

**Zeitschrift:** Magglingen : Monatszeitschrift der Eidgenössischen Sportschule Magglingen mit Jugend + Sport

**Herausgeber:** Eidgenössische Sportschule Magglingen

**Band:** 52 (1995)

**Heft:** 5

**Artikel:** Einfluss der Aero-Position auf Pedalkraftmuster und Metabolismus

**Autor:** Gnehm, Peter / Reichenbach, Stephan

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-993196>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 15.04.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Radrennfahren

# Einfluss der Aero-Position auf Pedalkraftmuster und Metabolismus

Peter Gnehm, Stephan Reichenbach

**Radfahren hat in der Schweiz eine lange Tradition, sowohl als Fortbewegungsmittel sowie als Sportgerät. Die vorliegende Arbeit untersucht den Einfluss der relativ neuen Aero-Position auf den Index der Pedalkrafteffizienz und den Metabolismus. Der wichtigste Schluss: Die Aero-Position lohnt sich (Red.).**

Seit den internationalen Erfolgen der Rominger, Richard, Zülle und Co. ist das radsportliche Interesse hierzulande wieder sprunghaft in Höhen angestiegen wie zu den legendären Zeiten von Kübler und Koblet.

## Einführung

Unabhängig von den erstaunlichen Resultaten von Schweizer Athleten erlebt der Radsport seit der Einführung des Aero-Lenkers im Jahre 1989 eine eigentliche Geschwindigkeitsrevolution.

Anschrift der Verfasser:

Peter Gnehm und Stephan Reichenbach, Abteilung für Systematische Anatomie, Anatomisches Institut der Universität Bern, 3000 Bern 9.

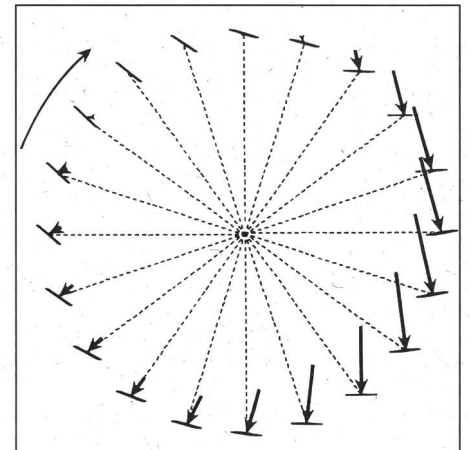
Seit Greg Lemonds spektakulärem 89er Tour-de-France Sieg, welchen er seinem im abschliessenden Zeitfahren erstmals gefahrenem Aero-Lenker zu verdanken hat, sind praktisch alle vorher bestehenden Weltrekorde auf Bahn und Strasse gebrochen worden. Wer hätte vor sechs Jahren geglaubt, dass Francesco Mosers vermeintlicher Jahrhundertstundenweltrekord innerhalb von nur zwei Jahren von vier verschiedenen Fahrern, ohne die Vorteile der Höhenluft von Mexico City, um über vier Kilometer verbessert werden würde? (Fig. 1)

Neben nur unwesentlich veränderten Trainingsmethoden haben vor allem aerodynamische Verbesserungen zu dieser Geschwindigkeitsexplosion geführt. Verschiedene Studien im Windkanal haben gezeigt, dass durch die Einführung des Aero-Lenkers eine Reduktion des Luftwiderstandes um über 10%

gegenüber der traditionellen Zeitfahrenposition (Griff unten am Rennlenker) resultiert. Da im Radfahren bei Geschwindigkeiten über 40 km/h mehr als 90% der Gesamtleistung zur Überwindung des Luftwiderstandes aufgebracht werden müssen, haben Verbesserungen der Aerodynamik allererste Priorität.

