

H.-Ch. Heitkamp, D. Moll, A. Nieß, T. Horstmann, F. Mayer, H.-H. Dickhuth

# Leistungsdiagnostische Tests und Wettkampfprognose im Skilanglauf

## Performance diagnostic tests and competition performance in Nordic skiing

Med. Klinik und Poliklinik, Abt. Sportmedizin  
(Ärztl. Direktor: Prof. Dr. H.-H. Dickhuth) Universität Tübingen

### Zusammenfassung

Bedingt durch eine geringere Sauerstoffaufnahme bei vergleichbarer Geschwindigkeit und einen erhöhten Armkrafteinsatz bedarf die Skatingtechnik im Skilanglauf neuer leistungsdiagnostischer Grundlagen im Vergleich zur Diagonaltechnik. Untersucht wurde die Bedeutung verschiedener sportartspezifischer oder semisportartspezifischer Feldtests beim Skating für die Wettkampfprognose. Stufenförmige Ski- und Rollskifeldtests über 4 x 3 km, Maximaltests mit alleinigem Arm- oder Beineinsatz, ein Rollskiwettkampf und eine Laufbandspiroergometrie wurden im Hinblick auf das Ergebnis eines 7,5 km Skilanglaufwettkampfes an 11 Nachwuchsleistungssportlern untersucht. Gemessen wurden Herzfrequenz, Laktat und Laufgeschwindigkeit. Relativ hohe metabolische Belastungen fanden sich nach dem Skiwettkampf mit 11,2, dem Rollskiwettkampf mit 9,7 und der Laufbandergometrie mit 9,3 mmol/l Laktat. Die Korrelation zwischen Wettkampfgeschwindigkeit und Geschwindigkeit bei Armarbeit im Skilanglauf betrug 0,97, bei der Geschwindigkeit bei 4 mmol/l im Skifeldtest 0,89 und bei 3 mmol/l Laktat 0,86, beim Rollskiwettkampf 0,88, bei der Rollskigeschwindigkeit bei 3 mmol/l 0,87 sowie bei 4 mmol/l Laktat und bei der maximalen Laufbandgeschwindigkeit 0,85. Die multiple Regressionsanalyse zeigte eine sehr genaue Wettkampfprognose aus Geschwindigkeit bei Armarbeit im Skilanglauf, submaximaler Geschwindigkeit im Ski- und Rollskifeldtest, Rollskiwettkampf und maximaler Laufbandgeschwindigkeit. Die maximale Sauerstoffaufnahme trägt zur Wettkampfprognose dagegen wenig bei. Im sportartspezifischen und im semisportartspezifischen Training sollte auf die Armarbeit besonderer Wert gelegt werden.

**Schlüsselworte:** Skilanglauf, Skiroller, Wettkampfprognose, Laktatschwellen, Sauerstoffaufnahme

### Summary

The lower oxygen consumption during skating in comparison to Nordic skiing and the higher arm effort made new performance

diagnostic tools necessary. The applicability of different sport specific and semi sport specific field tests was investigated for skating and roller-skiing for prediction of performance in skating races. Incremental ski- and roller-ski-field tests for 4x3 km, maximal tests with either arm or leg work, a roller ski competition and a treadmill spiroergometry were performed in 11 junior top athletes for prediction of a 7,5 km Nordic ski race. Heart frequency, lactate and running speed were measured. A high metabolic load was found during the ski race with 11,2 mmol/l, the roller-ski race with 9,7 mmol/l and after treadmill ergometry with 9,3 mmol/l lactate. The correlation of race speed to the speed during arm work on ski was 0.97, during speed at 4 mmol/l lactate in ski field test 0.89 and at 3 mmol/l lactate 0.86, to roller-ski speed 0.88, to roller ski speed at 3 mmol/l lactate 0.87 and 0.85 at 4 mmol/l and at maximum treadmill speed. Multiple regression analysis showed a good competition prediction from speed at arm work during ski, submaximal speed on ski and roller-ski and maximum treadmill speed. Maximum oxygen consumption yields small information for race prediction. Arm work should be emphasized during sport specific and semi sport specific training

