

Gut eingerollt ist „halb gewonnen“

Bestimmung des Rollwiderstandskoeffizienten von Rollskis im Labor

Steiner, T.¹, Stähli, A.², Müller, B.¹, Wehrli, J.P.¹

¹Eidgenössische Hochschule für Sport, Ressort Leistungssport, Bundesamt für Sport, 2532 Magglingen

²Eidgenössische Technische Hochschule Zürich

Kontakt:
thomas.steiner@baspo.admin.ch

Einleitung und Fragestellung

Beim Skilanglauf im flachen Gelände wird zum Überwinden des dynamischen Reibungswiderstandes, der zwischen Skibelag und Schnee wirkt, zwischen 10-50% des gesamten Energieverbrauchs verwendet (Saibene et al. 1989). Der prozentuale Anteil am Gesamtenergieverbrauch hängt dabei von den Schneeverhältnissen, dem Laufstil, dem Gewicht des Läufers und der Struktur sowie den Gleiteigenschaften (Wachs) des Belages ab.

Die im Sommertraining bei Skilangläufern verwendeten Rollskis zeigen ein ähnliches Verhalten wie die Skis auf dem Schnee. Anstelle des dynamischen Reibungswiderstandes wirkt dabei aber ein Rollwiderstand. Der Rollwiderstand ist eine Kraft, die einen rollenden Körper abbremst, da beim Rollen sowohl der rollende Körper als auch die Unterlage verformt werden. Dabei ist der Rollwiderstand zur Normalkraft (F_N ; rechtwinklig zur Unterlage wirkende Gewichtskraft) proportional und berechnet sich wie folgt:

$$F_{Roll} = c_R \times F_N$$

c_R bezeichnet dabei den Rollwiderstandskoeffizienten (eine dimensionslose Zahl), die von den Materialeigenschaften und Geometrie des rollenden Körpers (z.B. rollen grössere Rollen leichter als kleinere), der Fahrbahn und dem Systemgewicht abhängt. Da bei Rollskiern c_R vom Gewicht abhängt (Hoffmann et al. 1990, Ainegren et al. 2006), handelt es sich um keine Konstante.

Seit dem Sommer 2007 steht in Magglingen neu ein grosses Laufband (POMA, Porschendorf und ST Innovation, Leipzig, Deutschland) mit einer Laufgurtgrösse von 3.5x4m auf dem sowohl langlaufspezifische Leistungsdiagnostik wie auch spezifisches Sommertraining möglich ist. Um möglichst kleine individuelle Leistungsfortschritte dokumentieren zu können und stabile Testbedingungen zu gewährleisten, ist es wichtig, den Rollwiderstand der einzelnen Rollskis zu kennen und über die Zeit zu kontrollieren.

Ainegren et al. (2006) und Hoffmann et al. (1990 und 1998) haben aufgezeigt, dass höhere Rollwiderstände zu höheren Herzfrequenzen, Laktatwerten und zu höheren Sauerstoffaufnahmen führen bei gleicher Laufgeschwindigkeit oder sich die Abbruchzeit bei Maximaltests um bis zu 20% unterscheiden kann.

Ziel dieser Studie war es deshalb zu untersuchen, wie sich c_R von Rollskiern auf dem Laufband in Abhängigkeit des Gewichts, des Winkels und der Zeit ändert. Konkret wollten wir c_R für jedes Rollskipaar bestimmen und die Frage klären, wie lange ein Rollski eingelaufen werden muss, damit ein stabiler Rollwiderstandskoeffizient gewährleistet werden kann.

Methode

Die Bestimmung des Rollwiderstandskoeffizienten erfolgte auf dem grossen Laufband in Magglingen durch Messung der Zugkraft S mittels einer kalibrierten Federwaage, die an einem speziell für diese Messungen konstruierten Wagen befestigt wurde (siehe Abb. 1 & 2).