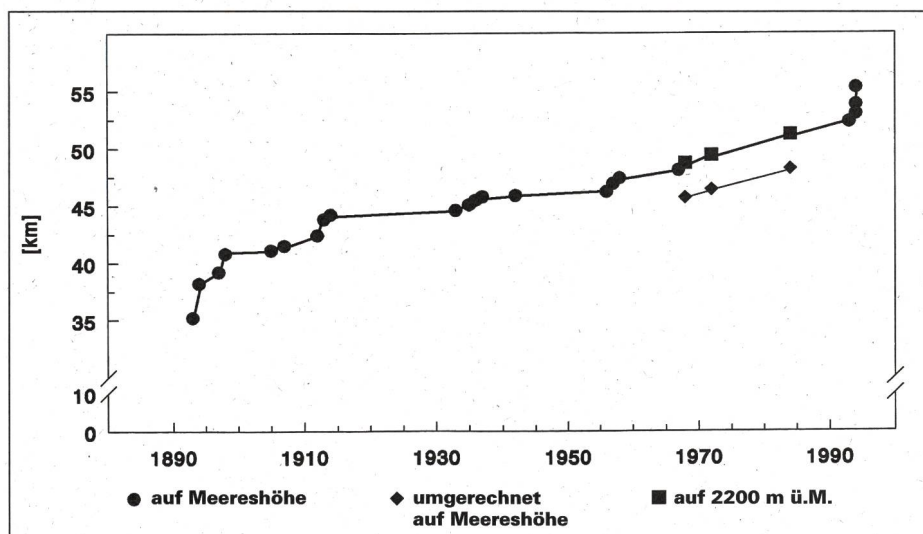
## Bisheriges Wissen

Neben einer potentiellen Optimierung der Aerodynamik, also der bremsenden Kräfte, sind auch biomechanische Faktoren, gemeint sind dabei vor allem die Pedalkräfte (Antriebskräfte), im Hinblick auf mögliche Leistungsverbesserungen von grossem Interesse. Davon zeugen zahlreiche wissenschaftliche Publikationen der letzten fünfzehn Jahre, ist es doch erst seit etwa 1980 möglich, die beim Radfahren auftretenden Pedalkräfte korrekt zu messen.

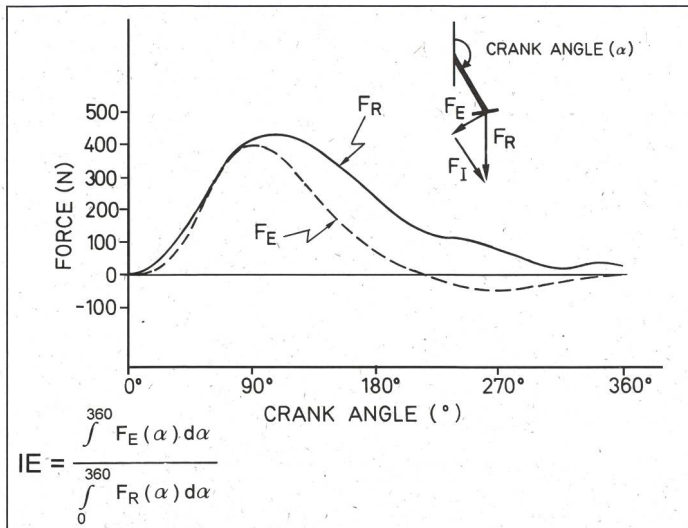


**Fig. 2: Pedalkraftmuster bei 400 Watt und 100 U/min. eines Elite-Bahnfahrers.**

Es ist zwar in der Zwischenzeit gelungen, die vom Radfahrer auf die Pedalen applizierten Kräfte zu analysieren und zu verstehen, aber die dabei gewonnenen Erkenntnisse haben zu keinerlei praktischen Konsequenzen im Spitzensport geführt, d.h. keine relevanten Verbesserungen in Training oder Wettkampf bewirkt. Die in jedem Punkt der Kurbelumdrehung resultierenden Pedalkräfte FR lassen sich aufteilen in tangential zur Kurbel wirkende Kräfte FE (effektive Kräfte) und senkrecht zur Kurbel auftretende Kräfte FI (ineffektive Kräfte). Fig. 2 zeigt ein typisches Pedalkraftmuster über eine volle Umdrehung. Es hat sich gezeigt, dass auch Rennfahrer nicht einen «runderen Tritt» aufweisen als «Normalverbraucher», d.h. die unterschiedliche Leistungsfähigkeit zwischen Hobby- und Spitzensportler lässt sich nicht aus den Unterschieden in der Art der Kraftübertragung ablesen. Als Mass der Effizienz der Pedalkräfte galt bis anhin in der Regel das Verhältnis von ef-