**Key words:** nordic skiing, roller skiing, competition prediction, lactate thresholds, oxygen consumption

### Einleitung

Die Wettkampfleistung im Skilanglauf wird von vielen Faktoren beeinflusst. Die allgemeine aerobe Ausdauer gilt als Grundlage für die Leistungsprognose und wurde für die Diagonaltechnik gut etabliert (6,14,20). Nach der Einführung der Skatingtechnik zeigte sich bei vergleichbarer Geschwindigkeit eine um 10 - 40 % niedrigere Sauerstoffaufnahme (13,25), die Korrelationen zur Wettkampfleistung waren nur noch schwach. Die Leistungsprognose aus der Laufgeschwindigkeit an der anaeroben Schwelle erlaubte nur eine grobe Orientierung (11). Die Bedeutung von Feldtests nahm in der Folge zu, zumal portable Laktatanalysesysteme die Laktatdiagnostik im Feld praktikabel machten. Welche Feld- und Athletiktests neben der traditionellen Laufbandergometrie eine Wettkampfprognose für kürzere Distanzen in der Skatingtechnik zulassen, war Gegenstand der vorliegenden Untersuchung.

### Untersuchungsgut und Methodik

Bei 11 Mitgliedern eines Landesnuchwuchskaders im Skilanglauf (Alter  $17,0 \pm 2,2$  Jahre (15-22 Jahre), Gewicht  $66,0 \pm 8,1$  kg und Größe  $177 \pm 6$  cm) wurden Athletiktests, Ski- und Rollskifeldtests und ein Skiwettkampf durchgeführt. Am Ende der Vorbereitung nach individuell unterschiedlichem postsaisonalen Training (Tab. 1) wurden im Herbst

	Ski [km]	Rollski [km]	Cross [km]	Gesamt [km]	Rad [km]	Kraft [min]	Zeit [min]
$\bar{x}$	421	1139	785	2333	1075	1571	19044
Bereich	282 – 881	200 – 2053	255 – 1353	737 – 4163	375 – 1274	150 – 2460	13700 – 27375

Tab. 1: Umfang (in km) der einzelnen Trainingsinhalte eines Nachsaison- und Sommertrainings bis zur Untersuchung der 11 Nachwuchskaderathleten. (Gesamt = Ski + Rollski + Crosslauf)

Leistungsparameter	Geschwindigkeit [km/h]	Herzfrequenz [1/min]	Laktat [mmol/l]
Skiwettkampf	22,6 ± 1,6	189 ± 9	9,9 ± 1,7
Rollskiwettkampf	22,6 ± 1,3	196 ± 8	11,9 ± 3,0
Armarbeit Ski	20,0 ± 1,8	179 ± 8	9,0 ± 1,6
Armarbeit Rollski	19,2 ± 2,1	193 ± 6	7,9 ± 1,7
Beinarbeit Ski	20,0 ± 1,3	182 ± 10	9,5 ± 1,6
Beinarbeit Rollski	17,2 ± 1,3	194 ± 5	8,1 ± 1,9

Tab. 2: Leistungsrelevante Parameter der Maximaltests auf Ski und Skiroller

innerhalb von 6 Wochen ein Rollskiwettkampf, gefolgt von 1000- oder 3000m-Läufen, ein Athletiktest, Skirollertest, Laufbandspiroergometrie und ein Skifeldtest durchgeführt. Den Abschluß bildete der Skiwettkampf.

## Athletiktests

Gemäß dem im Kader üblichen Vorgehen liefen fünf über 17jährige Athleten die 3000 m und sieben bis 17 Jahre alte Athleten die 1000 m-Distanz bei einer Temperatur von 5°C auf einer trockenen Tartanbahn.

Folgende sportmotorische Tests kamen zum Einsatz (3):

- Die lokale Muskelausdauer der Armmuskulatur wurde durch die maximale Anzahl/min von Liegestützen rücklings erfaßt.
- Zur Beurteilung der Schnellkraft der Beine wurde ein Standweitsprung mit beidbeiniger Landung durchgeführt.
- Zur Beurteilung der Kraftausdauer der Bauch- und Hüftbeugemuskulatur erfolgten Sit-ups, bei denen in Rückenlage bei 90°-gebeugten Knien innerhalb von 1 min der Oberkörper bis zum Erreichen der Knie mit den Ellenbogen möglichst oft aufgerichtet werden mußte.

Den Ergebnissen wurde eine Punktzahl nach im Kader üblichen Vorgaben zugeordnet.

