

Anwendungen von DGPS in der Sportwissenschaft

Dipl.-Ing. Thomas Blumenbach

Geodätisches Institut, TU Dresden

Dr. rer. nat. Thomas Henke

Lehrstuhl für Sportmedizin, Ruhr-Universität Bochum

8.März 2001

Kurzfassung

Die immer kleiner werdende GPS-Empfangstechnik ermöglicht neue Einsatzgebiete für die kinematische satellitengestützte Positionierung, z.B. auch in der Sportwissenschaft. In enger Zusammenarbeit mit Verantwortlichen aus dem Leistungssport wurde im Rahmen des Forschungsprojektes *Satellitennavigation – Anwendungen in der Sportwissenschaft*¹ erörtert, wie Positionsinformationen und daraus abgeleitete Größen beitragen können, die sportliche Leistung von Athleten objektiv quantifizieren zu können.

Es wurden Anforderungen von Seiten des Sports zusammengetragen, um ein Meß- und Auswertesystem entwickeln zu können, welches zur Trainingsdokumentation und möglicherweise auch im Wettkampf eingesetzt werden kann.

Aus geodätischer Sicht gibt es dabei zwei Schwerpunkte: die zentimetergenaue kinematische DGPS-Positionsbestimmung des Athleten sowie daran anschließend die automatisierte Aufbereitung und Visualisierung der Ergebnisse. Gerade im Bereich der Ergebnispräsentation sind die unterschiedlichen Anforderungen der speziellen Sportart zu berücksichtigen.

Am Beispiel Rudern ist deutlich geworden, daß sich durch den Einsatz von satellitengestützten Positionierungstechniken und damit der direkten Bestimmung von Geschwindigkeiten und

Streckenlängen zum Teil neue Kriterien zur Leistungssteigerung der Athleten ergeben.

Das Meßsystem kam im Rahmen des Projekts bei drei verschiedenen Feldsportarten zum Einsatz: Riesenslalom, Skispringen und Rudern. Dabei konnten wichtige Erfahrungen gewonnen und erste Erfolge verzeichnet werden. Im folgenden Beitrag sollen Anforderungen an ein Meßsystem aus Sicht des Sports dargelegt werden.

1 Einleitung

„Schneller, höher, weiter“ ist das olympische Motto. Seit langem gibt es Bemühungen von Biomechanikern und Sportwissenschaftlern, die Leistung eines Athleten exakt zu erfassen und zu dokumentieren (*Terrier 2000*). Einerseits, um den Bewegungsablauf besser studieren zu können, andererseits, um gezielt Trainingsmethoden nach dem neuesten Stand der Forschung entwickeln zu können.

Dabei kommen eine Reihe verschiedenartiger, z.T. sehr aufwendiger Meßmethoden zum Einsatz: Zeitmessungen, Streckenmessungen, Kraftmessungen, Videoaufzeichnungen usw., die teilweise aber nur indirekt Aufschluß über zu optimierende Kenngrößen geben können. Als Beispiel sei hier die Videoaufzeichnung beim Riesenslalom genannt, die nur subjektive Aussagen über die Einhaltung einer optimalen Fahrspur ermöglicht.

In den letzten Jahren sind immer kleinere

¹Dieses Projekt wurde mit Forschungsmitteln des Bundesinstituts für Sportwissenschaft unter dem Geschäftszeichen VF 0408/06/01/2000 gefördert.

und leistungsfähigere GPS-Empfänger auf den Markt gekommen. Es lag deshalb nahe, deren Einsatzmöglichkeiten und Grenzen bei Sportarten unter freiem Himmel zu untersuchen. Ähnliche Experimente mit Skifahrern wurden bereits in Österreich (*Lichtenegger 1997*) und in der Schweiz (*Ladetto 2000*) durchgeführt. Positionsinformationen, wie sie durch kontinuierliche hochfrequente GPS-Messungen erzeugt werden können, eröffnen völlig neue Möglichkeiten für Analysen im Leistungssport und in der Biomechanik.