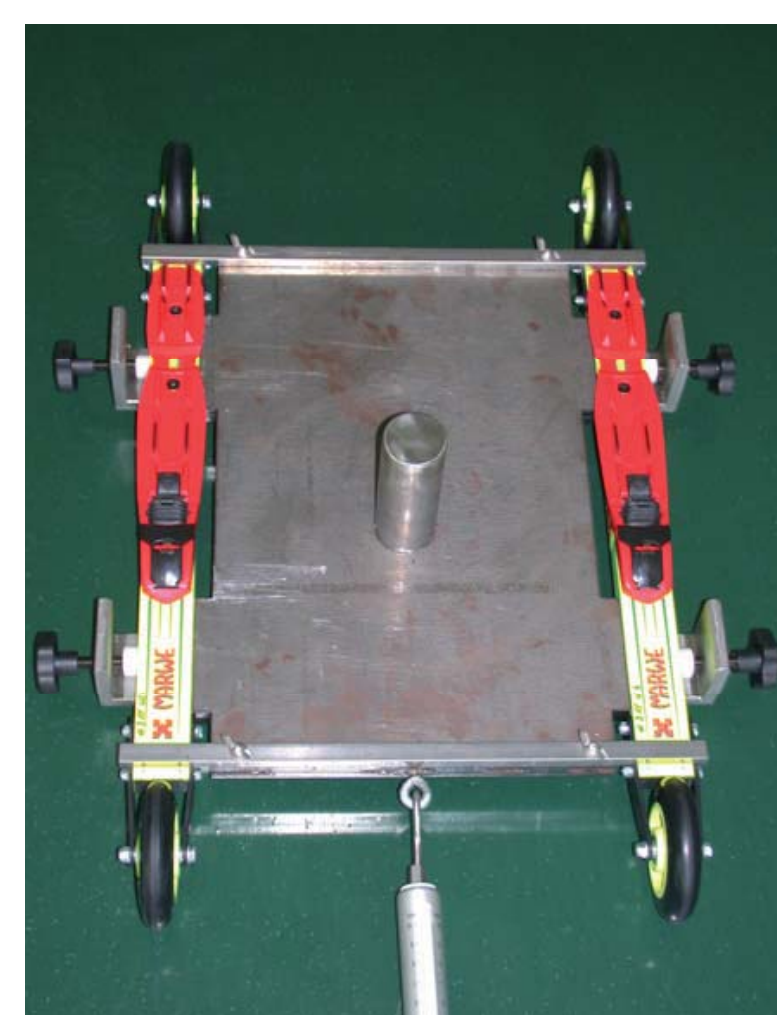


Abbildung 1
Wagen ohne Zusatzgewichte mit eingespannten Rollskiern zur Messung des Rollwiderstandes auf dem Laufband