## Laufbandtest

Unter standardisierten Bedingungen (20°C, 50 ± 5 % relative Feuchte) absolvierten die Teilnehmer eine spiroergometrische Laufbanduntersuchung bei 5 % Steigung beginnend mit 6 km/h und einer Steigerung von 2 km/h nach jeweils 3 min. Die Laktatbestimmung aus dem arterialisierten Blut erfolgte am Ende jeder Stufe (enzymatisch, ESAT, Eppendorf, Hamburg). Die Herzfrequenz wurde aus dem EKG gemessen. Aus der Laktatleistungskurve ließ sich die Laufgeschwindigkeit bei 3 mmol/l (17) sowie bei 4 mmol/l Laktat (15) und aus der individuellen anaeroben Schwelle (4) bestimmen.

## Feldtests

Als Bezugspunkt für alle Messungen galt ein Skiwettkampf über 7,5 km, bei dem im Abstand von 30 s (Temperatur 0°C über Schnee) gestartet wurde. Als semisportartspezifischer Wettkampftest wurde ein Rollskiwettkampf über 10 km auf einem 2,5 km langen Rundkurs mit leichtem bis mittelschwerem Charakter bei 10 Athleten durchgeführt (15,5°C).

Feldstufentests wurden sowohl auf Ski (-2°C), als auch auf nasser Fahrbahn (10°C) auf Rollski über 4 x 3 km durchgeführt. Pro Runde steigerte der Sportler die Herzfrequenz anhand einer Pulsuhr (Polar PE 3000)

um 10-15 Schläge/min, ausgehend von 150/min.

Ausdauerests zur Überprüfung der maximalen Leistung der Oberkörpermuskulatur wurden ohne Beineinsatz mit Doppelstocktechnik über 3 km auf Kunstschnee (1°C) und die Beinaktivität ohne Stöcke durchgeführt. Analoge Tests fanden über 4,2 km auf nasser Fahrbahn (11°C) auf Skirollern statt.

Laktat wurde vor und sofort nach allen Tests bestimmt, bei dem Feldstufentest auch nach jeder Runde. Die Herzfrequenz wurde kontinuierlich gemessen und ausgewertet.

## Statistik

Alle Parameter wurden auf Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov geprüft, als Mittelwert und Standardabweichung dargestellt und eine lineare Korrelationsberechnung durchgeführt. Mittels multivariater Regressionsanalyse wurden die zur Wettkampfform prognose geeigneten Parameter ermittelt. Das Signifikanzniveau lag bei  $p < 0,05$ .

## Ergebnisse

Beim 1000 m-Lauf erzielten die Athleten eine Laufgeschwindigkeit von 18,6 ± 1,3 km/h, entsprechend Zeiten zwischen 2:58 und 3:37 min, im 3000 m-Lauf 17,1 ± 1,1 km/h bzw. 9:29 und 11:38 min. Bei den sportmotorischen Tests wurden im Mittel 86 ± 19 Liegestütze, im Standweitsprung 2,39 ± 0,19 m und bei den Sit ups 48 ± 3,0/min erreicht.

Aus der Laufbanddiagnostik ließ sich eine maximale Laufgeschwindigkeit von 17,2 ± 1,3 km/h bei einer maximalen Sauerstoffaufnahme von 70,6 ± 7,5 ml x min<sup>-1</sup> x kg<sup>-1</sup> ermitteln.

Im Skiwettkampf wurde nahezu die gleiche Geschwindigkeit wie im Rollskiwettkampf erreicht, wobei die anaerobe Beanspruchung bei entsprechend höherer Herzfrequenz etwas verstärkt war (Tab. 2). Die maximale Geschwindigkeit bei Arm- und Beinarbeit war auf Ski ähnlich, dagegen auf Rollski bei Beinarbeit deutlich langsamer. Bei Armarbeit war die Geschwindigkeit auf Ski und auf Rollski eher vergleichbar (Tab. 2). Bei diesen Tests unterschied sich die metabolische Beanspruchung kaum, und nur bei Beinarbeit auf Ski lag die Herzfrequenz niedriger.