**Fig. 1: Entwicklung des Stundenweltrekordes auf der Bahn von 1893 bis 1994.**



**Fig. 3: Resultierende (FR) und effektive Pedalkräfte (FE) über eine Kurbelumdrehung und Index of effectiveness IE (Pedalkraft-effizienzindex).**

fektiven zu resultierenden Kräften, also der Quotient der Flächen unter den Kurven von FE und FR.

## Fragestellung

In der vorliegenden Studie wollten wir der Frage nachgehen, ob der in der Literatur beschriebene Pedalkraft-effizienzindex IE durch die subjektiv schwierig zu fahrende Aero-Position beeinflusst wird, d.h. wir wollten verschiedene im Radsport typische Positionen bezüglich ihrem Einfluss auf die Kraftübertragung untersuchen. Parallel dazu interessierte uns der Zusammenhang zwischen Index der Pedalkraft-effizienz IE und den metabolischen Kosten, wenn der Luftwider-

stand nicht berücksichtigt wird. Einfacher ausgedrückt: Führt ein theoretisch schlechteres Pedalkraftmuster zu einem Sauerstoffmehrverbrauch respektive einem Pulsanstieg?

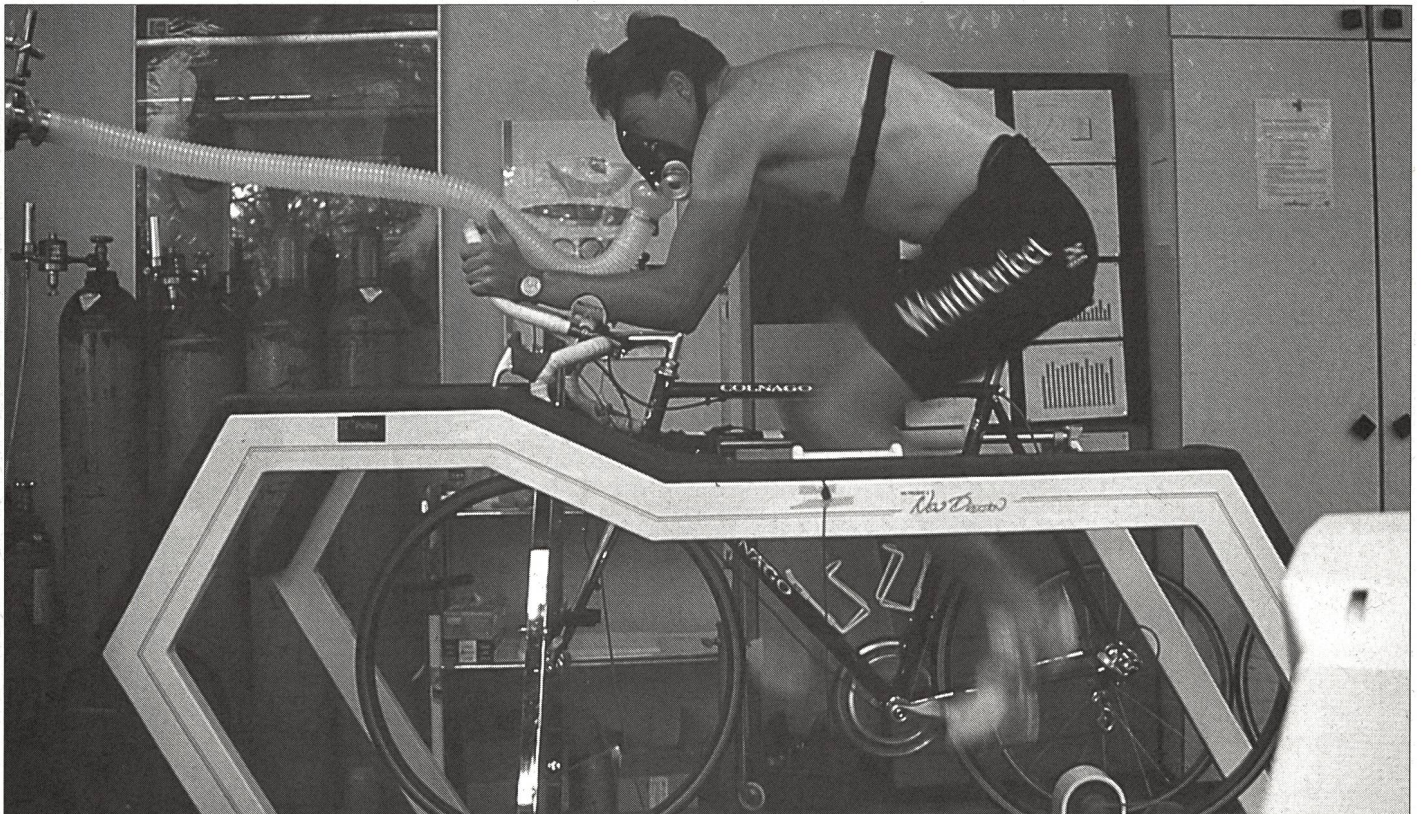
## Methode

Als Probanden unserer sportmedizinischen Studie dienten uns 14 Schweizer Rennfahrer (11 Elite-Amateure und 3 Profis), welche am Morgen einen Velo-Conconi-Stufentest zur Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme und am Nachmittag des gleichen Tages den eigentlichen Positionsversuch zu absolvieren hatten. Die Tests wurden im Labor des Sportwissenschaftlichen Institutes in