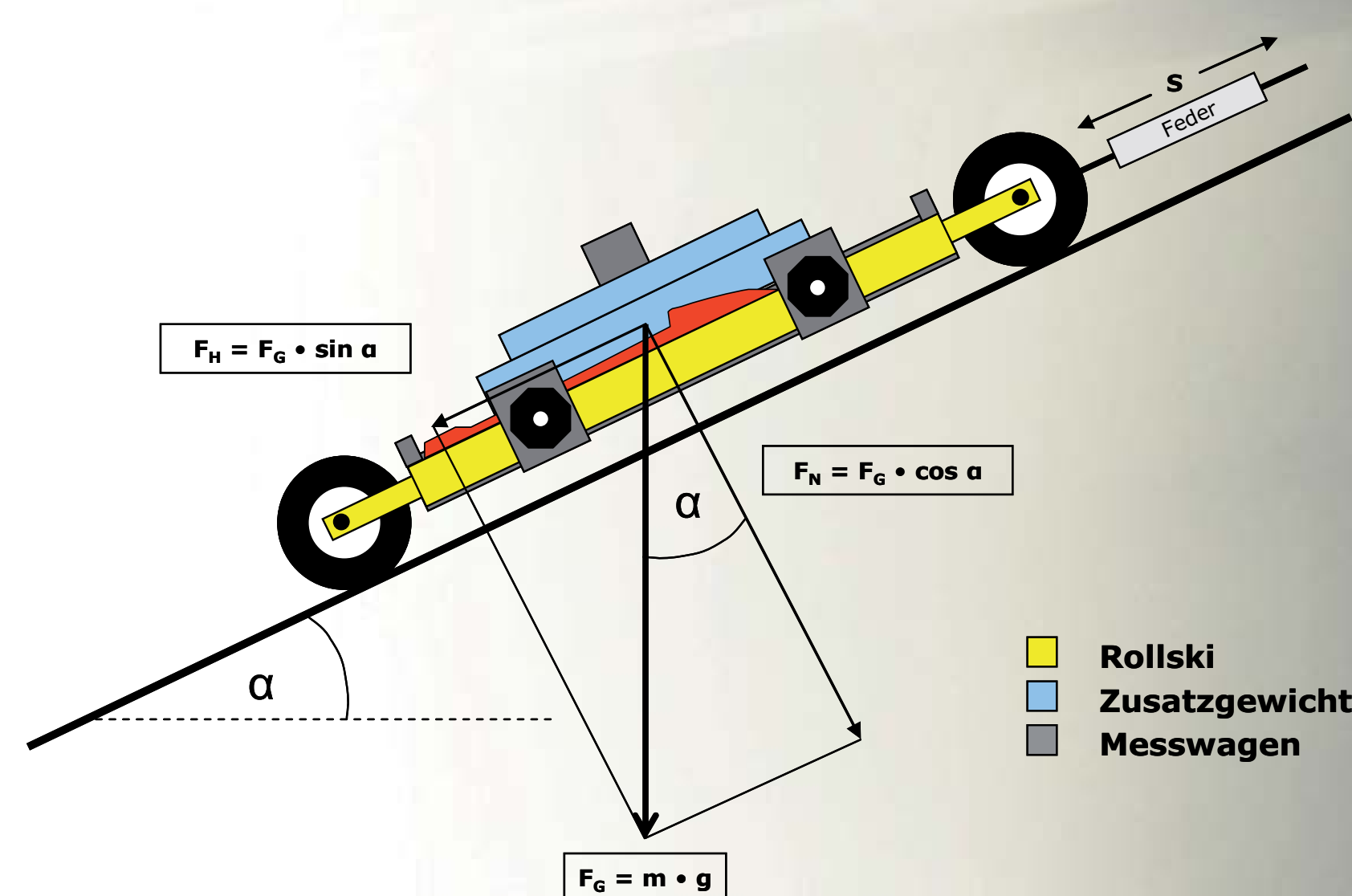


Abbildung 2
Skizze der Versuchsanordnung mit Messwagen, Rollskis, Zusatzgewichten und den wirkenden Kräften.