Die maximale Geschwindigkeit im Skiwettkampf und bei Arm- und Beinarbeit lag

auf Ski dichter beieinander als auf Rollski (Abb. 1,2). Auf Ski kommt die Geschwindigkeit bei der 4 mmol/l Laktatschwelle im Feldstufentest der Wettkampfgeschwindigkeit am nächsten (Abb. 1). Beim Rollski liegt eher die submaximale Geschwindigkeit und die Geschwindigkeit bei Armarbeit der maximalen Leistung nah (Abb. 2). Aus dem Feldtest erscheint die Geschwindigkeit bei 3 mmol/l weniger aussagekräftig.

Bei den submaximalen Parametern läßt sich aus Abbildung 3 das Ausmaß der höheren Laufgeschwindigkeit beim Skifeldtest bei 4 und 3 mmol/l Laktat gegenüber dem Laufband ablesen. Nahezu identisch ist die Geschwindigkeit im Bereich der 3 mmol/l und 4 mmol/l Laktatschwelle auf Ski und Skirollern. Die Berechnung der Korrelationen zwischen Skiwettkampfgeschwindigkeit und den Para-

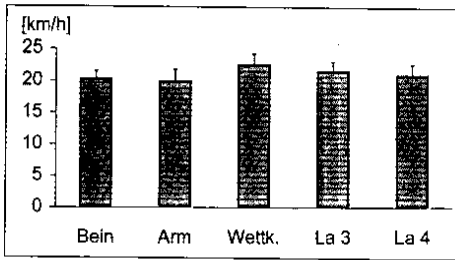


Abb. 1: Geschwindigkeit bei einem Skiwettkampf über 7,5 km (Wettk.), bei alleinigem Bein- und alleinigem Oberkörpereinsatz (Doppelstockeinsatz) über jeweils 3 km sowie bei 3 und 4 mmol/l Laktat im Feldstufentest über 4 x 3 km

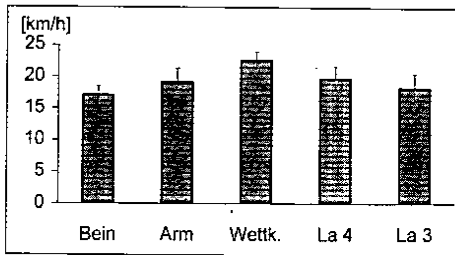


Abb. 2: Geschwindigkeit bei einem Rollskiwettkampf über 10 km (Wettk.), bei alleinigem Bein- und alleinigem Oberkörpereinsatz über jeweils 4,2 km und bei 3 und 4 mmol/l im Feldstufentest über 4 x 3 km

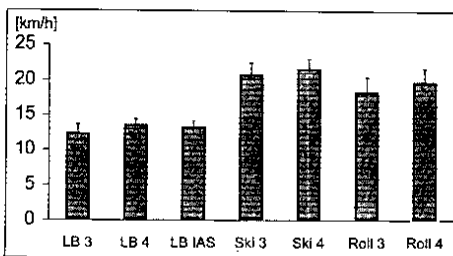


Abb. 3: Geschwindigkeit an der individuellen anaeroben Schwelle (IAS) sowie bei 3 und 4 mmol/l Laktat auf dem Laufband (LB) und im Feldstufentest über 4 x 3 km bei 3 und 4 mmol/l Laktat auf Ski und Rollski

		(n)	(r)	(p)
Testwettkampf Ski v	Armeinsatz Ski v	11	0,97	< 0,001
Testwettkampf Ski v	Ski v 4 mmol/l Laktat	11	0,89	< 0,001
Testwettkampf Ski v	Ski v 3 mmol/l Laktat	11	0,86	< 0,001
Testwettkampf Ski v	Roller v 3 mmol/l Laktat	11	0,87	< 0,001
Testwettkampf Ski v	Roller v 4 mmol/l Laktat	11	0,85	< 0,001
Testwettkampf Ski v	Laufband v max	11	0,85	< 0,001
Testwettkampf Ski v	VO <sub>2</sub> max [ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> ]	10	0,73	< 0,05
Testwettkampf Ski v	Rollskiwettkampf v	9	0,88	< 0,002

Tab. 3: Korrelation zwischen Geschwindigkeit im Skiwettkampf und der Geschwindigkeit in den sportartspezifischen Feldtests und semisportartsspezifischen Tests sowie zu Ergebnissen der Laufbandspirometrie

metern der Konditionstests erbrachte folgenden signifikante Zusammenhänge (Tab.3):