Im Folgenden wird kurz auf technische Voraussetzungen eingegangen, bevor dann sportartspezifische Ergebnisse vorgestellt werden.

2 Meßtechnik

Um mit GPS in den Zentimeter-Genauigkeitsbereich zu gelangen, benötigt man in jedem Fall ein Differentialverfahren. Zudem muß der Empfänger beide Trägerphasen messen können. Im Auswerteprozess sind die dabei auftretenden unbekanntenen Phasenmehrdeutigkeiten zuverlässig zu bestimmen. Die Meßrate sollte möglichst hoch sein, damit auch bei schnelleren Bewegungen eine ausreichende Punktdichte in der Bewegungskurve gewährleistet ist. Als weitere Kriterien sind Masse und Volumen von Antenne und Empfänger zu nennen. Während diese für die Messungen im Ruderboot fast unkritisch sind, hat ein Zusatzgewicht direkt am Athleten immer eine Rückwirkung auf seine Leistungsfähigkeit. Damit ist ein Einsatz unter Wettkampfbedingungen problematisch.

Die am Institut verfügbaren geodätischen Zweifrequenzempfänger (Typ Trimble 4700, max. Meßfrequenz 5 Hz) genügen zumindest für erste Tests den genannten Anforderungen.

Als Antenne wurde ein kleines Zweifrequenzmodell aus der Luftfahrt verwendet. Abb. 1 zeigt den Antennenaufbau auf einem handelsüblichen Skihelm, wie er für die Messungen beim Skispringen und Riesenslalom eingesetzt wurde. Im Ruderboot konnte die Antenne direkt auf der Bootshaut montiert werden.



Abb. 1: Skihelm mit aufgesetzter Zweifrequenzantenne. Im hinteren Teil ist der Antennenvorverstärker zu erkennen.

Als lokale Referenzstation können auch Empfänger eingesetzt werden, die nicht über eine so hohe Meßrate verfügen. Nach aktuellem Kenntnisstand (*Wanninger 2000*) können die höherfrequenten Referenzdaten ohne Genauigkeitsverluste durch Interpolation, z.B. aus Sekundendaten erzeugt werden.

3 Rudersport

3.1 Ausgangspunkt

Die bisherige Situation ist folgende. Für sportwissenschaftliche Untersuchungen und auch zur turnusmäßigen Erstellung von Leistungsprofilen der Athleten werden speziell ausgerüstete Meßboote eingesetzt. Man ist damit in der Lage, recht differenziert biomechanische Parameter zu erfassen, die das Ruderboot, die Athleten sowie deren Zusammenspiel betreffen. Ziel ist es, den Bewegungsablauf, den Krafteinsatz sowie die Mann-

schaftsarbeit so zu optimieren, daß ein Wettkampferfolg möglich wird.

Für die Athleten jedoch bedeutet der Einsatz von Meßbooten immer eine zusätzliche psychische, evtl. auch physische Belastung, da sie in einem fremden Sportgerät mit vielen technischen Einbauten arbeiten, welches meist auch andere Fahreigenschaften als das Wettkampfgerät aufweist. Somit ist eine Messung wichtiger Parameter in Wettkämpfen praktisch nicht möglich.

3.2 Neuer ganzheitlicher Ansatz

Der Einsatz von GPS zur präzisen Positions- und Geschwindigkeitsbestimmung erfordert einen neuen ganzheitlichen Denkansatz. Nicht der Athlet, sondern das gesamte Boot ist das zu betrachtende Objekt mit einer individuellen variablen Geschwindigkeit auf einer individuellen Fahrspur zwischen Start und Ziel. Es ist also möglich, die zu optimierende Größe, die Geschwindigkeit des Boots, direkt zu messen. Von Vorteil ist, daß die Athleten sowohl im Training als auch im Wettkampf in ihrem eigenen Boot fahren können.

3.3 Meßergebnisse

Bei Messungen am Bundesleistungszentrum Dortmund wurden mit Mitgliedern der Juniorenmannschaft im Riemen-Zweier-Bereich zahlreiche Testfahrten durchgeführt.

