

Eidgenössische Technische Hochschule

Departement für angewandte Biowissenschaften
Institut für Bewegungs- und Sportwissenschaften

Die Beschleunigung beim Slalomskateboarden

Diplomarbeit
Zur Erlangung des eidgenössischen Diploms II

Vorgelegt von:

Ackermann Jürg
Strobel Maurus

Referent:

Dr. Alex Stacoff

Korreferent:

Prof. Dr. Edgar Stüssi

Zürich

Sommer 2000

Vorwort.....	4
Verdankung.....	5
Glossar	6
1. Einleitung.....	8
2. Die Geschichte des Skateboardens	10
3. Theorieteil	15
3.1. Technisches Modell	16
3.2. Verwendete Formeln und Gesetze	18
3.3. Material.....	21
3.4. Literaturübersicht.....	28
3.4.1. Analogien zum Fortbewegungsphänomen Skateboard	28
3.4.1.1. Der Katamaran.....	28
3.4.1.2. Das Halfpipefahren.....	29
3.4.2. Beschriebe zur Beschleunigung mit dem Skateboard	30
3.4.2.1. Beschleunigungsbeschrieb Laurent (1978).....	30
3.4.2.2. Beschleunigungsbeschrieb, Andrejtschitsch, Kallée, Schmidt (1991)	31
3.4.2.3. Beschleunigungsbeschrieb, Sturham (2000)	32
3.4.2.4. Beschleunigungsbeschrieb, Farner (1999).....	32
3.4.3. Theoretische Ansätze zur Fortbewegung eines Skateboards	33
3.4.3.1. Modell eines Snakeboards	33
3.4.3.2. Vergrößerung der kinetischen Energie, Lind und Sanders (1996)	36
3.4.3.3. Nicht holonome Systeme, Reckling (1970).....	38
3.4.3.4. Mathematische Erklärung zur Beschleunigung, Ispolov et al. (1995).....	39
3.4.3.5. Experiment mit dem Drehimpulserhaltungssatz, Sexl et al. (1980)	44
3.5. Herleitung und Diskussion der Hypothesen.....	45
4. Methode	46
4.1. Vergrößerung der kinetischen Energie eines Körpers in der Kurve	46
4.1.1. Versuch 1	46
4.1.2. Versuch 2	48
4.1.3. Versuch 3	48
4.2. Der Einfluss der Rotation	49
4.2.1. Nicht holonomes System.....	49
4.2.2. Drehimpulserhaltungssatz.....	49
5. Resultate	51
5.1. Akzentuierte Streckbewegung	51
5.2. Resultate Versuch 1	52
5.3. Resultate Versuch 2	53
5.4. Resultate Versuch 3	54
5.5. Resultat Modell Drehimpulserhaltungssatz.....	55
5.6. Resultat Einfluss der Rotation.....	56
6. Darstellungs- und Auswertungsverfahren	58
6.1. Streckbewegung ins Kurvenzentrum	58
6.2. Trägheitsmoment Versuche 1-3.....	58
6.3. Der Einfluss der Rotation	58
6.4. Modell Drehimpulserhaltungssatz.....	59
7. Diskussion.....	59
7.1. Streckbewegung ins Kurvenzentrum	59
7.2. Versuch I Trägheitsmoment	60

7.3. Beschleunigung aus dem Stillstand	60
7.4. Modell zur Demonstration des Drehimpulserhaltungssatzes	61
7.5. Rotation und Trägheit	62
8. Zusammenfassung der Arbeit	63
9. Ausblick	65
10. Literaturliste.....	66
11. Nachschlageteil	69
11.1. Restliche Resultate aus Versuch 1-3.....	69
11.2. Versuchspersonen mit 4 Kurventechniken.....	73
11.3. Interview mit den Versuchspersonen.....	75
11.4. Zu den Experimenten.....	76
11.5. Fragebogen	77
11.6. Fragebogen	78

Vorwort

Eigene Betroffenheit:

Eigentlich wollten wir unsere Diplomarbeit dem Snowboarden widmen, doch zufälligerweise hatten wir ein Slalomskateboard bei uns und stiessen bei einer von vielen Diskussionen auf ein Problem, das uns nicht mehr los liess:

Wie kommt eine Beschleunigung auf dem Skateboard zustande, wenn die Schlangenlinienfahrt auf einer horizontalen Ebene verläuft, alle vier Räder permanent Bodenkontakt haben und die Füsse das Board nicht verlassen, respektive den Boden nicht berühren?

Anfänglich versuchten wir uns gegenseitig zu beweisen, wie einfach diese Frage zu beantworten ist, doch so richtig überzeugen konnte keiner den anderen. Mit wachsendem Interesse suchten wir weitläufiger nach Erklärungen, doch ohne Erfolg.

So beschlossen wir kurzerhand in unserer Diplomarbeit eine Antwort auf dieses Phänomen zu suchen.

Der Reiz in dieser Arbeit Erfolg zu haben ist für uns gross, denn wir haben realisiert, dass sogar die Wettkampfszene (Slalomskateboard-Wettkämpfe) sich nicht einig ist, welche Effekte eine Beschleunigung bewirken. Je näher wir zu der Struktur der Bewegung gelangen, die ein Skateboarder ausführen muss um zu beschleunigen, desto gelungener betrachten wir unsere Diplomarbeit.

Der Einfachheit halber haben wir uns beim Schreiben auf die männliche Form beschränkt. Gleich zu Beginn sollte sich der Leser mit dem Glossar vertraut machen, um die Fachausdrücke der Szene besser zu verstehen und dem Verlauf der Arbeit angenehmer folgen zu können. In der vorliegenden Diplomarbeit sind sämtliche Ausdrücke, die im Glossar zu finden sind, kursiv gestellt.

Verdankung

Zur Erstellung dieser Diplomarbeit unterstützen uns einige Personen.

Wir bedanken uns herzlichst bei:

- Dr. Alex Stacoff für die grossartige Betreuung während der ganzenstellungszeit
- Prof. Brauchli und seinen Assistenten für die anregenden Diskussionen
- Roman Häfeli, Maschineningenieurstudent ETHZ, für seine kreativen Vorschläge
- Christoph Peller für sein speziell für unsere Versuche konstruiertes Skateboard
- Mitarbeiter des Biomechanischen Labors Schlieren, die uns Messgeräte zur Verfügung stellten und uns in EDV Angelegenheiten unterstützten
- Unseren Versuchspersonen: Marco, Fabio, Tibor und Sebastian
- Unserem Korreferenten Prof. Dr. Edgar Stüssi

