlag der Wirbelsäule vermieden** werden. Skitechniken, die mit einer betonten Beckenrotation, mit einem stärkeren Hüft- und Lendenwirbelsäulenknick oder mit einer starken Vorbeugung des Oberkörpers verbunden sind, sollten bei Rückenkrankheiten unterlassen werden (Abb. 6c).

Da die Wirbelsäule aus mehr als 30 verschiedenen Segmenten besteht, die jeweils einige Grad an Rotation zulassen, ist es auch bei Krankheiten der Lendenwirbelsäule erlaubt, eine leichte Rotation (10–20°) der **Brustwirbelsäule** (z.B. Antizipation des Oberkörpers beim Skifahren) durchzuführen. Dabei kommt keine Rotationskomponente mehr in der Lendenwirbelsäule an, weil jedes Brustwirbelsegment schon für sich allein etwa 3–4° rotieren kann.

Eine Rotation der **Lendenwirbelsäule**, wie dies beim Skifahren beispielsweise bei Verdrehungen der Beugelenke und Beckenregion (Gegendrehen, Beckenverwringung) entstehen kann, ist aber nicht sinnvoll.

Wirbelsäulenform

Wenn ein Sportler Rückenschmerzen hat, kann versucht werden, zunächst eine **Neutralhaltung** einzuüben. Diese Neutralhaltung entspricht einer harmonischen Krümmung der Brust- und Lendenwirbelsäule innerhalb von normalen, individuellen Grenzen. Häufig können dadurch schon die Schmerzen gelindert werden: Ein starkes Hohlkreuz, das zu einer Überlastung der Wirbelgelenke führt, kann etwa durch eine Kräftigung der Bauchmuskeln reduziert werden. Ein zu starker Rundrücken kann durch ein Training der Streckmuskulatur der Brustwirbelsäule gebessert werden.

Schmerzlindernde Lordose (Hohlkreuz) oder Kyphose (Rundrücken)

Gelegentlich lassen sich Rückenschmerzen im Sport (etwa beim Radfahren) lin-

Diagnose	Orthopädische Verordnung
Kniegelenkarthrose	
• Allgemein	Stabilisierende Knieorthese, Fersen-Puffereinlagen
• Instabilität	Stabilisierende Knieorthese (Brace), Tape
• Medial betont bzw. O-Bein	Einlage mit Außenranderhöhung von 3–7 mm bzw. entsprechendes Skischuhcanting. Stabilisierende valgusierende Knieorthese.
• Lateral betont bzw. X-Bein	Einlage mit Innenranderhöhung von 3–7 mm bzw. entsprechendes Skischuhcanting. Stabilisierende varisierende Knieorthese.
Retropatellararthrose	Knieorthese mit extendierender Federwirkung (z.B. Ski-Mojo)
Patellagleitweg Zu weit lateral oder medial	Kniebandage mit Patellaführung, Tape-Verband
Sprunggelenkversteifung	Einlage im Skischuh mit Fersenerhöhung (Erzeugung einer leichten Vorlage im Schuh)

Tabelle 1 Hilfsmittel, Einlagen und Skischuhzurichtung bei Kniegelenkarthrose.

dern, wenn bewusst entweder eine stärkere Hohlkreuzhaltung oder ein stärkerer Rundrücken eingehalten werden (Test nach Van Gelderen). Dies ist jeweils von der pathologischen Ursache der Wirbelsegmentsschmerzen abhängig. Daher kann auch beim Skifahren eine betonte Hohlkreuzbildung – oder aber ein leicht betonter Rundrücken – ausprobiert und bei Erfolg eingehalten werden.

Die schmerzlindernde Wirkung eines **Korsetts**, welches den Beckenkamm umfasst und aus relativ festem Material besteht (z.B. Hohmann-Mieder, Boston-Korsett), ist bei einigen Sportarten (Schwimmen) festgestellt worden. Es wäre daher auch bei Menschen mit stärkeren Schmerzen (und z.B. mit Gefügelockerungen, Wirbelgleiten, instabilen Bandscheiben etc.) zu überlegen, ob ein derartiges Korsett Linderung im Alltag und beim Skifahren bringen könnte. Durch ein Korsett wird außerdem der Bauch-Innendruck erhöht, was eine Entlastung der Bandscheiben zur Folge hat.

Wirbelsäulenschonende Skitechnik

(s.a. Abb. 6c)

- Beine hüftbreit, beide Beine gleich oder auch abwechselnd belasten,
- Sprunggelenke, Hüfte und Knie gebeugt, um Stöße abzufedern,
- keine Torsion oder Seitneigung im Becken-Lendenwirbelsäulenbereich erlaubt,

- möglichst aufrecht fahren, nur leichte Vorlage erlaubt,
- schmerzfreie Neutralstellung des Rückens erarbeiten,
- Armhaltung: Hände an den Körper, nicht nach vorn,
- eventuell Korsett.