Untersucht wurde, ob verschiedene Fahraufgaben als charakteristische Verläufe im Geschwindigkeitsprofil wiedererkennbar sind. Dazu wurde eine ausgewählte Anzahl an Einzelschlägen in einem Diagramm übereinandergeplottet. Ein Vergleich der Abb. 2 und 3 zeigt, daß es signifikante Unterschiede im Geschwindigkeitsverlauf verschiedener Fahraufgaben gibt. Bei höherer Schlagfrequenz ist nicht nur die Beschleunigung des Boots größer, auch das Geschwindigkeitsniveau insgesamt ist höher. Aus der recht guten Übereinstimmung der Einzelgraphen wird ersichtlich, daß die Mannschaft über einen längeren Zeitabschnitt gleichmäßig gearbeitet hat.

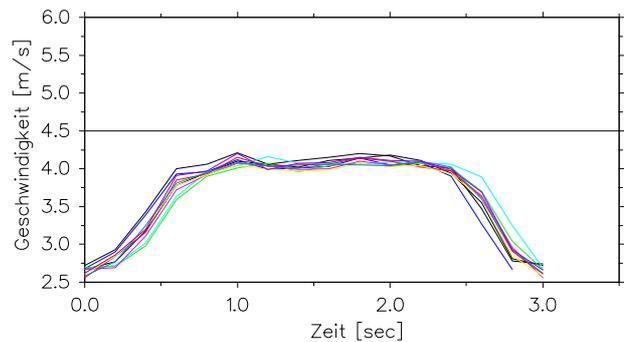


Abb. 2: Geschwindigkeitsprofil über den Schlagzyklus beim Ausdauertraining

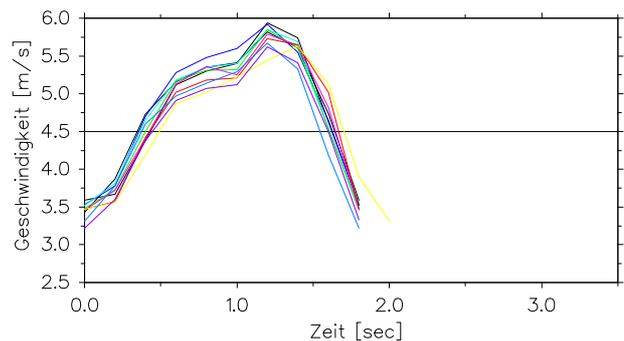


Abb. 3: Geschwindigkeitsprofil über den Schlagzyklus bei Schlagfrequenz 32/min

Der zeitliche Abstand zweier Einzelmesspunkte beträgt 0.2 Sekunden. Dabei ist das Zeitraster aber (noch) nicht an einen Triggerpunkt in der Ruderbewegung (z.B. an den Augenblick des Eintauchens) gekoppelt. Mit anderen Worten, die übereinandergelegten Einzelkurven müßten entlang der Zeitachse so verschoben werden, daß alle Graphen in einem gemeinsamen Startpunkt liegen. Dazu ist aber eine Auflösung von 0.2 Sekunden zu grob.

3.4 Echtzeitanwendungen

Ein Aspekt, auf den bisher noch nicht eingegangen wurde, ist die direkte Rückmeldung von Meßwerten zur Mannschaft im Boot. Über ein geeignetes Display könnten z.B. die in Abb. 4 dargestellten Parameter *Mittlere Geschwindigkeit* und *Akkumulierte Fahrstrecke* angezeigt werden. Im Wettkampf könnte dadurch die Renntaktik besser an die aktuelle Situation angepaßt werden.