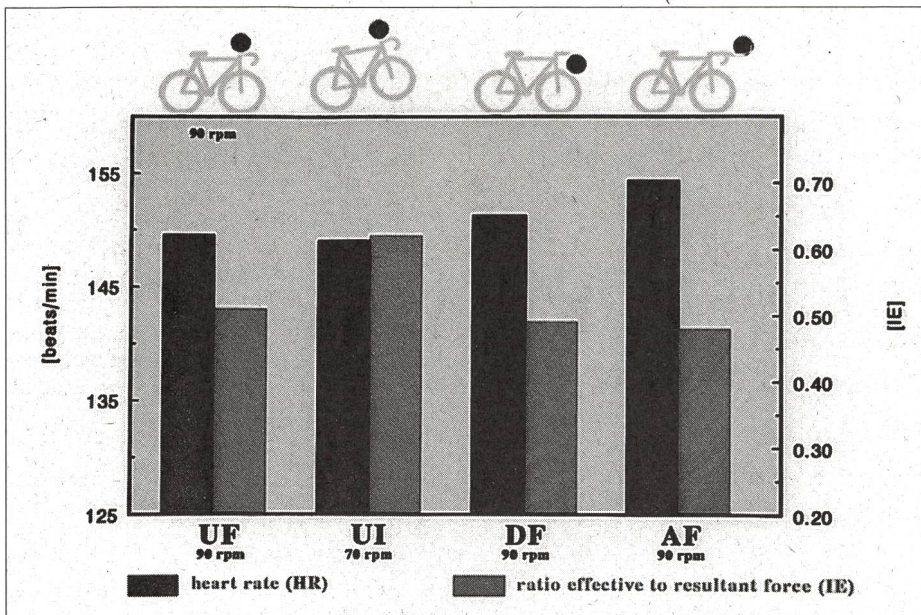
Magglingen durchgeführt, wobei jeder Fahrer sein eigenes Rennrad, montiert auf einer windgebremsten Rolle, benützen konnte. Der Positionsversuch beinhaltete vier verschiedene Oberkörperstellungen, welche vorgängig standardisiert und randomisiert worden waren: 1. UF: aufrechte Haltung (Griff oben am Rennlenker), flaches Gelände, Trittfrequenz 90/min. 2. UU: aufrechte Haltung, Steigung 8%, Trittfrequenz 70/min. 3. DF: Griff unten am Rennlenker (klassische Zeitfahrposition), flach, Trittfrequenz 90/min. 4. AF: Griff auf Scott-Aeroaufsatz, flach, Trittfrequenz 90/min. (Bild unten zeigt den frischgebackenen Radquerweltmeister Dieter Runkel in der Aero-Position.) Jeder der Athleten fuhr je fünf Minuten bei 70% seiner individuellen maximalen Sauerstoffaufnahme in allen den oben beschriebenen Positionen, wobei je während der letzten 2 Minuten Pedalkräfte, Sauerstoffverbrauch, Herzfrequenz und Blutlaktat gemessen wurden. Die durchschnittliche Leistung aller Fahrer lag mit dieser Methode bei 300 Watt, was etwa der Belastung bei einem Elite-Strassenrennen über vier oder fünf Stunden entspricht.