Ausblick

Carving ist eine reine Pistentechnik. Wenn die Kante nicht mehr greift, hören die Vorteile des Carvens auf. Im Tiefschnee können zwar – ähnlich wie beim Carven – auch beide Beine belastet werden, aber die Skiführung muss viel enger sein.

Durch die oben angegebenen Verhaltensmodule steht den Skifahrern ein „Menu“ zur Verfügung, wie sie durch mindestens 20 verschiedene Haltungs- und Positionsänderungen die Piste bzw. das Gelände bewältigen können. Viele Skifahrer erlernen das Carven – wozu das Kanten und Biegen der Skier gehören – integrieren aber auch die alten Verhaltensweisen: Sie kanten um, bleiben dann aber völlig passiv. Andere schneiden mit ihren Carvingski den Schwung kurz an, gehen aber dann bewusst zum altgewohnten Driften über. Es ist auch möglich, wie gewohnt den Schwung auch mit dem Carvingski anzurutschen und die starke Taillierung für ein schneidendes Steuern zu nutzen. Die gelenkschonenden Vorteile des Carvens können also – je nach körperlicher Ein-

schränkung – individuell auch nur teilweise genutzt und trainiert werden.

Weitere Verbesserungen zur Skitechnik bzw. die Anpassung an individuelle Gegebenheiten der Skifahrer sind Thema der Forschungen: Eine leicht (in der Längsachse des Ski) nach vorn oder nach hinten verschobene Position der Bindung konnte bei Freizeit- und Rennskifahrern nicht nur die Slalomzeit verbessern, sondern auch das Komfortgefühl beim Fahren erhöhen. Die Rotationsstellung der Beine kann durch Änderung der Schuhposition im Ski korrigiert werden; zumindest soll im Stand, beim Ausruhen, der Ski so gestellt werden (Skienden ausstemmen oder Skispitzen ausscheren), dass es der natürlichen – oder operativ veränderten – und entspannten Rotationsstellung der Beine entspricht.

Es ist anzunehmen und zu hoffen, dass die weitere Entwicklung des Skimaterials und der Fahrtechniken einen noch besser auf den Menschen abgestimmten Bewegungsablauf ermöglichen werden. Damit wird es – wie auch im Handicap Sport – möglich sein, auch Menschen mit stärkeren Einschränkungen den Skisport zu ermöglichen. 

Korrespondenzadresse

Dr. med. Christoph Schönle
Klinik Lindenplatz GmbH
Weslarer Straße 29
59505 Bad Sassendorf
Christoph.Schoenle@klinik-lindenplatz.de