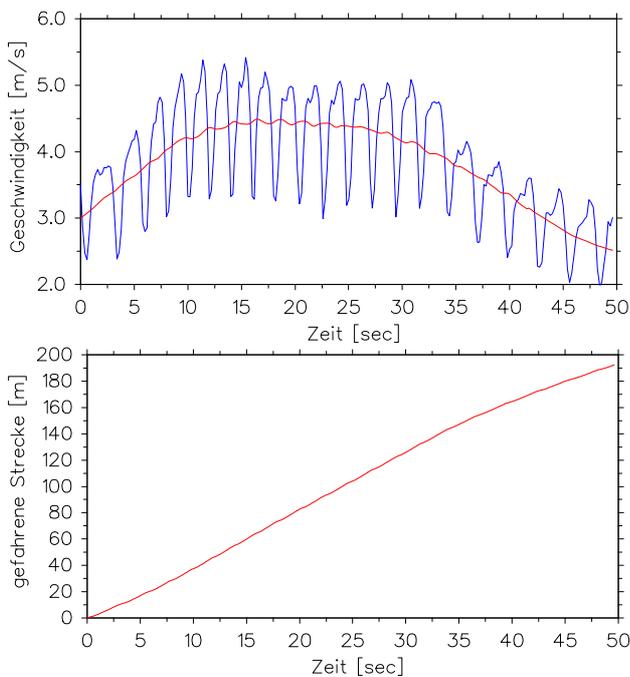


Abb. 4: Aktuelle und mittlere Geschwindigkeit (oben) und zugehörige akkumulierte Strecke (unten) einer Testfahrt

3.5 Fazit

Die Testmessungen haben gezeigt, daß sich über Methoden der Satellitennavigation zum Teil neue Betrachtungsmöglichkeiten zur ruderspezifischen Technik ergeben. Unter folgenden Aspekten ist der Einsatz interessant:

- Als präzises Geschwindigkeits- und Wegmeßsystem zur Dokumentation im Wettkampf. Von Vorteil ist hier, daß das System ohne Rückwirkungen auf Athleten und Boot arbeitet.
- Als Geschwindigkeits- und Wegmeßsystem im Training. Besonders bei Fahrten auf offenen Gewässern bestehen Schwierigkeiten bei der Einstellung auf den angestrebten Geschwindigkeitsbereich sowie bei der Erfassung der zurückgelegten Strecke. Es wäre denkbar, eine Art Rudercomputer im Boot mitzuführen, etwa analog den im Radsport verwendeten Fahrradcomputern.

Ein Einsatz als ergänzendes Meßsystem zur Geschwindigkeitserfassung in bereits bestehenden Meßbooten erscheint jedoch nicht sinnvoll, da die

dort vorhandenen umfangreichen Meßmöglichkeiten zur Erfassung biomechanischer Parameter der Rudertechnik hochspezifische Ergebnisse liefern.

4 Skispringen

Eine weitere Feldsportart, die im Rahmen des Forschungsprojektes untersucht wurde, ist das Skispringen. Messungen wurden an Springern der Nationalmannschaft am Bundesleistungszentrum Oberstdorf vorgenommen.

4.1 Ausgangspunkt

Beim Skispringen gibt es mehrere Phasen eines Sprunges. Der Athlet wird während des Anlaufs beschleunigt. Direkt am Schanzentisch wird üblicherweise mit Hilfe einer Lichtschranke die Absprunggeschwindigkeit gemessen. Dann erfolgt der Absprung und der Übergang in die Flughaltung, eine Phase, die wesentlichen Einfluß auf die Sprungweite hat. Die Flugphase wird durch die Landephase abgeschlossen, die aus strömungstechnischer Sicht kritisch ist. Laminare Strömung wechselt über in Turbulenzen. Die Auftriebskräfte ändern sich schlagartig.

Bisher wurde bei wissenschaftlichen Untersuchungen vor Ort mit Videoaufzeichnungen, z.T. auch sehr aufwendig mit mehreren Meßkameras gearbeitet. Mit großem technischen Aufwand wurde photogrammetrisch ausgewertet. Die Ergebnisse waren meist erst viel später verfügbar.