Glossar

Air	Flugmanöver mit dem Skateboard
Auslösephase	Phase eines Kurvenzyklus, bei welcher willentlich eine neue Kurve eingeleitet wird. Sie endet mit der parallelen Stellung der Achsen (<i>KSP</i> über dem Brett)
Axle	Achsstift einer Skateboardachse
Backside	Bestimmte Dreh-, Flug- und Fahrtrichtung
Bail	Sturz
Banks	Schrägen mit flachem Neigungswinkel, z.B. Parkhausauffahrten
Baseplate	Basisplatte einer Skateboardachse
Basics	Grundtricks, Grundbegriffe
Bearings	Kugellager
Bowl	Schüssel, halbkreisförmiges Schwimmbecken
Carving	Kurvenfahren durch Gewichtsverlagerung
Concave	Spezielle Wölbung des Skateboarddecks, die Ränder sind erhöht
Contest/ Competition	Wettkampf, Meisterschaft
Coping	Stahlrohr an der Oberkante von Rampen
Core	Kern der Rolle, aus Metall oder Plastik, der das Kugellager präzise fasst
Cruising	Skaten ohne Tricks, z.B. Surfstyle
Deck	Das pure Brett, meist aus laminiertem Holz
Downhill	Abfahrt, Speedskating
Fakie	Rückwärts
Flat	Flaches, horizontales Stück in der Mitte der Halfpipe
Flex	Flexibilität, Beugefähigkeit des Decks
Footwork	Schrittkombination auf dem Brett
Freestyle	„Alles ist erlaubt“, auch Wettkampfdisziplin
Frontside	Bestimmte Dreh-, Flug- und Fahrtrichtung
Goofy	Grundstellung auf dem Brett, der rechte Fuss ist vorne
Griptape	Antirutschbelag auf dem Deck
Grommets	Lenkgummis der Achse
Halfpipe	Halbe Röhre, bestehend in der Mitte aus dem Flat und an den Seiten aus den Walls. Eine Wall besteht aus der Transition (Rundung) und dem Vert (senkrechter Teil).
Hanger	Oberteil einer Achse
Heat	Ausscheidungsrunde im Wettkampf
Inlineskates	Rollschuhe, bei denen 4-5 Rollen in einer Linie angeordnet sind
Judge	Wettkampfrichter beim Wettkampf
Kickboard	Skateboard mit vorne zwei Rädern und einer Haltestange und hinten einem Rad mit Bremse.
Kicktail	Ende des Brettes, welches über die Achse hinausragt.
Kingpin	Schraube, die in der Basisplatte der Achse sitzt und den Hanger befestigt.
KSP	Körperschwerpunkt
Longboard	Langes Skateboard >90 cm, gut für Cruising und schnelle Abfahrten
Miniramp	Weniger hohe, nicht senkrechte Halfpipe
Miniscooter	Kleines Trottinett

Move	Bewegungsablauf, Trick
Newschool	Neue Schule, moderne Art zu Skaten, beinhaltet viele schwierige Tricks, auch Streetstyle genannt
Nose	Spitze des Brettes
Obstacles	Gegenstände, die der Skater als Hindernisse benutzt
Obstaclecourse	Wettkampfdisziplin, bei der die Skater möglichst attraktiv Hindernisse nutzen
Oldschool	Alte Schule, beinhaltet einfaches Kurvenfahren und Schritte auf dem Brett, v.a. mit Longboards und Slalomskateboards praktiziert
Ollie	Sprung, bei dem das Brett vom Boden abhebt ohne Hilfe der Hände
Pads	Schütze, Protektoren
Pivot	Drehpunkt der Achse
Pivotcup	Hülse aus Kunststoff, in der Pivot steckt
Pool	Skatebares Schwimmbecken
Pushen	Schwung holen
Regular	Grundstellung auf dem Brett, der linke Fuss ist vorne
Rückstell- Geschwindigkeit	Geschwindigkeit, mit der sich ein deformiertes Brett wieder in seine Ausgangslage begibt
Run	Kür, Lauf
Session	Gemeinsames Erlebnis
Slalomboard	Brett, das kürzer als 90 cm ist, geeignet für kleine Radien
Slide	Kontrolliertes, seitliches Rutschen mit dem Brett
Spacepad	Distanzplatte/ Keil aus Kunststoff, wird zwischen Brett und Achse montiert
Spacer	Distanzhülse zwischen den beiden Kugellagern einer Rolle
Stadystate	Gleichbleibend
Steuerphase	Phase eines Kurvenzyklus, beginnend mit der parallelen Stellung der Achsen (<i>KSP</i> über dem Brett) und endend mit der eingedrehten Achsenposition (<i>KSP</i> im Kurvenzentrum)
Streetcarver	Skateboard mit Einzelradaufhängung, von BMW entwickelt
Streetskating	Art und Weise Skateboard zu fahren. Mit einem Streetskateboard werden diverse Hindernisse für Tricks benutzt.
Streetscooter	Modernes Trotтинett
Style	Persönlicher Ausdruck
Surfer	Wellenreiter
Tail	Ende des Brettes
Transition	Abgerundete Wand der Halfpipe
Truck	Skateboardachse
Vert	Senkrechter Teil der Halfpipe
Vorspann	Distanz zwischen höchstem und niedrigstem Punkt eines Brettes
Wheelbase	Abstand zwischen Vorder- und Hinterachse
Wheel	Rolle, Rad

1. Einleitung

Mit einem Slalomskateboard kann man sich mittels einer Schlangenlinienfahrt fortbewegen. Das Board wird sowohl als bequemes Fortbewegungsmittel genutzt, wie auch als Wettkampfgerät.

Beim Beobachten der Athleten fällt auf, dass verschiedenste Fahrtechniken angewendet werden, damit eine Beschleunigung resultiert oder die Geschwindigkeit gehalten werden kann.

So wurden in dieser Arbeit verschiedene Fahrtechniken während einer isoliert betrachteten Kurvenfahrt untersucht und die Hypothese I aufgestellt:

Hypothese I :

Eine Streckbewegung des Körpers während der Kurvenfahrt zum Kurvenzentrum hin bewirkt eine Beschleunigung in Fahrtrichtung.

Arbeitshypothese I:

Es ist nicht möglich unterschiedlich schnell eine Kurve mit identischem Radius und identischer Länge zu durchfahren, wenn die Anfangsgeschwindigkeit gleich ist.

Ebenfalls wurden Messungen mit unterschiedlichen Fahrverhalten in einem Slalomkurs durchgeführt.

Das Stichwort für diesen ersten Ansatz ist die **Reduktion des Trägheitsmomentes**.

Weiter wurde hier untersucht, ob und wie eine Beschleunigung aus dem Stillstand funktioniert. Aufgrund dieser Fragestellung entwickelte sich die Hypothese II:

Hypothese II :

Eine Beschleunigung aus dem Stillstand ist auf einem horizontalen Untergrund möglich. Alle Räder haben permanent Bodenkontakt und die Füße bleiben dabei dauernd auf dem Brett.

Arbeitshypothese II:

Es ist nicht möglich aus dem Stillstand heraus auf horizontaler Unterlage mit dem Skateboard zu beschleunigen.

Dazu wurden Videoaufnahmen gemacht und englische Literatur übersetzt, die die Resultate dieses Versuchs erhärtete.

Das Stichwort für diesen zweiten Ansatz ist ein **nicht holonomes System**.

Aufgrund eines weiteren Artikels, der Analogien zum beschleunigenden Effekt mit dem Skateboard aus dem Stillstand zulässt, wurde ein Modell entwickelt.

Dieses simuliert ein Skateboardfahrer, der mittels eines Drehimpulses von aussen beschleunigt wird. Dieser zugeführte Drehimpuls stellt die Rotation des Oberkörpers dar.

Das Stichwort für diesen dritten Ansatz ist der **Drehimpulserhaltungssatz**.