## Resultate

Die Resultate zeigten folgendes Bild (Fig. 4): Die IE-Werte wurden mit zunehmender Vorneigung schlechter, wobei die aufrechte Bergauffahrposition UU um mindestens 20% besser war als alle anderen (signifikant). Auch die Unter-



**Dieter Runkel in der Aero-Position AF auf der Rolle im Labor im Einsatz.**



**Fig. 4: Resultate der Positionsstudie mit IE und Herzfrequenz HR in Abhängigkeit der vier Ausgangspositionen UF, UI, DF und AF.**

schiede von 6% zwischen UF (IE: 0.51) und AF (0.48) waren gross genug, um Signifikanz zu erreichen, während die DF-Position bezüglich Vorneigung und IE-Werten zwischen den beiden vorhergenannten lag (Differenz nicht signifikant).

Sauerstoffverbrauch und Herzfrequenzen waren wie erwartet korreliert und zeigten einen Anstieg mit zunehmender Vorneigung, wobei die Unterschiede von UF zu AF je 3% (1,2 ml/kg/min. resp. 5 Pulsschläge) betragen (signifikant). Trotz eines auf den ersten Blick feststellbaren Zusammenhanges zwischen Pedalkrafteffizienz (IE) und Metabolismus (berechnet via Sauerstoffverbrauch), waren die beiden Parameter nicht korreliert: Die Bergauffahrposition UU (tiefe Trittfrequenz) zeigte nämlich trotz der besseren IE keinen tieferen Sauerstoffverbrauch resp. Pulsrate als die Aufrechtposition UF mit hoher Tourenzahl. Die Laktatwerte lagen bei keinem der Fahrer über 1,6 mmol/l, und damit stets deutlich unter der anaeroben Schwelle.

## Diskussion

Die Aero-Position hat den modernen Radsport revolutioniert. Die meisten Fahrer geben an, dass die extreme Vorlage eine gewisse Angewöhnungszeit erfordert und eine ökonomische Beinarbeit erschwert. In diesem Zusammenhang redet man in Radsportkreisen seit Jahrzehnten vom «runden Tritt», gemeint ist damit eine möglichst tangentielle Kraft-