4.2 Neue Möglichkeiten

Die Auswertung der Videoaufzeichnungen ist zeitraubend und teilweise auch nur subjektiv möglich. Mit einer GPS-Antenne auf dem Helm und einem Empfänger unter dem Sprunganzug ist der Aufwand zur kinematischen Positionsbestimmung vergleichsweise gering. Und es können, sofern die Abschattungssituation Datenaufzeichnungen zuläßt, alle Phasen eines Sprunges direkt gemessen werden. Besonders die ersten Me-



Abb. 5: Springer am Start. Der Empfänger befindet sich unter dem Sprunganzug auf dem Rücken.

ter nach dem Schanzentisch sowie die Landephase stehen dabei im Mittelpunkt des Interesses. Von Vorteil ist, daß die Resultate bei einer sofortigen Auswertung unmittelbar nach dem Sprung zur Verfügung stehen.

4.3 Erste Ergebnisse

Im Gegensatz zum Rudersport sind hier keine zurückgelegten Streckenlängen von Interesse.

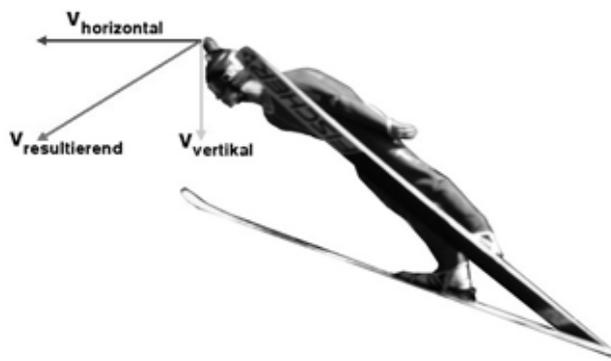


Abb. 6: Geschwindigkeitskomponenten

Die Sprungweiten werden auch zukünftig von den Weitenrichtern ermittelt. Vielmehr richtet sich das Augenmerk auf die Geschwindigkeitskomponenten (vgl. Abb. 6) des Athleten während der Flugphase. Abb. 7 zeigt den Geschwindigkeitsverlauf eines Testsprungs. Die fette schwarze Linie stellt

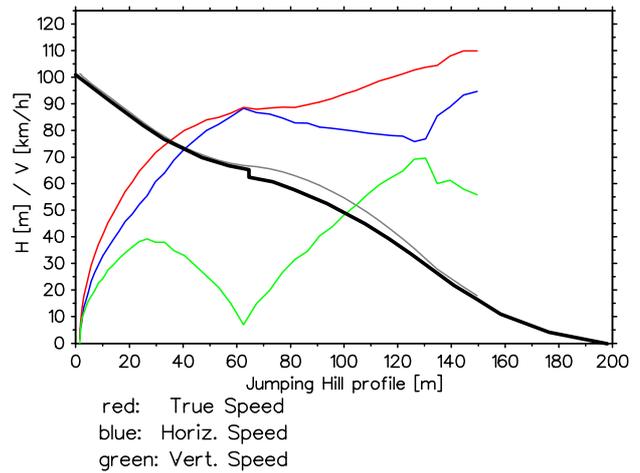


Abb. 7: Geschwindigkeitskomponenten eines Testsprungs, aufgetragen über dem Profil der 90-Meter-Schanze in Oberstdorf.

punktierte Linie: Horizontalgeschwindigkeit
gerissene Linie: Sinkgeschwindigkeit
Strichpunkt-Linie: Gesamtgeschwindigkeit

das Schanzenprofil dar. Die dünnere Linie ist die Bahn des Athleten, genaugenommen die Bahn des Kopfes des Athleten. Horizontal- und Vertikalachse haben eine metrische Einteilung und sollen zur besseren Veranschaulichung der Geometrie dienen. Sie stellen keine Sprungweite des Athleten dar. Die Meßmethode ist aufgrund des schleifenden Schnitts mit dem Schanzenprofil zur Weitenmessungen nicht geeignet.

Am Beginn des Anlaufs steigt die Geschwindigkeit kontinuierlich an. Im Bereich des Anlaufradius nimmt der Neigungswinkel der Schanze ab. Deshalb sinkt die vertikale Geschwindigkeitskomponente bis zu ihrem Minimum am Absprungpunkt. Da aber der Athlet weiter beschleunigt wird, erreicht die Horizontalgeschwindigkeit am Absprungpunkt ihr absolutes Maximum.