Selbstverständlich ist bei einem Slalomskateboard-Rennen die Technik der Fahrer nicht der einzige Parameter, welcher über Sieg oder Niederlage entscheidet. Daneben spielt das verwendete Material eine große Rolle. Wer wissen möchte was für eine Person welches Material für welchen Wettkampf etc. verwenden sollte, um optimal ausgerüstet zu sein, findet in dieser Arbeit keine Antwort. Wer sich jedoch diese Schrift zu Gemüte führt, erfährt, ob und allenfalls wie eine solche Beschleunigung aus dem Stillstand funktioniert.

Ebenfalls wird verraten, weshalb sich alle Versuchspersonen, darunter auch führende Wettkämpfer der Schweizer Szene, durch ein bestimmtes Verhalten in den Kurven in einem Slalomlauf verbessern konnten.

2. Die Geschichte des Skateboardens

Beim Zusammentragen der Skateboardgeschichte diene folgende Literatur:

Brooke (1999), Seewaldt (1990) und Van Doren (1991)

Das erste skateboardähnliche Gebilde setzte sich aus einem Holzbrett, drei oder vier Rollen, zwei Achsen und einer Apfelkiste zusammen. Dieses Gefährt reihte man jedoch dazumal nicht in der Kategorie der Spielzeuge ein, sondern als ein Gerät zum Transport von Material. Ende der 50er Jahre suchte ein kalifornischer *Surfer* nach einer Alternative für wellenarme Zeiten, worauf er seine Rollschuhe demontierte, die Rollen und Achsen unter ein Holzbrett befestigte und so barfuss die Bewegungen des Wellenreitens imitierte. Das Asphalturfen war erfunden. So fuhren die Surfer die Strandpromenaden auf und ab und steuerten das Skateboard mittels einfacher Körpergewichtsverlagerungen.

Immer mehr Jugendliche versuchten sich so fortzubewegen und brachten Ideen mit für neue Fahrmöglichkeiten und Brettkonstruktionen. Der erste wichtige Fortschritt war das *Kicktail*, welches das Skateboarden in Kalifornien 1962 boomen liess.

1965 entstanden die ersten fabrikfertigen Skateboards (Hobie und Makaha) und in Anaheim, Californien fanden die ersten internationalen Skateboardmeisterschaften in den Disziplinen *Freestyle* und *Slalom* statt. Bald kamen *Downhill*, Hoch- und Weitsprung dazu. Eigene Magazine berichteten ausführlich über Aktualitäten, Entwicklung, Wettkämpfe und über die neusten Tricks in der Szene. Gleichzeitig aber schoben immer mehr amerikanische Gemeinden den Skateboardern den Riegel vor, indem sie die Sportart auf den Strassen, Trottoirs und anderen öffentlichen Anlagen verboteten. Dies stoppte das Wachstum abrupt und hatte ausserdem die Konsequenz für die Skateboarder, sich nach neuem Territorium umzusehen. Fündig wurden sie in den Gärten, wo die leeren Swimmingpools („Backyardpools“) neue Herausforderungen darstellten. Auch verschiedenste Entwässerungskanäle wurden genutzt. So liess dieses übriggebliebene Grüppchen ihrer Kreativität freien Lauf. Jedoch stiessen sie weiterhin auf Probleme: Die *Pools* waren zu eckig und deren verärgerte Besitzer vertrieben sie oft. Das Material war nicht optimal, da auch die Skateboardfirmen nicht mehr viel in die Entwicklung investierten.

Doch 1972 entdeckte Frank Nasworthy das Urethan *Wheel*, welches schneller und weicher ist, als das ursprüngliche Gummirad. Dies und breitere Brettkonstruktionen erhöhten die Qualität des Skateboardfahrens um ein Vielfaches. Erste Skateboardparks entstanden, die hundertprozentig auf die Ansprüche der Skater zugeschnitten waren.

Diese Veränderungen waren so gravierend, dass sich das Skateboardfahren zu einem Volkssport entwickelte. So stand 1975 beinahe ganz Amerika auf dem Skateboard. Unaufhaltsam war das Wachstum, einzelne Fahrer wurden von Sponsoren unterstützt, neue Skateboardparks schossen überall aus dem Boden und schliesslich schwappte die euphorisierende Skateboardwelle bis nach Europa über, wo sich innert kürzester Zeit ebenfalls eine grosse Nachfrage präsentierte.

Anfangs der 80er Jahre verschwand das Skateboard wieder von der Bildfläche, da viele auf die neu aufgekommenen BMX (Motocrossähnliche Fahrräder) und *Inlineskates* wechselten. Doch dann kam Alan „Ollie“ Gelfand aus Florida nach Kalifornien mit einem neuen Trick: Er verlagerte sein Körpergewicht auf das hintere Bein, drückte das *Tail* explosivartig auf den Boden und zog gleichzeitig mit dem vorderen, angewinkelten Bein das Board nach vorne. Das Ergebnis dieses neuen *Moves* war ein Sprung mit dem Skateboard, bei welchem das Brett sozusagen an den Füßen kleben blieb, ohne dabei die Hände zu benutzen. Somit konnten von nun an unzählige Hindernisse überwunden werden. Randsteine, Treppenstufen, Mäuerchen... das *Streetskating* war eröffnet.

Streetskating und die *Halfpipe* wurden mit dem *Ollie* erweitert und die Wettkämpfe wurden immer spektakulärer. Doch schon bald kehrte wieder mehr Ruhe in der Skateboardwelt ein. Diesmal entwickelte sich die noch aktive Szene zu einer Subkultur, sogenannte „Underground“. Spezieller Musikstil, Kleidung, Sprache und das Verhalten allgemein liessen das Skaten zu einem eigenen *Lifestyle* werden.

Jede Strecke wurde mit dem Skateboard zurückgelegt, immer und überall. Ständig kamen neue Tricks dazu, Transfers von der *Halfpipe* auf die Strasse, Treppengeländer dienten den *Slides*. Daraus entwickelte sich der *Streetstyle*-Wettkampf, der sich heute als Mischform aus Rampen und Strassenfahren und weiteren Hindernissen zusammensetzt. Diese Anordnungen



Abb. 1): Parallelsalomrennen in Amerika 1977, Brooke (1999)

werden auch als *Obstacle-courses* bezeichnet.

Vor allem dank den *Mini-Ramps* lernten die Skaters immer waghalsigere Manöver, welche sie dann auch in den *Pipes* umzusetzen versuchten. Heute hat sich eine relativ grosse, gut bezahlte Profi-Szene durchgesetzt, die begleitet von Sponsoren und den Medien riesige Auftritte in Städten der ganzen Welt durchführt.

Am Rande der Skateboard-Szene kämpfte sich mit Konstanz ein etwas anderes Skateboard durch die Geschichte: Das Slalomskateboard. Es präsentiert sich schmaler als das heutige *Freestyleskateboard* und hat kein starres Holz, sondern ein Materialmix aus Holz, Fiberglass und weiteren Elementen. Diese spezielle Konstruktion bewirkt eine *Flexion* des Brettes. Das wiederum ermöglicht eine andere Fortbewegungstechnik, die auch als „pumpen“ bezeichnet wird.