übertragung vom Vorfuss via Pedale auf die Kurbeln. Nur tangentielle Pedalkräfte FE erzeugen ein der Vorwärtsbewegung des Fahrrads dienliches Drehmoment auf die Kurbeln. Alle anderen Kräfte führen zu Biegespannungen in Kurbeln und Rahmen und scheinen damit nur metabolische Kosten zu verursachen. Die biomechanische Forschung hat gezeigt, dass der einfache Ansatz eines «runden Trittes» den komplexen statischen und dynamischen Prozessen im Radsport nicht gerecht wird. Erst in den letzten Jahren hat sich gezeigt, dass auch Spitzenfahrer nur einen Anteil von etwa 50% der total resultierenden Kräfte FR in tangentialer Richtung auf die Kurbeln übertragen können. Diese scheinbar tiefen Werte kommen nicht zuletzt dadurch zustande, weil im letzten Drittel der Kurbelumdrehung nicht nach oben gezogen wird, sondern negative tangentielle Kräfte entstehen, welche durch das andere Bein überkompensiert werden müssen. Aus verschiedenen Gründen scheint es auch dem guten Rennfahrer nicht möglich zu sein, über die ganzen 360 Grad der Umdrehung effiziente Beinarbeit zu leisten.

Die vorliegende Arbeit kann zeigen, dass zwar durch die Aero-Position der Anteil an tangentialen Kräften FE an den total resultierenden Kräften FR abnimmt, dass aber diese theoretisch schlechtere Pedalkrafteffizienz IE nicht zu einem Anstieg der metabolischen Kosten führt. Es lohnt sich in diesem Zusammenhang der Vergleich zwischen gestiegenen metabolischen Kosten und den zu erwartenden aerodynamischen Vorteilen, welche durch die Aero-Position resultieren: Bei einer Ergometerleistung unserer Fahrer von durchschnittlich 300 Watt ergab sich ein Mehrverbrauch von 8 Watt bei einem

Wechsel von der aufrechten in die Aero-Position. Wenn man die zu erwartende Reduktion des Luftwiderstandes von rund 30%, welche durch eine Verminderung der Frontalfläche und gleichzeitige Reduktion des Luftwiderstandsbeiwertes resultieren, aufrechnet, ergibt sich eine Leistungersparnis von 100 Watt, d.h. bei gleichem Puls kann statt mit 37 mit 42 km/h gefahren werden!

## Schlüsse

Aus diesem quantitativen Vergleich können gewisse, für die Praxis wichtige Schlüsse gezogen werden: Angesichts der nur geringen metabolischen Mehrkosten durch die Aero-Position lohnt es sich, potentielle aerodynamische Möglichkeiten voll auszureizen. Die extrem flache Position führt zwar neben möglichen subjektiven auch zu messbaren Nachteilen. Diese sind allerdings, angesichts der vergleichsweise viel grösseren aerodynamischen Vorteile, fast zu vernachlässigen.

Zur individuellen Optimierung der eigenen Zeitfahrposition braucht es kein aufwendiges Labor mit Windkanal, sondern vielmehr eine flache Rundstrecke und einen Pulsmesser. Bei konstant einzuhaltender Geschwindigkeit ist die günstigste Position diejenige mit den tiefsten Pulsraten. Neben einer gewissen Adaptationszeit sind gut dehnbare ischiokrurale Muskeln Voraussetzung einer guten Aero-Position, welche nicht nur Tony Rominger und seinesgleichen neue Bestzeiten verspricht.

## Anmerkung der Autoren

Genauere Angaben und Referenzliste sind nachzulesen in der «Schweizerischen Zeitschrift für Medizin und Traumatologie» 1/95.

Wir danken der Eidgenössischen Sportschule in Magglingen für die grosszügige Unterstützung. Unser Dank gilt neben den Fahrern vor allem auch Felix Pfister und Guido Bergmaier und ihrem Team für die Unterstützung im materiellen Bereich. ■

*Peter Gnehm und Stephan Reichenbach haben für ihr Medizinstudium das vorliegende Thema für ihre Dissertation bearbeitet.*

**Wir setzen Zeichen!**

**heimgartner**  
Die Fahnenmacher

Heimgartner Fahnen AG Wil  
Zürcherstrasse 37  
9500 Wil/SG  
Telefon 073 22 37 11  
Telefax 073 22 56 48

Verlangen Sie unseren Katalog!



Jetzt schon für 1995 buchen

## Polysportive Lager für Schulen + Sportvereine

In traumhafter Lage am Neuenburgersee erwartet Sie unser Sportzentrum!