Literatur

- 1 Friedrich F, Gattermann E, Kuchler W. Jugendgemäße Ski-Grundausbildung. Schorndorf: Hofmann Verlag, 1969
- 2 Zehetmayer H. Versuche mit Skimodellen. Wien: Österreichischer Bundesverlag, 1990
- 3 Kuchler W. Carven – der Skikurs für Einsteiger und Umsteiger. Reinbeck: Rowohlt-Verlag, 2002
- 4 van den Bogert A, Read L, Nigg B. An analysis of hip joint loading during walking, running, and skiing. *Med sci sports exerc* 1999; 31: 131–142
- 5 Kuchler W. Superski – radikal radial. Köln: Echo-Verlagsgesellschaft, 1995
- 6 Fehr H. Dr. Walter Kuchler – ein Leben für den Sport. In: Kuchler, A, Kuchler, B (Hrsg). Skifahren ein Leben – Erlebnis Skifahren. Wiehl: Gronenberg Druck, 2002
- 7 Spitzenpfeil P, Hartmann U. Trainingsbetreuung Ski-alpin – Objektivierung der Technikanalyse. In: BISP-Jahrbuch 2004, 343–349
- 8 Mössner M, Nachbauer W, Schwindelwig K. Einfluss der Skitaillierung auf Schwungradradius und Belastung. *Sportverletz Sportschaden* 1997; 11:140–145
- 9 Kuchler, W. Bilder und Überlegungen zum Thema Kurvenlage. *Skimanual Sports* 2005/2006
- 10 Wörndle W. Carving – ein neuer Skitrend. Auswirkungen auf Fahrtechnik und Sicherheit. *Sportverletz Sportschaden* 1997; 11:118–121
- 11 Muser M, Schmitt K, Lanz C et al. Experimentelle Bestimmung biomechanischer Belastungen bei Skifahrer-Kollisionen. *Deut Z Sportmed* 2009; 60: 315–320
- 12 Soltmann J. Verletzungen im alpinen Skisport unter Berücksichtigung der Entwicklung in der Skitechnologie. Dissertation TU München 2005
- 13 Schulz D. Unfälle und Verletzungen im alpinen Skisport. Düsseldorf, ARAG Allgemeine Versicherungs-AG – Sportversicherung 2013
- 14 Küpper T, Steffgen J, Gore C et al. Qualified rescue by ski patrols – safety for the skier. *Int J Sports Med* 2002; 23: 524–529
- 15 Ruedl G, Sommersacher R, Woldrich T et al. Risikofaktoren von Kopfverletzungen auf österreichischen Skipisten. *Deut Z Sportmed* 2010; 61: 97–102
- 16 TuLi T, Haechet, Berger N, et al. Facial trauma: How dangerous are skiing and snowboarding? *J Oral Maxillofac Surg Clin North Am* 2010; 68: 293–299
- 17 Schaff P, Gläser H. Skiunfälle. *Sport Orthop Traumatol* 2001; 17: 38–39
- 18 Johnson R, Ettlinger C, Shealy J et al. Impact of super sidecut ski on the epidemiology of skiing injuries. *Sportverletz Sportschaden* 1997; 11: 150–152
- 19 Wölfel R, Köhne G, Schaller C et al. Gefahren beim Carvingskifahren. *Sportverletz Sportschaden* 2003; 17(3): 132–136
- 20 Köhne G, Kuschea H, Schallera C et al. Skiunfälle – Veränderungen seit Einführung des Carvingski. *Sport Orthop Traumatol* 2007; 23:63–67
- 21 Ruedl G, Schranz A, Fink C et al. Knieverletzungen bei Frauen im Freizeitskilauf – Risikofaktoren und Präventivmaßnahmen im Überblick. *Deut Z Sportmed* 2009; 60: 345–349
- 22 Brinckmann P, Frobin W, Leivseth G. Orthopädische Biomechanik. Stuttgart: Thieme, 2000
- 23 Schönle C. Rehabilitation. Stuttgart: Thieme, 2004
- 24 Kaiser F. Carven im Vergleich zur Skitechnik des sportlichen Läufers (Rennläufers) und des Freizeitläufers bzw. „Komfortläufers“. *Sportverletz Sportschaden* 1997; 11: 126–129
- 25 Kober E, Held H. Carving erweitert das Skifahren. *Sportverletz Sportschaden* 1997; 11: 122–123
- 26 Jöllenebeck T, Schönle C. Schontechniken im alpinen Skilauf – biomechanische Einzelfallstudie zur Abschätzung möglicher Effekte. *Deut Z Sportmed* 2012; 63: 248
- 27 Schönle C, Jöllenebeck T. Gelenkkräfte auf die Hüfte beim Carven. *Deut Z Sportmed* 2012; 63: 248
- 28 Lafontaine D, Lamontagne M, Dupuis D et al. Analysis of the distribution of pressure under the feet of elite alpine ski instructors. In: Riehle H, Vieten M (eds) 16th ISBS 1998, Germany: Konstanz
- 29 Klous M, Müller E, Schwameder H. Lower extremity joint loading in carved ski and snowboard turns. In: Menzel H, Chagas M (eds) 25th ISBS 2007, Brazil: Ouro Preto
- 30 Müller E, Benko U, Raschner C et al. Specific fitness training and testing in competitive sports. *Med sci sports exerc* 2000; 216–220
- 31 Brodie M. Optimisation of performance in alpine ski racing with fusion motion capture. Massey University 2009, Wellington, New Zealand. <http://muir.massey.ac.nz/handle/10179/1041>, Zugr. 26.05.2014
- 32 Fisher N, Pendergast D, Gresham G et al. Muscle rehabilitation: Its effect on muscular and functional performance of patients with knee osteoarthritis. *Arch Phys Med Rehabil* 1991; 72: 367–374
- 33 McPherson E, Cushner F, Schiff C et al. Natural history of uncorrected flexion contractures following total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 1994; 9: 499–502
- 34 Horstmann T, Mayer F, Heitkamp H et al. Biokinetische Messungen bei Arthrosepatienten. *Deut Z Sportmed* 1998; 49, Sonderheft 1: 187–191
- 35 D’Lima D, Colwell C. Rotating versus fixed bearings: What should we use in the young patient? *Curr Opin Orthop* 2001; 12: 26–32
- 36 Malzer U, Schuler P. Die Komponenten- ausrichtung beim Oberflächenersatz des Kniegelenkes. *Orthop Prax* 1998; 34: 141–148
- 37 Griffin W: Prosthetic knee instability: Prevention and treatment. *Curr Opin Orthop* 2001; 12: 37–44
- 38 Spicer D, Pomeroy D, Badenhausen W et al. Body mass index as a predictor of outcome in total knee replacement. *Int Orthop* 2001; 25: 246–249
- 39 Kutschera H, Lack W, Buchelt M et al. Die Patellaposition nach Knieendoprothese. *Z Orthop* 1998; 136: 162–165
- 40 Dargel J, Schmidt-Wiethoff R. Aktivitätsniveau von Patienten mit totaler Knieendoprothese. *Sport Ortho Trauma* 2009; 24: 253–255
- 41 Simmel S, Hörterer H, Horstmann T. Sport nach Hüfttotalendoprothese – Expertenmeinung versus Patientenrealität. *Deut Z Sportmed* 2008; 59: 268–272
- 42 Bergstrom K, Brandseth K, Fretheim S et al. Back injuries and pain in adolescents attending a ski high school. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2004; 12: 80–85