Das Slalomskateboard wird praktisch ausschliesslich als Fortbewegungsmittel und als Wettkampferät in der Disziplin Slalom verwendet. Einige Variationen zeichnen sich natürlich auch bei diesem Gerät ab.

In der Schweiz sind aus dieser Entwicklung heraus folgende Skateboardszenen entstanden:

- Die *Streetszene*, auch *Newschool* genannt, die durch ihre Radikalität und das junge Alter ihrer Vertreter besticht.
- Die Slalomboardszene, bestehend aus Gelegenheitskatern, ambitionierten Sportlern und Modefreaks.
- Die *Longboarder*, die gemütlich *cruisen*, *stylen* oder speedsüchtig die Strassen runterdonnern, bilden die *Oldschoolszene*.

Einige Skater gehören auch mehreren Gruppen an. Die jüngste Welle der *Oldschool* Skateboardbewegung hatte 1994 in Zürich ihren nennenswerten Ursprung.

Immer mehr Jugendliche und Junggebliebene lernten die Vorzüge des Skateboardes zu schätzen. Auf kurzen Strecken ist es sehr schnell und flexibel, leicht unter den Arm oder ins Tram zu nehmen.

So steigerten Radical Skateboards seit 1984, Cem Skateboards und PC Skateboards seit 1985 und Indiana Skateboards seit 1989 ihre Produktionen um ein Mehrfaches. Trotzdem ist die Konkurrenz der Skateboardfirmen gross. Z.B. versucht BMW mit Hilfe eines selbst entwickelten *Streetcarvers* sich am jung- dynamischen Image zu beteiligen. Das Gerät zeichnet sich durch die einzigartige Einzelradaufhängung aus.

Ebenfalls sieht man vermehrt Personen mit *Kickboards* und *Streetscootern* durch die Stadtkurven.

Die *Inlineskates* erwecken mit über einer Million Anhänger das grösste Interesse in der Öffentlichkeit bezüglich Fortbewegungsmittel auf kleinen Rädern. Bereits begleitet die Stadtpolizei Zürich Fahrerinnen und Fahrer jeden Alters in Gruppen sicher durch Zürich, während andererseits die Skateboarder gebüsst werden, egal ob sie sich auf dem Trottoir oder auf der Strasse befinden.

Dazu folgender Wortlaut aus der geltenden Gesetzgebung in Zürich:

Art.50 VRV Spiel und Sport auf Strassen

(Art.57 Abs.1 SVG)

¹ Auf der Fahrbahn, ausgenommen verkehrsarme Strassen (z.B. in Wohnquartieren), sind Spiel und Sport untersagt, namentlich Fahren mit Kinderrädern, Rollschuhen, Rollski und dergleichen sowie Schlitteln und Skifahren. Bei Spiel und Sport auf verkehrsarmen Strassen dürfen andere Strassenbenützer weder behindert noch gefährdet werden.

² Spiel und Sport auf dem Trottoir sind nur gestattet, wenn die Fussgänger und der Verkehr auf der Fahrbahn weder behindert noch gefährdet werden.

³ Ski und Schlitten dürfen als Verkehrsmittel benützt werden, wo dies ortsüblich ist.

(V 22.12.1976, iK 1.1.1977)

Trotzdem lassen sich die verschiedenen Skateboarder nicht unterkriegen.

Summit, ebenfalls ein Skateboardproduzent, war an der Gründung des Street Surf Club beteiligt. Dieser strebt neben gemeinsamen Skateaktivitäten v.a. auch eine politische Mission an, nämlich die Schaffung eines legalen Bewegungsraumes für Skater.

Die engagierten Skater von Zürich ihrerseits haben 1995 die Schwingboardconnection gegründet. Dieser Verein will das *Oldschool* Skateboarding fördern und *Events* organisieren. 1998 wurde die erste Homepage auf das Netz geschaltet. Das Soulcruisingcenter beim Limmatplatz, der vereinseigene Skateboardshop, stellt gratis Testmaterial aller Marken zur Verfügung.

Im Frühjahr 2000 haben sich die sechs führenden Skateboardhersteller der Schweiz vereinigt um gemeinsam den Sport zu fördern und *Events* zu organisieren. Sie betreiben eine Homepage, die www.asphaltsurfing.ch, auf der sie verschiedene Informationen und Dienstleistungen anbieten. Dabei verpflichtete sich jeder Produzent, zwei Rennen pro Jahr zu organisieren.

International werden auch viele Hebel in Bewegung gesetzt. Die EDI, Extreme *Downhill* International, organisiert dieses Jahr sechs Rennen, zwei davon in der Schweiz in der Kategorie *Downhill*. Der Beste nach dieser Tour wird Weltmeister. Zudem kann man sich für die NBC Gravity Games qualifizieren, sozusagen die Olympischen Spiele der Extremsportarten. Im August dieses Jahres finden in San Francisco die X-Games statt, bei denen alle verrückten Sportarten die hohe Einschaltquoten der Fernsehsender versprechen, präsent sind.

Die Disziplinen Slalom und Riesenslalom sind leider zu wenig attraktiv für Sponsoren und werden daher auch nur in kleinem Rahmen durchgeführt. Die Zeiten, als man bei Slalomwettkämpfen mehrere Tausend Dollar Preisgeld verdienen konnte, wie in den 70er Jahren in Amerika, gehören leider der Vergangenheit an.

Mehr Action verspricht die Disziplin *Streetboardercross*. Drei Fahrer stürzen sich dabei gleichzeitig den Asphalt hinunter und haben verschiedene Hindernisse zu bewältigen. Der schnellste gewinnt den jeweiligen *Heat*.

Sowie die einzelnen Disziplinen an Attraktivität gewinnen oder verlieren, spriessen Produzenten aus dem Boden oder verschwinden. Neue oder Varianten schon bestehender Sportarten ziehen wieder neue Sportler an.

Das zyklische Auf und Ab wird es auch in Zukunft geben. In gewissen Leuten wird das Feuer und die Hingabe zum Asphalturfen immer Bestand haben.

3. Theorieteil

Bei ersten, unspezifischen Beobachtungen von Skateboardern interessierte das Phänomen, wie sie sich auf einer Horizontalen überhaupt fortbewegen können, ohne dabei die Füße vom Board zu nehmen und die Räder am Boden bleiben. Was für Bewegungen muss der Körper ausführen, um den Gesetzen der Physik entsprechend eine resultierende Kraft in Fahrtrichtung erzeugen zu können?

In dieser Arbeit soll ein Beitrag zur Techniko Optimierung in Slalomrennen geleistet werden. Es stellt sich die Frage, ob mit bewusster Fahrtechnik schnellere Zeiten in einem Slalomrennen realisiert werden können.

Allerdings wird hier der Materialvielfalt keine Beachtung geschenkt. Man erhält also keine Informationen darüber, welches Material für bestimmte Contests verwendet werden sollte. Konkret wurden folglich Texte und Berichte zusammengefasst, die zur Klärung der Bewegungsstruktur beim Slalomskateboarden und der Erläuterung obiger Fragen beitragen.

3.1. Technisches Modell

Zur besseren Übersicht wurde das technische Modell nach Campell, Disler, Hotz und Rüdüsühli (1998) auf das Skateboarden adaptiert.