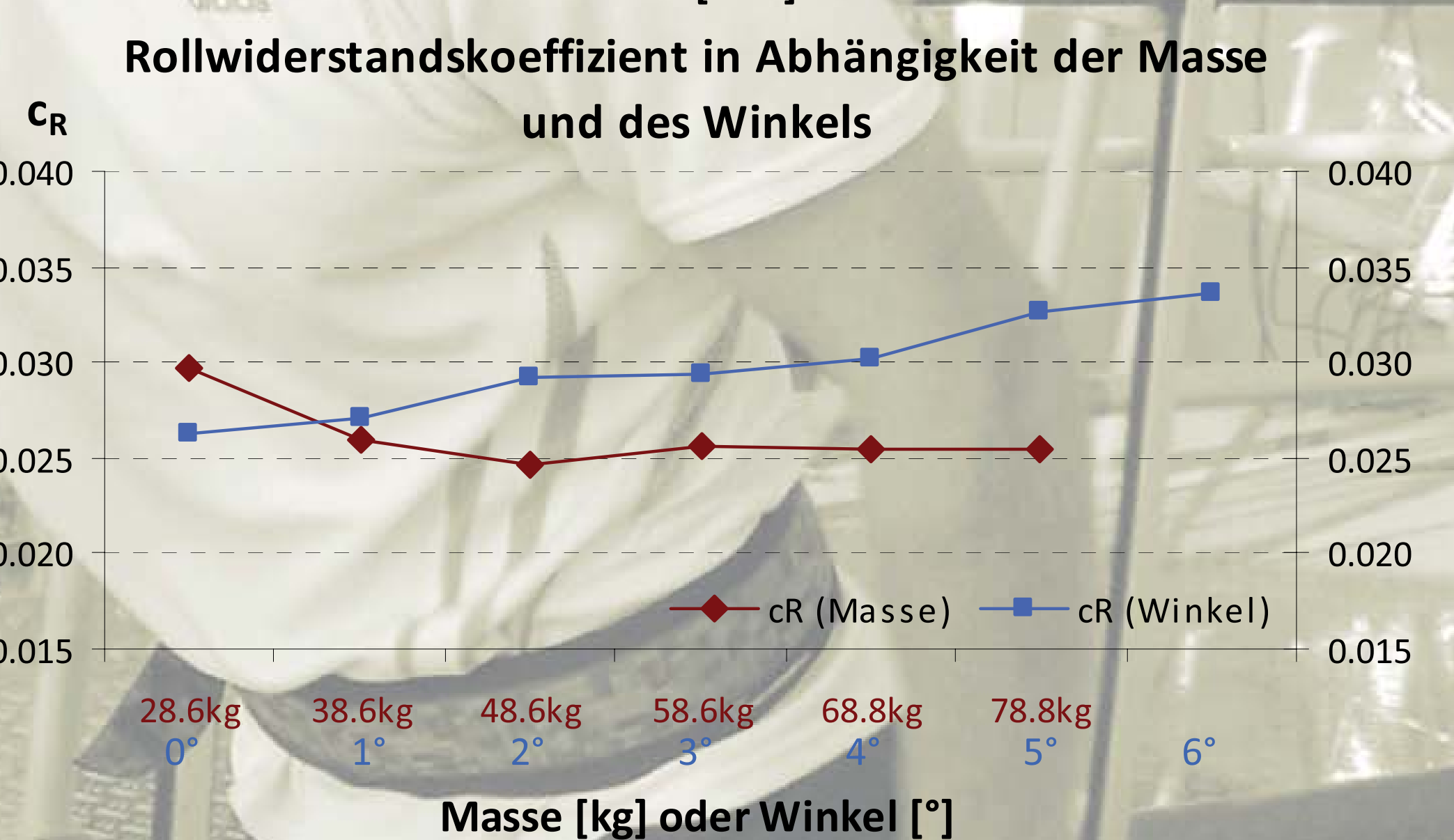
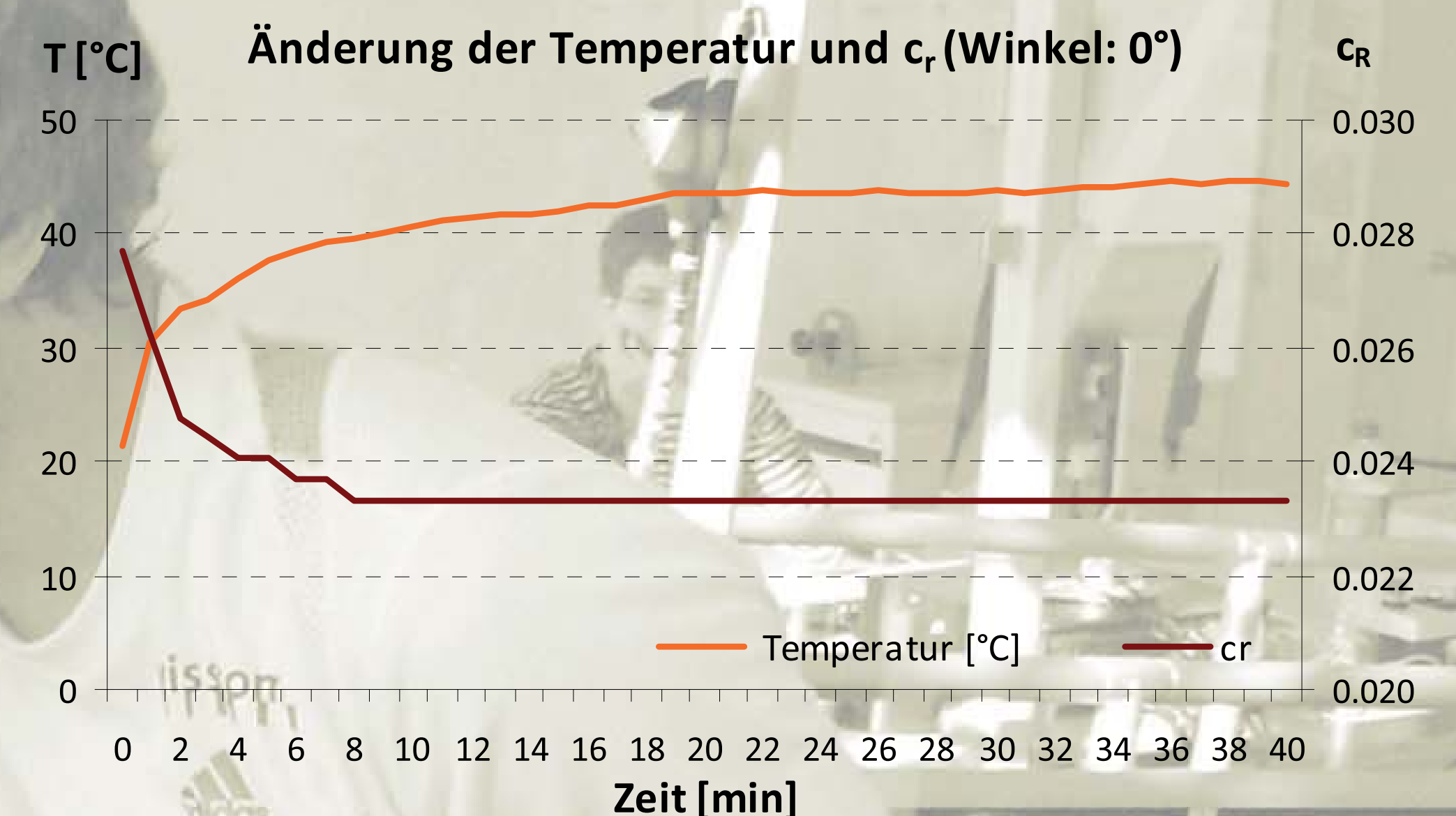
Gemessen wurden 11 Rollskis der Marken Marwe (Skating). Der Rollwiderstandskoeffizient wurde für Massen von 28.6 bis 78.6 kg bei $\alpha = 0^\circ$, bei Winkeln von $\alpha = 0^\circ - 7^\circ$ und über die Zeit gemessen. Die Bestimmung des Rollwiderstandskoeffizienten erfolgte bei allen Versuchen mit Hilfe folgender Formel:

$$c_R(N_{total}) = \frac{S - F_H}{F_N} = \frac{S - mg \sin \alpha}{mg \cos \alpha}$$

Zusätzlich wurde mit einem Infrarot-Thermometer die Temperatur der Rollen bestimmt.

Resultate und Diskussion

Eine grosse Änderung des Rollwiderstandskoeffizienten und damit des Rollwiderstandes (abbremssende Kraft) ist während den ersten 10 Minuten eines Aufwärmens von 40 Minuten ersichtlich (siehe Abb. 3A). Während den ersten 10 Minuten sinkt der Rollwiderstandskoeffizient für Skatingskier auf 80-85% des ursprünglichen Wertes. Dies entspricht einer Abnahme von 15-20%. Erste Messungen bei klassischen Rollskis (Pro-Ski) haben gezeigt, dass c_R bei diesen Skis nach 15 Minuten sogar auf 70-75% des ursprünglichen Wertes sinkt. Gleichzeitige Temperaturmessungen lassen erkennen, dass ein stabiler Rollwiderstandskoeffizient mit einer bestimmten Temperatur der Rollen und der Rolllager einhergeht. Eine mögliche Erklärung für die Abnahme von c_R bei einer Zunahme der Temperatur



Abbildungen 3A und 3B
3A: Temperatur und Rollwiderstandskoeffizient in Abhängigkeit der Aufwärmdauer der Skis. 3B: Rollwiderstandskoeffizient in Abhängigkeit der Masse und des Winkels. Alle dargestellten Werte wurden beim gleichen Ski (Marwe, # 1 RF US 07) ermittelt und erfolgten in aufgewärmtem Zustand (3B) des Skis und für eine Masse von 68.6 kg (3B, bei veränderlichem Winkel).

könnte sein, dass eine erhöhte Temperatur der Rolllager zu einer niedrigeren Viskosität (dünnflüssiger) des Schmierfettes führt und sich dadurch der Rollwiderstandskoeffizient verändert (Ainegren et al. 2006).