- Mit Abstand war die Korrelation zwischen Skiwettkampfgeschwindigkeit und Geschwindigkeit bei Oberkörperarbeit auf Ski am deutlichsten, gefolgt von der Geschwindigkeit bei 4 mmol/l Laktat und bei 3 mmol/l Laktat im Skifeldtest.
- Zur Wettkampfgeschwindigkeit bestand ebenfalls eine hohe Korrelation bei der Rollskigeschwindigkeit bei 3 mmol/l und bei 4 mmol/l Laktat sowie bei der Rollskiwettkampfgeschwindigkeit bei allerdings nur 9 Athleten.
- Von der Laufbanddiagnostik war am ehesten die maximale Geschwindigkeit verwertbar, nicht dagegen die VO<sub>2</sub> max.
- Die Zeit des 1000 m-Laufs zeigte ebenso wie die Athletiktests keinen Zusammenhang mit der Wettkampfgeschwindigkeit, angedeutet aber der 3000 m-Lauf.

Die Wettkampfleistung im Skilanglauf konnte zu 99 % unter Einbeziehung der Geschwindigkeit bei Armeinsatz im Skitest, beim Rollskiwettkampf, bei Ski und Rollski bei 4 mmol/l Laktat und von maximaler Laufbandgeschwindigkeit prognostiziert werden.

## Diskussion

Das wichtigste Ergebnis der Studie besteht in dem sehr engen Zusammenhang zwischen Oberkörperarbeit und Wettkampfleistung. Dieser Zusammenhang scheint im Hinblick auf den höheren Armeinsatz bei der Skating-Technik gegenüber dem klassischen Stil begründbar (13). Bemerkenswerterweise kommt der Beinarbeit sowohl beim Ski- als auch beim Rollski keine große Bedeutung für die Wettkampfgagnose zu. Nationalmannschaftsmittglieder erreichen bei der Oberkörperarbeit eine Sauerstoffaufnahme bis zu 85

% der VO<sub>2</sub> max, (7), ein weiterer Hinweis für die Bedeutung einer gut entwickelten Kraftausdauer der Oberkörpermuskulatur.

Bei den Skiwettkämpfen muß der Athlet sowohl über eine hohe aerobe als auch über eine gute anaerobe Kapazität verfügen, wie an den Laktatwerten um 10 mmol/l im Ziel abzulesen ist; das gilt auch für den Rollskiwettkampf. Auch andere Autoren gehen von einem hohen anaeroben Anteil bei der Energiebereitstellung bei Wettkämpfen zwischen 5 und 15 km aus (3,6,7).

Auch bei kombinierter Arm- und Beinarbeit zeigte sich eine hohe anaerobe Beanspruchung im spezifischen und semispezifischen Feldtest bei nahezu gleicher Laktatkonzentration, trotz geringerer Beteiligung der Oberkörpermuskulatur. Vermutlich kommt es aufgrund der insgesamt größeren eingesetzten Muskelmasse zu einer geringeren lokalen Durchblutungssteigerung (12). Auf den Oberkörpereinsatz ist ein früheres Überschreiten der 4 mmol/l Laktatschwelle zurückzuführen. Da die Laktatkonzentration bei vergleichbarer Leistung bei einer kleineren eingesetzten Muskelmasse deutlich schneller als die Herzfrequenz ansteigt, liegt die Herzfrequenz an der 4 mmol/l-Laktatschwelle bei kombinierter Arm- und Beinarbeit um 10 Schläge niedriger. Aus dieser Erkenntnis heraus wurde früher empfohlen, die aus der Laufbandergometrie abgeleitete Schwellenherzfrequenz im Training um 10 Schläge/min niedriger anzusetzen. Die Trainingspulsfrequenz läßt sich deshalb besser aus einem sportartspezifischen Feldtest mit Laktatanalyse als aus einer Laufbandbelastung ableiten.

Durch den zusätzlichen Armeinsatz kommt nach dem vorliegenden Resultat der 4 mmol/l - Laktatschwelle aus Feldstufentests eine höhere Bedeutung als der 3 mmol/l Laktatschwelle zu. Offensichtlich wird das Laktat steady state auf ein höheres Niveau verschoben.

ben und die Sauerstoffaufnahme im Bereich der Schwelle um 10 % gesteigert (21). Bedingt durch die größere eingesetzte Muskelmasse kommt der Laktatdiagnostik im Training eine höhere Bedeutung als der Laufbanddiagnostik zu. Um das Belastungsempfinden zu optimieren, werden häufige Laktatkontrollen im Training empfohlen.