Zu lesen ist Abbildung 2 von innen nach aussen, weil das Zentrale beim Skateboarden der Widerstand darstellt. Ohne Widerstand entsteht keine Reibung, keine Kurve und daher ist auch keine Beschleunigung des Skateboardes in der Horizontalen möglich. Eine optimale Rolle hat in Fahrtrichtung möglichst wenig Rollwiderstand und senkrecht dazu in Achsrichtung eine möglichst grosse Haftreibung.

Die Kernelemente stellen die passiven Bewegungsmöglichkeiten des Skateboards dar. Die Kernbewegungen beschreiben die aktiven Bewegungsarten des Fahrers. Sie sind relativ offen beschrieben, d.h. Drehen kann man mit verschiedenen Körperteilen, Kippen in verschiedene Richtungen und Beugen und Strecken mit verschiedenen Gelenken.

Je nach Akzentuierung der Kernbewegungen entstehen verschiedene Formen. Diese werden in der 3. Schale zu Formfamilien zusammengefasst:

Schwungformen, Schrittformen und Trickformen.

Bei den Schwungformen gibt es die Streckschwünge beim Pumpen, die Beugeschwünge beim bremsenden Bergabfahren, die Drehschwünge beim Beschleunigen aus dem Stillstand und die Kippschwünge beim *Cruisen*.

Bei den Trickformen, gibt es Tricks am Boden und in der Luft. Die Schrittformen bestehen aus diversen Möglichkeiten auf dem Brett die Füße zu versetzen.

Bei den Gestaltungsvarianten werden verschiedene Formen aus verschiedenen Formfamilien miteinander kombiniert, z.B. Tricks mit Schwungformen. Die Wettkampfdisziplinen kann man hier auch in die vierte Schale des Modells integrieren: z.B. *Halfpipe*, *Miniramp*, *Obstaclecourse*, *Freestyle*, *Downhill*, *Riesenslalom*, *Slalom* und *Streetboardercross*.

Technisches Modell, adaptiert nach Campell et al. (1998):

Abb.2):

Zentrum:

Gleit-, Haft-, Roll- und Luftwiderstand

Suchen, nutzen und überwinden

1. Schale: Kernelemente:

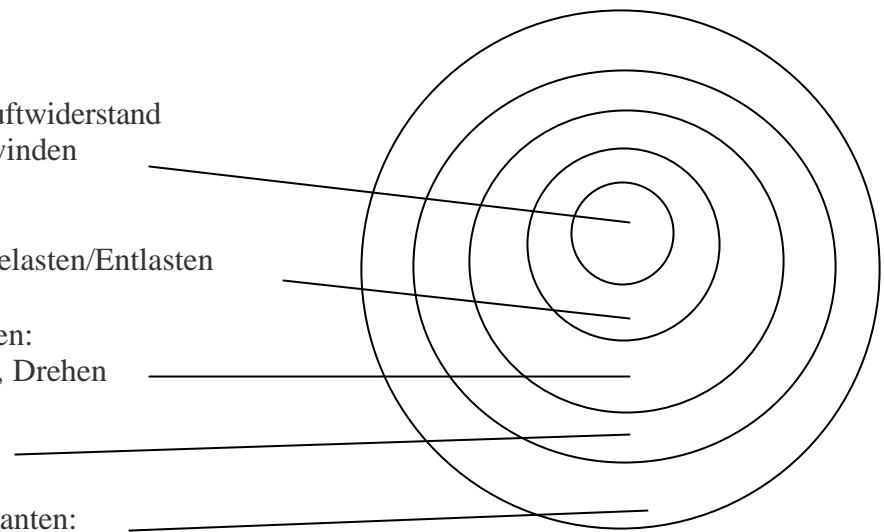
Rollen, Sliden, Steuern, Belasten/Entlasten

2. Schale: Kernbewegungen:

Beugen/Strecken, Kippen, Drehen

3. Schale: Formfamilien:

4. Schale: Gestaltungsvarianten:



Das Modell dient einer besseren Übersicht über die Sportart Skateboarden und soll die Darstellung aller möglichen Bewegungen und Techniken auf dem Skateboard ermöglichen.

3.2. Verwendete Formeln und Gesetze

Sexl, Raab, Streruwitz, (1980) bieten mit ihrer Übersicht über physikalische Sachverhalte eine Vorbereitung für nachfolgende Texte.

Arbeit:	In einem nicht abgeschlossenen System ist Energieänderung gleich der gesamten Arbeit der von aussen angreifenden Kräfte. $\Delta E = W$ Arbeit = Kraftkomponente in Wegrichtung mal zurückgelegter Weg $W = F_{\parallel} * \Delta s$
Leistung:	Abgegebene Arbeit pro verstrichene Zeit $P = W/t$
Kraft:	Masse mal Beschleunigung $F = m*a$
Reibungskraft:	$F = f*N$ (f=Reibungszahl, N= Normalkraft)
Zentripetalkraft:	$F = m*v^2/r = m*\omega^2*r$
Impuls:	Masse mal Geschwindigkeit $m*v$
Energie:	Fähigkeit, Arbeit zu verrichten
Kinetische Energie eines materiellen Punktes:	$\frac{1}{2}m*v^2$
Kinetische Rotationsenergie eines materiellen Punktes:	$\frac{1}{2}J*\omega^2$
Potentielle Energie eines materiellen Punktes relativ zur Erde:	$m*g*h$
Spannungsenergie einer deformierten Feder:	$\frac{1}{2}k*x^2$
Innere Energie eines beliebigen Körpers:	U
Trägheitsmoment:	I = Masse mal Abstand zum Drehzentrum $I = m*r^2$
Drehmoment M:	Trägheitsmoment mal Winkelbeschleunigung $I*\alpha$ Kraft mal Abstand $F*s$
Winkelgeschwindigkeit:	ω
Winkelbeschleunigung:	α

Einheit der Arbeit: $1\text{ N} \cdot 1\text{ m} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1\text{ m} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2} = 1\text{ J}$

Einheit der Leistung: $1\text{ W (Watt)} = 1\text{ J/s}$

Einheit der Kraft: $1\text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$

Einheit des Impulses: $1\text{ kg} \cdot \text{m/s}$

Abgeschlossene und nicht abgeschlossene Systeme:

Satz von der Erhaltung des Gesamtimpulses:

In einem abgeschlossenen System bleibt der Gesamtimpuls P konstant.

Satz von der Erhaltung des Gesamtdrehimpulses:

Im abgeschlossenen System bleibt der Gesamtdrehimpuls L konstant.

$$I \cdot \omega = L$$

Satz von der Erhaltung der Gesamtenergie:

In einem abgeschlossenen System bleibt die Gesamtenergie konstant.

In einem nicht abgeschlossenen System ist die sekundliche Impulsänderung gleich der gesamten von aussen angreifenden Kraft.

$$\Delta P / \Delta t = F$$

Im nicht abgeschlossenen System ist die sekundliche Drehimpulsänderung gleich dem gesamten von aussen angreifenden Drehmoment.

$$\Delta L / \Delta t = M$$

In einem nicht abgeschlossenen System ist die Energieänderung gleich der gesamten Arbeit der von aussen angreifenden Kräfte.

$$\Delta E = W$$

Die Bewegung eines starren Körpers:

Die Bewegung eines starren Körper setzt sich im allgemeinen aus einer Translationsbewegung und einer Rotationsbewegung zusammen. Für jede dieser Bewegungsformen existiert eine spezielle Bewegungsgleichung.