Bei einem Gewicht von 68.6 kg (0°) wurde für die Skatingskier im Mittel ein Rollwiderstandskoeffizient von 0.0236 gemessen (Max: 0.0248 / Min: 0.0226). c_R variiert dementsprechend für die gleichen Skier maximal $\pm 5\%$. Der Rollwiderstand nimmt bei zunehmender Masse zu, c_R nimmt aber ab (vgl. Abb. 3B), da der Koeffizient von der Normalkraft abhängig ist ($c_R = F_{Roll} / F_N$) und die Temperatur der Lager und Rollen bei grösserer Normalkraft höher ist (mehr Reibungswärme). Wird die Steilheit des Bandes erhöht, so steigt der Rollwiderstandskoeffizient an (vgl. Abb. 3B), da die Normalkraft kleiner ist und damit die Temperatur weniger hoch ansteigt. Der Rollwiderstand (abbremssende Kraft) verändert sich aber in Abhängigkeit des Winkels nicht signifikant.

Die gemessenen Rollwiderstandskoeffizienten für Rollskis liegen etwas über den gemessenen Werten von Ainegren et al. (2006) und Hoffmann et al. (1998), der Rollwiderstand in der Ebene ($F_{Roll} = 16N$; $\pm 1.5N$) befindet sich aber im Bereich für den dynamischen Reibungswiderstand, der von Saibene et al. (1989) für „on-snow“ Langlaufen angegeben wird (10-60N).

Unterschiedliche Rollwiderstände von verschiedenen Rollskis haben einen deutlich grösseren Effekt in der Ebene als beim Bergauflaufen, da Reibungskräfte maximal sind wenn $\alpha = 0^\circ$ ($F_{Roll} = c_R \cdot m \cdot g \cdot \cos(\alpha)$). Zudem macht in Steigungen die Leistung, die es zur Überwindung der abbremssenden Reibung braucht, einen deutlich kleineren Anteil der Gesamtleistung aus, da die Geschwindigkeit deutlich kleiner ist und zudem die Leistung zum Überwinden der Schwerkraft sehr wichtig wird.

Konklusion und praktische Konsequenz

Um vergleichbare Daten bei Leistungstests auf dem Laufband zu erhalten müssen Rollskis mindestens 10 Minuten eingelaufen werden, damit sich der Rollwiderstand stabilisiert. Die c_R -Werte für alle Skis (Marwe, DMS, Pro-Ski) werden in unserem Labor vor Leistungstests gemessen und über die Jahre beobachtet, da sich der Rollwiderstand mit dem Abnutzen der Rollen und den Veränderungen beim Laufgurt (rauer) verändern kann.

Referenzen

- Ainegren, M., Tinnsten, M., Carlsson, P. Rolling resistance for treadmill roller skiing. *Int. Congress on Science and Nordic Skiing*, 2006.
- Hoffmann, M.D., Clifford, P.S., Bota, B., Mandli, M. Influence of Body Mass on Energy Cost of Roller Skiing. *International Journal of Sport Biomechanics*, 6, 374-385, 1990.
- Hoffmann, M.D., Clifford, P.S., Snyder, A.C., O'Hagan, K.P., Mittelstadt, S.W. Roberts, M.M., Drummond, H.A., Gaskill, S.E. Physiological effects of technique and rolling resistance in uphill roller skiing. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 30 (2), 311-317, 1998.
- Millet, G.Y., Hoffmann, M.D., Candau, R.B., Buckwalter, J.B., Clifford, P.S. Effect of rolling resistance on poling forces and metabolic demands of roller skiing. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 30 (5), 755-762, 1998.
- Saibene, F., Cortili, G., Roi, G., Colombini, A. The energy cost of level cross-country skiing and the effect of the friction of the ski. *Eur. J. Appl. Physiol.* 58, 791-795, 1989

Herzlich danken möchten wir Alexa Stähli (Studentin ETH Zürich), die während eines dreimonatigen Praktikums im Ressort Leistungssport am BASPO im Sommer 2007 alle Messungen gemacht hat.