Die geringfügig niedrigere Herzfrequenz auf Ski bei der Schwellendiagnostik im Vergleich zum Skirollertest läßt sich bei gleicher metabolischer Belastung auf die niedrigere Außentemperatur zurückführen, was sich auch an der niedrigeren Herzfrequenz beim Skiwettkampf erkennen läßt (23). Hier kann auch die etwas höhere metabolische Belastung eine Rolle spielen. Die um 14 bzw. 11 Schläge/min höhere Herzfrequenz bei Arm- und Beinarbeit mit eher niedrigerer Laktatkonzentration bei Armarbeit und vergleichbarer Laktatkonzentration bei Beinarbeit sprechen für höhere statische Anteile beim Skitest.

Skilangläufer haben die höchste Sauerstoffaufnahme bei sportartspezifischer Belastung von allen Ausdauersportlern. Im Gegensatz zu einigen Autoren (1,5) zeigte sich nur ein schwacher korrelativer Zusammenhang zwischen  $VO_2$  max und Wettkampfleistung, was mit dem Alter der Athleten zusammenhängen kann, denn zwischen dem 15. und 20. Lebensjahr entwickelt sich die aerobe Kapazität am stärksten, unabhängig von der Gewichtsentwicklung (10). Dennoch stimmt die gemessene aerobe Kapazität mit der in anderen Arbeiten an Nachwuchslistungsläufern überein (2), bei Nationalkaderathleten  $75,5 \text{ ml} \times \text{kg}^{-1} \times \text{min}^{-1}$  (24). Bei Teilnehmern an Olympischen Spielen sowie bei Norwegischen Nationalkaderathleten lag die  $VO_2$  max bei  $85 \text{ ml} \times \text{kg}^{-1} \times \text{min}^{-1}$  (2,10).

Während in der Diagonaltechnik (2) ein hoher korrelativer Zusammenhang zwischen  $VO_2$  max und Wettkampfleistung gefunden wurde ( $r = 0,87$ ), zeigte sich hier nur eine schwache Beziehung (0,62), was auf einen hohen Kraftausdaueranteil beim Skating zurückgeführt werden kann und mit anderen Untersuchungen an Nationalkaderjunioren übereinstimmt ( $r = 0,67$ , 11). So beschreiben Zupan *et al.* eine um 10-40% niedrigere Sauerstoffaufnahme beim Skating gegenüber der Diagonaltechnik (25).

Von der Laufleistung über 1000, 3000 m und den Athletiktests auf die Wettkampfleistung im Skirennen zu schließen, erscheint nicht möglich. Die etwas bessere Prognose

aus dem 3000 m-Lauf kann mit dem höheren aeroben Anteil über diese Distanz erklärt werden.

Die statistische Analyse zeigte zusätzlich die Bedeutung der Parameter aus den Feldtests. Der Laufbanddiagnostik kommt demnach nur eine marginale Bedeutung zu. Als einziger Parameter war die maximale Laufgeschwindigkeit für die Leistungsprognose von Bedeutung. Diese Aussage wird durch die nicht mögliche Auswertung eines Athleten etwas relativiert.

Methodenkritisch muß auf die relativ kleine Probandenzahl hingewiesen werden, die sich allerdings von anderen Arbeiten nicht unterscheidet, und die inhomogene Verteilung des Trainingspensums. Deswegen konnte die Trainingsanalyse nicht zur Wettkampfforegnose herangezogen werden. Die Fortsetzung des individuellen Trainings während des relativ langen Untersuchungszeitraums könnte zu geringen Leistungsveränderungen geführt haben, die die vorliegenden Ergebnisse möglicherweise beeinflusst haben. Wegen der verminderten Athletenzahl im Rollskiwettkampf könnte dieser Test für die Wettkampfforegnose ein zu ungünstiges Ergebnis gezeigt haben.