1. Die Translationsbewegung

Eine Translationsbewegung liegt vor, wenn der Körper seine räumliche Orientierung relativ zu einem Inertialsystem beibehält.

Die Gleichung lautet:

$$m \cdot a = F$$

Masse mal Beschleunigung des Massenmittelpunktes = Summe der angreifenden Kräfte.

2. Die Rotationsbewegung

Eine Rotationsbewegung liegt vor, wenn sich der starre Körper um einen festen Punkt relativ zu einem Inertialsystem dreht.

Bei den ebenen Rotationsbewegungen dreht sich der Körper um eine feste Achse.

Die Gleichung für die ebene Rotationsbewegung lautet:

$$I \cdot \alpha = M$$

3.3. Material

Ein Skateboard besteht grundsätzlich aus drei Komponenten: Dem Skateboarddeck, zwei Achsen und vier Rollen, siehe Abb. 3. Das *Deck* wird auf der Standfläche mit einem *Griptape* beklebt, um bessere Haftung der Füße zu gewährleisten.



Abb. 3): Ein komplettes Skateboard

Brett/*Deck*:

Im Vergleich zu den Streetskateboards haben die Slalomskate- und *Longboards* selten ein *Tail* oder eine *Nose*. Das heisst, die Achsen sind fast an den Enden des Brettes montiert. Das Deck wird normalerweise aus verschiedenen Hölzern von Hand gefertigt. Der stehend oder horizontal verleimte Holzkern wird mit anderen Materialien wie Glasfasern, Carbon und Titanal mit Epoxyharz zu einer Sandwichkonstruktion verbunden und unter Temperatur gepresst.

Die meisten Bretter haben einen Vorspann, der mehr *Flex* ermöglicht. Konkave Konstruktionen bieten einen besseren Stand, da die Seiten nach oben gezogen sind, und ein schnelleres Rückstellverhalten. Die Bretter unterscheiden sich in Länge, Breite, Form, Aufbau, *Flex*, beziehungsweise Härte und Rückstellgeschwindigkeit. Je nach Gewicht, Grösse und Einsatzbereich des Skaters wird das entsprechende Brett ausgewählt.

Bei Indiana Skateboards haben die Slalombretter Längen von 71, 74, 77 und 85 cm. Die *Longboards* sind 97 oder 114 cm lang. Mit einem Slalombrett fährt man kleine Radien mit mittleren Geschwindigkeiten. Mit einem *Longboard*, das länger und schwerer ist, kann man *cruisen* und *Downhill* fahren, siehe Abb. 4:



Abb.4): Verschiedene Skateboards von Indiana: Vlnr: 114 cm, 97 cm, 85 cm, S-Shape 77 cm

Die Skateboardachsen:

Die Achsen unterscheiden sich in Material, Härte, Breite, Konstruktion und Preis. Die vordere Achse ist normalerweise schmaler als die hintere. Dies bewirkt eine gute Drehfreudigkeit, um die Kurve einzuleiten. Die hintere, breitere Achse sorgt für Stabilität und ruhiges Fahrverhalten.

Die Achse besteht aus zwei wichtigen Elementen, siehe Abb. 5:

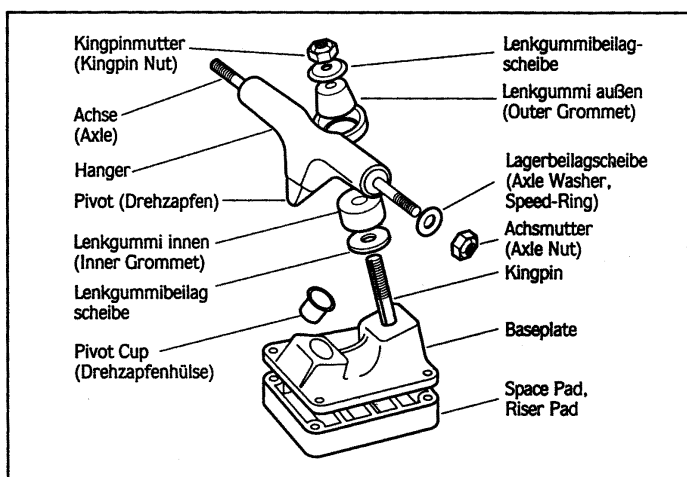


Abb. 5) Achse mit ihren Bestandteilen, nach Van Doren (1991)

Der *Hanger* wird flexibel an der *Baseplate* montiert. Der *Pivot* steckt umgeben vom *Pivotcup* im vorgesehenen Loch der *Baseplate*. Diese Konstruktion bewirkt, dass der *Hanger* um die Längsachse des *Pivot* rotiert. Je steiler der *Pivot* in die *Baseplate* geführt ist, desto wendiger ist die Achse. Je flacher der *Pivotwinkel*, desto grösser wird der gefahrene Radius der Kurve. Um eine Harmonie der Achsgeometrie zu gewährleisten, muss die Neigung des *Kingpin* zum *Pivotwinkel* passen.

Der *Hanger* wird mit Gummis gelagert am *Kingpin* festgeschraubt. Die Härte dieser Lenkgummis bestimmt die Sensibilität der Achsbewegung, welche auch mit der Fixierungsschraube verändert werden kann.

Das Verhältnis von vertikaler zu horizontaler Bewegung der Achse ist durch die Achsgeometrie bestimmt. Mit Keilen lässt sich dieses Verhältnis jedoch noch beeinflussen. Normalerweise werden die Keile so montiert, dass vorne mehr Wendigkeit als hinten resultiert.

Eine neue Generation von Achsen stellt die „*Flexcontrol*“ von G-Truck dar.

Statt zwei Lenkgummis bestimmen zwei verstellbare Federn die Lenkeigenschaften der Achse, siehe Abb. 6:

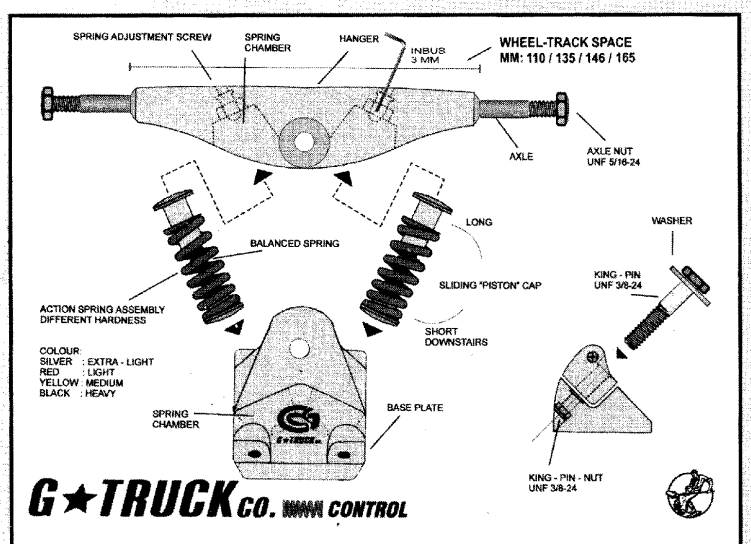


Abb.6): Aufbau einer G-Truck Flexcontrolachse

Der Abstand der Achsen beeinflusst das Fahrverhalten enorm. Ein breiter Achsenabstand sorgt für Stabilität und Laufruhe. Ein schmaler für Agilität und kleine Kurvenradien.