Nun beginnt die Flugphase. Die Sinkgeschwindigkeit wird wegen des freien Falls stetig größer, die Horizontalgeschwindigkeit nimmt ab. Insgesamt aber beschleunigt der Athlet weiter, zu erkennen am Ansteigen der Resultierenden. Als Optimierungsfaktoren zum Erreichen eine großen Weite können nun folgende Bedingungen abgeleitet werden.

- Die Horizontalgeschwindigkeit im Ab-

- sprungpunkt soll ein Maximum sein.
- Die Sinkgeschwindigkeit im Absprungpunkt soll zum Minimum werden.
- In der Flugphase soll sich die Horizontalgeschwindigkeit geringstmöglich abschwächen.
- In der Flugphase soll die Sinkgeschwindigkeit möglichst langsam zunehmen.

Setzt der Athlet auf den Hang auf, ergeben sich deutliche Knickpunkte in den Graphen der Horizontal- und Vertikalgeschwindigkeiten. Hier endet der zu untersuchende Sprung. Die satellitengestützte Positionierung bietet die Möglichkeit, o.a. Optimierungsparameter direkt aus den Meßwerten abzuleiten. Damit ist eine objektive Möglichkeit zur Dokumentation der athletischen Leistung gegeben.

4.4 Weiterentwicklungen

Für den routinemäßigen Einsatz im Training ist es erforderlich, das Gewicht der Ausrüstung deutlich zu reduzieren. Die Antenne auf dem Helm muß so gestaltet werden, daß der Athlet nicht beeinflusst wird.

In den Geschwindigkeitsprofilen sind auch Effekte enthalten, die äußeren Einflüssen, z.B. der aktuellen Windsituation zuzuschreiben sind. Soll ein Sprung genauer analysiert werden, müssen diese Störgrößen gesondert betrachtet werden. Denkbar wäre ein Windmeßsystem mit Sensoren, die geeignet über den Hang verteilt sind. Damit wäre es möglich, ein zeitlich veränderliches Vektorfeld mit Strömungsrichtungen und -geschwindigkeiten zu erfassen. Anhand einer parallel laufenden Videoaufzeichnung des Sprunges kann ermittelt werden, ob, wann und wie der Athlet beim Auftreten einer Windböe gegengesteuert hat.

5 Riesenslalom

5.1 Ausgangspunkt

Die Frage, wie schnell war der Athlet am Tor X oder Y, an welcher Stelle hat er Zeit eingebüßt

oder herausgefahren, kann mit den klassischen Zeitmeßanlagen (Lichtschranke) nicht und mit videotechnischen Analysen nur für kurze Streckenabschnitte und unter großem Aufwand beantwortet werden. Deshalb lag es nahe, Möglichkeiten und Grenzen von GPS auch in dieser Sportart zu untersuchen. Logistisch betrachtet war dieser Test



Abb. 8: Testabfahrt

einer der aufwendigsten. Die Ausrüstung mußte im tiefen Schnee aufgebaut werden. Zudem überwindet man den Höhenunterschied zwischen Ziel und Start nur mit Hilfe der Skilifts. Testmessungen wurden auf der FIS-homologisierten Riesenslalomstrecke auf dem Zugspitzplatt durchgeführt. Ein Fahrer der Ski-Nationalmannschaft stand für die Testmessungen zur Verfügung.

Mit Trainern und Verantwortlichen aus dem Sport wurde diskutiert, welche Parameter für die Leistungsbeurteilung eines Aktiven aus den GPS-Ergebnissen abgeleitet werden sollten.