### Einrichtungen

- Tennishalle (5 Courts)
- 4 Tennisaussenplätze
- 4 Badmintonfelder
- 4 Squash-Courts
- 1 Sporthalle (Volleyball, Basketball Fussball, usw.)
- 1 Mini-Golf mit 18 Löchern
- Windsurfen, Wassersport
- Ideale Möglichkeiten zum Joggen
- Mountain-Bike-Vermietung mit interessanten Ausflugsvorschlägen

### Unterkunftsmöglichkeiten

- 7 Kabinen (direkt neben dem Zentrum)
- Camping (am See)
- Zivilschutzanlage
- Hotel (Distanz 2 km)

### Verpflegung

Auch möglich bei uns im Restaurant (Restaurant mit Ess- oder Theoriesaal)

### Weitere Auskünfte erteilt auch gerne:

Denis Kuster  
CIS Tennis+Squash Marin AG  
La Tène  
2074 Marin  
Tel. 038 337373/74

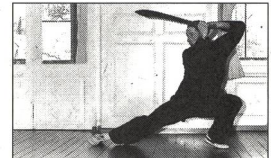


SION  
VALAIS-WALLIS  
2002



SWITZERLAND

## Internationales Kurszentrum Waldegg



Gesundheit, Sport & Erholung bei Eiger, Mönch & Jungfrau

### Kursangebote 1995

- **Jerry Lynch USA**  
Jenseits der Grenzen 17.5.-21.5.
- **Renato Ravasio CH**  
Mut... Risiko... Abenteuer 22.6.-25.6.
- **Paul Brunner CH**  
Deine Seele und unsere Natur 18.6.-24.6.
- **Peter Ralston USA**  
Kunst der mühelosen Kraft 21.7.-25.7.
- **Ted Fehlhaber USA**  
Tanz mit den Bergen «zoning»  
Energetisches Klettern 8.8.-13.8.

Spezialprospekt der geistigen Sportwissenschaft bei:

Zentrum Waldegg  
Sanna Lamb & Renato Ravasio  
Schilwald, 3823 Wengen

Tel. ++/036/55 44 22, Fax ++/036/55 43 95

**Sport treiben. Aber sicher!**

## Der Grümpler

### Grümpeltourniere Mannschaftsturniere Volkssportanlässe

Verzeichnis am Kiosk Mitte April  
oder Fr. 4.50 auf PC 45-6243-4  
Der Grümpler, A. Bassin, 4528 Zuchwil

Winter • Grümpler Mitte Oktober  
Inseratenschluss 30. September

## Der Grümpler



Hotel-Restaurant

## Kühboden

Das gemütliche Familien- und Bergrestaurant  
auf 2200 m ü. M. im herrlichen Wander- und Skiparadies  
auf der Fiescheralp am Aletschgletscher

Informieren Sie sich bei uns über unsere Gruppenunterkunft geeignet  
für Schullager / Schulreisen und Vereinsausflüge

Mit bester Empfehlung:

**Cornelia und Beat Schmid** Telefon 028 / 71 13 77  
3984 Fiesch / Kühboden Fax 028 / 71 36 22

## Siebdruck macht Eindruck!

- Siebdruck
- Textildruck
- Transferdruck
- Laser-Sofort-Druck
- Glasdruck
- Runddruck
- Tampondruck
- Beschriftungen

**Keiner liefert schneller!**

**SWITCHER.**



8201 SCHAFFHAUSEN EBNAT 65  
TEL. 053-24 80 11 FAX 053-25 96 78

## Alles für Ihre Werbung!

- T-Shirts • Sweat-Shirts • Mützen • Gläser
- Luftballone • Pins • Buttons • Kleber
- Feuerzeuge • Schirme • Membercards
- Taschen • Magnettafeln • Caps • Etiketten
- Aschenbecher • Rucksäcke • Badetücher
- Stoffabzeichen • Krawatten • Wimpel
- Reklameblachen • Werbeartikel

**Alles mit Ihrem Aufdruck!**