Die Rollen:

Die Rollen werden am Achsstift des *Hangers* montiert, siehe Abb. 7:

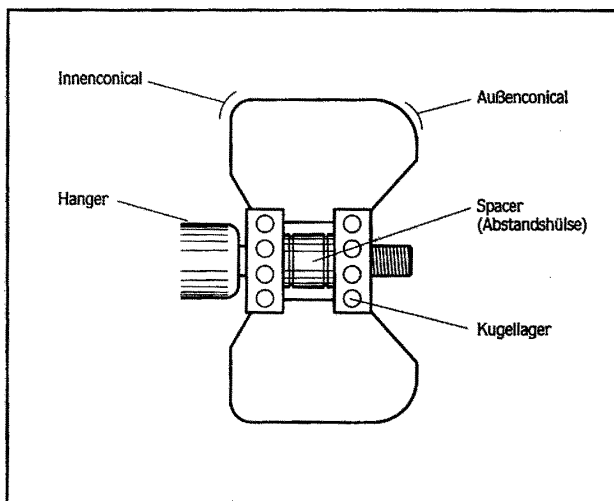


Abb.7): Querschnitt einer Rolle, die am Hanger montiert ist, nach Van Doren (1991)

Die Rollen oder *Wheels* unterscheiden sich einerseits durch ihre Geometrie, andererseits durch ihr Material und Aufbau. Bei der Geometrie sind Durchmesser, Breite und Abrundung an den Kanten entscheidend. Eine kleine Rolle lässt sich schneller beschleunigen als eine grosse. Die grossen Rollen sind allerdings laufruhiger und weniger anfällig auf Bodenunebenheiten. Eine breite Rolle hat mehr Rollwiderstand als eine schmale, die Produzenten versprechen aber dafür mehr Haftung in der Kurve. Theoretisch ist aber die Haftreibung nicht von der Fläche abhängig, sondern alleine von der Normalkraft und der Haftreibungszahl.

Das Material besteht meistens aus Polyurethan, einem Kunststoff, der gute Roll- und Haftungseigenschaften aufweist. Der Härtegrad ist entscheidend für die Roll- und Haftungseigenschaften und wird in Durometer mit der Masseinheit A (Shore) angegeben. Die Skala reicht bei den Slalomskaterollen von 78 A bis 92 A. *Streetstylerollen* sind normalerweise noch härter. Je härter eine Rolle, desto schneller ist sie, ermöglicht aber um so weniger Haftung in der Kurve.

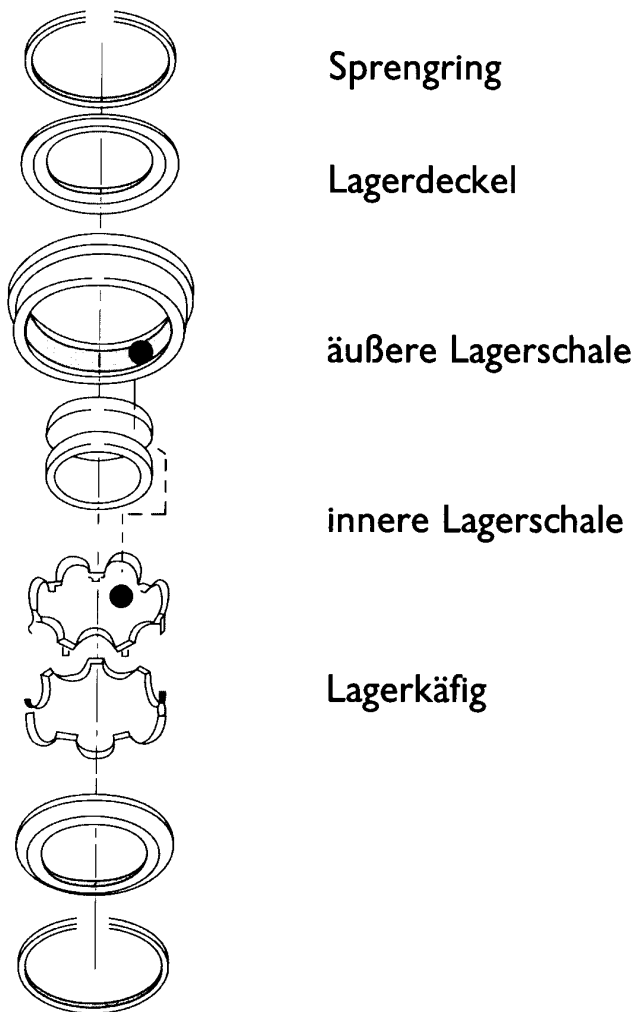
Manche Rollen haben einen harten Kern oder einen Speichenkern, um bessere Rolleigenschaften zu erzielen und die Kugellager präziser einzufassen, siehe Abb.8:



Abb. 8): Von oben im Uhrzeigersinn: Kryptonics 71, G-Wheel 66, *Downhillwheel* mit Speichenkern, G-Wheel 71 mit Speichenkern, Summit *Wheel* mit Alukern

Das Kugellager:

In normalen Skateboardrollen werden Kugellager mit der DIN-Norm 608 eingesetzt. Qualitätsfaktoren sind die Oberflächenbeschaffenheit und Präzision der Einzelteile und die Art des Schmierstoffes.



Die Industrie hat die Fertigungsnorm „ABEC“ aufgestellt, um den Konsumenten über die Güte und Präzision der Kugellager zu informieren. ABEC bedeutet „Annular Bearing Engeneering Commitee“. Dieses Komitee hat die Skala von 1-7 eingerichtet. Diese sagt aber nur etwas über die Fertigungstoleranzen aus, nichts über andere Einflussfaktoren. Ein Kugellager mit der Bezeichnung ABEC 7 ist sehr präzise gefertigt worden, ein ABEC 1 Kugellager eher ungenau. Welches Material verwendet worden ist und wie dieses oberflächlich behandelt worden ist, findet man nur mühsam heraus, der Preis und Angaben der Produzenten lassen jedoch Rückschlüsse zu, siehe Abb.9:

Abb. 9): Kugellageraufbau, nach Hartmann und Frödrich (1999)

3.4. Literaturübersicht

3.4.1. Analogien zum Fortbewegungsphänomen Skateboard

In diesem Kapitel sollen die Literaturhinweise zusammengetragen werden, die dazu beitragen, das Phänomen „Beschleunigung beim Skateboarden“ verständlich zu machen.

Die ersten beiden Beiträge (Katamaran und *Halfpipe*) beruhen auf eigenen Überlegungen.

3.4.1.1. Der Katamaran

Das Fortbewegen eines Katamarans ohne Segel, nur mit den beiden Steuerrudern, an Segelregatten nach ISAF (1997-2000) verboten, funktioniert folgendermassen: Durch rhythmisches Hin- und Herbewegen der Steuerruder beginnt der Katamaran sich schlängelnd vorwärts zu bewegen.