5.2 Visualisierung

Der Athlet erhielt eine individuelle Aufgabenstellung für jeden Lauf, z.B. Abfahrt mit maximaler Geschwindigkeit, Abfahrt auf der geometrisch kürzesten Linie (Ideallinie), Abfahrt in großen Bögen usw. Das Meßsystem lieferte die zugehörigen Positionierungen. Die Zeitmessung

erfolgte mit einer Lichtschranke auf 1/100 Sekunde. Abb. 9 zeigt einen Teil der Ergebnisdar-

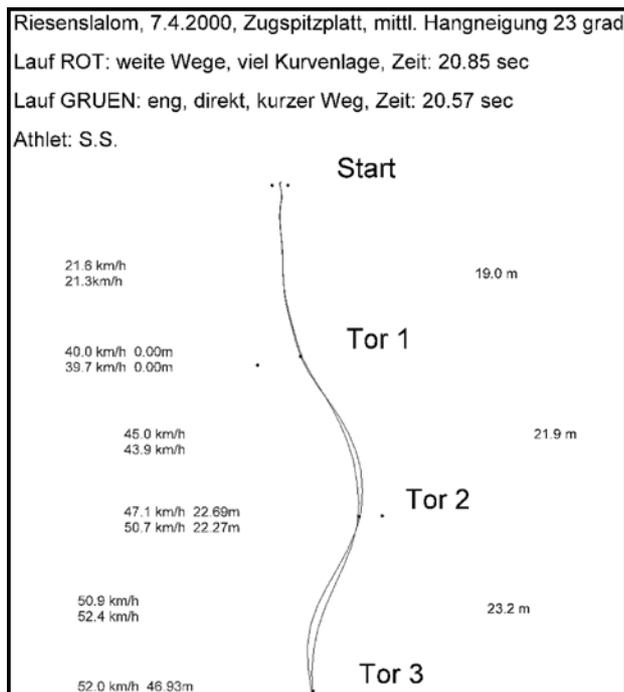


Abb. 9: Vergleich zweier Fahrspuren, Ausschnitt aus der Bildschirmdarstellung

stellung. Je zwei Läufe sollen direkt miteinander vergleichbar sein. Zu erkennen sind die Tore sowie die Fahrspuren mit Geschwindigkeitsparametern und zurückgelegten Wegstrecken entlang der tatsächlichen Fahrspur.

Die Spuren verschiedener Läufe unterscheiden sich zum Teil nur um wenige Zentimeter. Es ist deshalb eine Frage des Darstellungsmaßstabs, ob man diese Differenzen in der Graphik erkennen und beurteilen kann. Mit Hilfe der *Virtual Reality Modeling Language* (VRML), einer Beschreibungssprache für räumliche Objekte, kann das Maßstabsproblem bei der Visualisierung recht gut gelöst werden. Es wird ein verebnetes (oder auch räumliches) geometrisches Modell berechnet, welches interaktiv auf einem PC mit Standard-Internetbrowsern angezeigt und interpretiert werden kann.

Der Darstellungsmaßstab kann dabei vom Betrachter kontinuierlich verändert werden, um größere oder kleinere Ausschnitte eines Laufes analysieren zu können. Es besteht die Möglichkeit, schnell zwischen vordefinierten Ansichten

umschalten zu können. Man erhält so entweder einen Überblick über die Gesamtsituation, oder aber einen Einblick in die Details. Eine Darstellung auf Papier ist prinzipiell möglich, kann aber diese Vorteile nicht bieten.

5.3 Vergleich zweier Testläufe

Bei einer Gegenüberstellung der Fahraufgaben *Maximalgeschwindigkeit* und *Ideallinie* konnte folgendes festgestellt werden. Der Fahrweg bei Maximalgeschwindigkeit war länger als der der Ideallinie. Die Geschwindigkeit war jedoch um so viel höher, daß nicht nur der längere Weg ausgeglichen werden konnte. Es wurde auch ein signifikanter Zeitvorsprung von knapp 0.2 Sekunden herausgefahren. Die Fahrt auf der Ideallinie hätte im Wettkampf also nicht zum Sieg geführt.

Ursache dafür ist, daß die Ideallinie steiler durch den Hang verläuft. Der Athlet muß stärker abbremsen, um innerhalb der Tore zu bleiben. Größere Radien können mit deutlich höheren Geschwindigkeiten und in diesem Fall in kürzerer Zeit befahren werden, da die Fliehkräfte geringer ausfallen. In weiteren Tests sollte nun untersucht werden, wo das Optimum der Fahrspur liegt.