## Literatur

- Bergh K: Physiology of cross-country ski racing. Champaign, 1982
- Bergh U, Forsberg A: Skilanglauf. In: Shephard R, Astrand PO (Hrsg): Ausdauer im Sport. Dtsch Ärzte Verlag, Köln, 1995, 549-559
- Bös K: Handbuch sportmotorischer Tests. Hogrefe, Göttingen-Toronto-Zürich, 1987.
- Dickhuth HH, Aufenanger W, Schmidt P, Simon G, Huonker M, Keul J: Möglichkeiten und Grenzen der Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung im Mittel- und Langstreckenlauf. Leistungssport 4 (1989), 21-24
- Eidenschink S, Jeschke D, Haas W: Skilanglaufergometrie - Methodische Verbesserung. Dtsch Z Sportmed 41 (1990), 436-442
- Eisenman PA, Johnson SG, Bainbridge CN, Zupan MF: Applied physiology of crosscountry skiing. Sports Med 8 (1989), 67-79
- Hoffman MD, Clifford PS: Physiological responses to different cross-country skiing techniques on level terrain. Med Sci Sports Exerc 22 (1990), 841-848
- Hoffman MD, Clifford PS: Physiological aspects of competitive cross-country skiing. J Sports Sci 10 (1992), 3-27
- Hoffman MD, Clifford PS, Jones GM, Bota B, Mandli M: Effects of technique and pole grip on physiological demands of roller skiing on level terrain. Int J Sports Med 12 (1991), 468-473
- Inglis F: Maximal oxygen uptake as a predictor of performance ability in women and men elite cross-country skiers. Scand J Med Sci Sports 1 (1991), 25-30
- Jakob E, Keul J: Sportmedizinische Leistungssteuerung mit Kaderathleten. In: Neumaier A, Grützmaier K: Entwicklungstendenzen im Skilanglauf. Köln 1993, 84-96
- Jensen-Urstad M, Ahlborg G: Is the high lactate release during arm exercise due to a low training status? Clin Physiol 12 (1992), 487-496
- Karvonen J, Kubica R, Kalli S, Wilk B, Kransicki S: Effects of skating and diagonal techniques on skiing load and results in cross-country skiing. J Sports Med 27 (1987), 473-477
- Kelley JM: Physiology of cross-country skiing. Winter Sports Med (1990), 277-283
- Mader A, Liesen H, Heck H, Philippi R, Rost R, Hollmann W: Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. Sportarzt Sportmed 27 (1976), 80-88
- Millerhagen JO, Kelley JM, Murphey RJ: A study of combined arm and leg exercise with application to nordic skiing. Canad J Appl Sport Sci 13 (1986), 92-97
- Neumann G, Pfützner A, Hottenrott K: Alles unter Kontrolle - Ausdauertraining. Aachen, 1993
- Pfützner A: Zur Bedeutung und methodischen Gestaltung des disziplinspezifischen Krafttrainings im Skilanglauf. Dissertation DHFK Leipzig (1981)
- Pierce JC, Pope MH, Renström P, Johnson RJ, Duffek J, Dillmann C: Force measurement in cross-country skiing. Int J Sport Biomech 3 (1987), 382-391
- Schürch PM, Wälli T: Über den Einfluß von verschiedenen Schrittartern auf Kreislauf und Stoffwechsel im Skilanglauf. Dtsch Z Sportmed 12 (1985), 360-366
- Smith GA, Nelson RC, Feldmann A, Rankinen JL: Analysis of VI skating technique of Olympic cross-country skiers. Int J Sport Biomech 5 (1989), 185-207
- Street GM: Kinetic analysis of the VI skate technique during roller skiing. Med Sci Sports Exerc 21 (1989), 79
- Therminarias A, Flore P, Oddow-Chirpaz MF, Pelerei E, Quirion A: Influence of cold exposure on blood lactate response during incremental exercise. Eur J Appl Physiol 58 (1989), 411-418
- Yu DD, Nowacki PE, Schülke S: Vergleichende Untersuchungen über den Wert der sportartspezifischen Leistungsdiagnostik im Feldtest und im Labor bei Skilangläufern der deutschen Spitzenklasse. In: Rieckert H: Sportmedizin - Kursbestimmung. Berlin-Heidelberg (1987), 727-732
- Zupan MF, Shepherd TA, Eisenman PA: Physiological responses to nordic tracking and skating in elite cross-country skiers. Med Sci Sports Exerc 20 (1988), 81

**Anschrift für die Autoren:**  
**Priv. Doz. OA Dr. H.-Ch. Heitkamp**  
**Med. Klinik und Poliklinik**  
**Abteilung Sportmedizin**  
**Hölderlinstr. 11**  
**72074 Tübingen**