5.4 Ergebnisse Riesenslalom

Wenn bisher von Fahrspur gesprochen wurde, ist genaugenommen die Spur der Antenne auf dem Helm gemeint. Durch enge Kurvenfahrt mit hoher Schräglage des Athleten kann es sogar vorkommen, daß die Spur des Helms innen am Tor vorbeiführt, obwohl der Athlet das Tor korrekt umfahren hat. Videoaufzeichnungen erlauben es, eventuelle Regelverstöße zu erkennen.

Getestet wurde, ob es durch Antennenmontage auf dem Ski möglich ist, die Position der Skier direkt zu bestimmen. Leider ist durch den schnellen Kantenwechsel verbunden mit einer starken Kippung der Skier keine kontinuierliche Messung möglich gewesen. Zudem schattet der Athlet mit seinem Körper zu viele Satellitensignale ab. Die Zentrierung der Messung vom Helm auf den Ski bleibt ein bisher ungelöstes Problem.

Es kann aber festgehalten werden, daß mit dieser Meßmethodik trotzdem sinnvolle Aussagen zur Optimierung von Fahrspuren im alpinen Skisport möglich sind. Geschwindigkeitsinformationen im Zeitraster der Meßwerte lassen eine Beurteilung der Fahrtechnik zu. Denkbar wären zudem Gleitversuche mit verschiedenen Skimodellen oder Wachssorten. Mit Rücksicht auf den Aufwand ist der Einsatz im Rahmen von Trainingslagern anzustreben.

Verfahrensoptimierungen finden sich im Zusammenhang mit der Reduzierung von Größe und Masse der GPS-Ausrüstung, in der Erhöhung der Abtastrate, sowie in der Verwendung von integrierten GPS-GLONASS Empfängern (höhere Satellitenverfügbarkeit in Abschattungsbereichen).

6 Ausblick

Die vorgestellten Tests haben gezeigt, daß unterschiedliche sportwissenschaftliche Fragestellungen durch GPS-gestützte Positionsinformationen beantwortet werden können. Teilweise konnten ganz neue Kriterien für die Beurteilung von athletischen Leistungen aufgezeigt werden. Für den künftigen Einsatz im Sport sind folgende Anforderungen an ein GPS-Meßsystem zu stellen:

- kleinere Abmaße des Empfängers
- kleinere Zweifrequenzantenne
- generelle Gewichtsreduktion
- höhere Abtastrate, z.B. 20 Hz
- vollkommen automatisierter Datenfluß
- Ergebnisse in Echtzeit bzw. wenig später verfügbar
- evtl. Echtzeit-Rückkopplung zum Athlet

Ein automatisierter Datenfluß bedingt zwangsläufig die Entwicklung spezialisierter Software. Da die Form der Ergebnispräsentation aber stark sportartspezifisch ist, ist in dieser Frage eine enge Zusammenarbeit mit den Verantwortlichen des Sports unumgänglich.

Literatur

Blumenbach, T., Henke, T. (2000): Projektberichte "Satellitenavigation – Anwendungen in der Sportwissenschaft". Geodätisches Institut TU Dresden, (unveröffentlicht).

Ladetto, Q., u.a. (2000): GNSS hits the slopes. *Galileo's World*, Spring 2000, S. 14-23.

Lichtenegger, H., Bacic, Z., Cheng, P. (1997): Application of DGPS for the establishment of ski racetrack data bases. Contribution to the International Symposium on GIS/GPS, Istanbul, 15.-19.9.1997.

Terrier, P. u.a. (2000): High-precision satellite positioning system as a new tool to study the biomechanics of human locomotion. *Journal of Biomechanics* 33 (2000) S. 1717-1722.

Wanninger, L. (2000): Interpolation von GPS-Beobachtungen. *Allgemeine Vermessungsnachrichten* 10/2000, S. 360-363.

Danksagung

Ganz besonderer Dank gilt Herrn Alberding von der Fa. Euronav, der das Projekt durch die Bereitstellung von GPS-Empfangstechnik tatkräftig unterstützt hat.