Die beiden Schwimmer des Katamarans zeigen immer in Fahrtrichtung, mit Hilfe der Steuerruder und des hydrodynamischen Auftriebs kommt man mit einer Schlangenlinienfahrt vorwärts, siehe Abb.10:

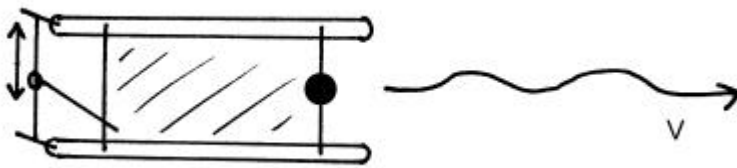


Abb.10): Die Schlangenlinienfahrt mit Hilfe der Steuerruder

3.4.1.2. Das Halfpipefahren

Durch geschicktes, rhythmisches *Pushen* kann man wie auf einer Schaukel fast unendlich lange die *Transitions* hochfahren. Dazu braucht man eine Anfangsgeschwindigkeit, wofür man sich die *Pipe* runterstürzt. Zu oberst ist der Körper horizontal, unten im *Flat* ist er vertikal. Der Trick besteht darin, innere Energie des Skaters in kinetische oder potentielle umzuwandeln. Dazu steht das Beugen und Strecken der Beine zur Verfügung. Wenn man gestreckt horizontal in der vertikalen Wand ist und sich bis zur horizontalen Fläche zusammensacken lässt, hat man mehr potentielle Energie umgewandelt (h_1), als wenn man in konstanter Körperhaltung die *Transition* runterfährt (h_2). Die Höhendifferenz des *KSP* wurde durch die Beugebewegung absichtlich erhöht. Fährt man nun gestreckt die andere *Transition* hoch, wird weniger kinetische Energie in Potentielle Energie umgewandelt (h_2), also hat man bei gleicher Höhe noch mehr Geschwindigkeit und kommt somit noch höher hinauf, siehe Abb.11.

KSP-Verlagerungen gegenüber dem Brett und Umwandlungen zwischen innerer, potentieller und kinetischer Energie sind hier die Schlüsselworte.

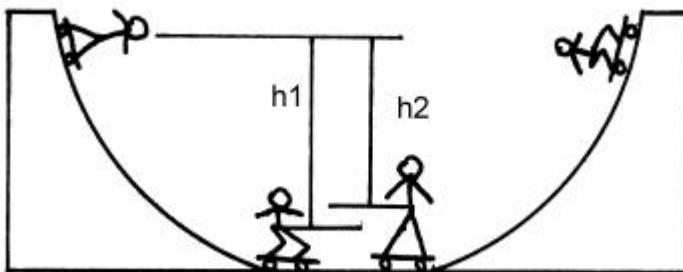


Abb.11): Das *Pushen* in der *Halfpipe*

3.4.2. Beschriebe zur Beschleunigung mit dem Skateboard

3.4.2.1. Beschleunigungsbeschreibung Laurent (1978)

Schon Laurent (1978) beschreibt eine Art sich fortzubewegen als Kick-Turns, Flic Flac oder Tic Tac. Nach ihm soll zuerst die vordere Achse angehoben werden und dann das Brett mit Hilfe einer Oberkörpergegenrotation in Seitenlage gebracht werden. Aus dieser Position wird die vordere Achse wieder angehoben und das Brett auf die andere Seite gebracht. Mit dieser Technik bewegt man sich entlang einer Linie fort, siehe Abbildung 12:

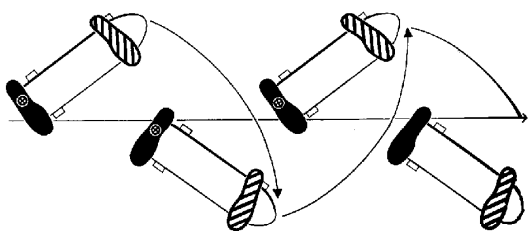


Abb 12): Die vordere Achse wird angehoben und abwechslungsweise nach rechts und links gedreht.

3.4.2.2. Beschleunigungsbeschreibung, Andrejtschitsch, Kallée, Schmidt (1991)

Andrejtschitsch, Kallée und Schmidt (1991) beschreiben zwei Möglichkeiten mit dem Skateboard vorwärts zu kommen.

Die erste Möglichkeit ist das Tic-Tacing oder das Jetten:

- „Dies funktioniert während der Fahrt ebenso wie aus dem Stand: Die Vorderachse wird angehoben, um schwungvoll eine kleine Drehung (um etwa 30 Grad) zu erzeugen, die durch das Aufsetzen der vorderen Rollen beendet wird. Dieser Kick-Turn wird anschliessend zur anderen Seite hin wiederholt. Durch laufende Aneinanderreihung dieser kleinen Kick-Turns wird das Skateboard beschleunigt, ohne sich am Boden mit den Füßen abstossen zu müssen.“
- Die zweite Variante ist das „Pumpen“:
„Eine Technik, die vor allem von Slalomfahrern angewendet wird. Bei weicher Achseinstellung wird hier aus den Knien heraus durch dynamische und schwungvolle kleine Kurvenschwünge beschleunigt. Am Anfang trainiert man dies am besten auf leicht abschüssigem Gelände. Könner fahren mit dieser Technik auch bergauf!“

3.4.2.3. Beschleunigungsbeschreibung, Sturham (2000)

Sturham (2000) erklärt das Vorwärtskommen auf dem Skateboard folgendermassen:

„Die Basistechnik funktioniert wie folgt: Man will bei jeder Kurve Geschwindigkeit gewinnen oder halten. Am einfachsten teilt man die Kurve in zwei Teile. Wenn man die Kurve einleitet, soll man das Gewicht nach vorne werfen und gleichzeitig die Knie beugen. Dies verursacht eine Biegung des Brettes nach unten. Beim Kurvenende sollte ein gutes Slalombrett in seine Ausgangslage zurückkehren. Sobald dies geschieht soll man das Brett entlasten und die Aufwärtsbewegung in eine Vorwärtsbewegung umlenken und gleich den Anfang der nächsten Kurve einleiten“.

„Ein guter Fahrer sollte fähig sein mit dieser Pumpbewegung über längere Distanz die Geschwindigkeit aufrecht erhalten zu können. Dies auf horizontalem Grund und sogar leicht aufwärts“.

Die Technik wird beschrieben mit einem *Flex*brett. Interessant ist die Einteilung in eine Auslöse- und eine Steuerphase der Schwünge. Allerdings wird auf die Rotation des Oberkörpers nicht eingegangen.

3.4.2.4. Beschleunigungsbeschreibung Farner (1999)

Farner (1999) beschreibt die zur Beschleunigung führende Bewegung wie folgt:

„In der Fahrt rhythmisch kurze Schwünge ausführen. Dabei den *KSP* für die Schwungauslösung leicht nach vorne und in der Steuerung dann zurück bis auf den hinteren Fuss bringen. Das Board wird mit dieser Bewegung in der Steuerung nach vorne „geschleudert“ und dabei beschleunigt.“ Das Pumpen entstehe weiter mit noch zusätzlichen Bewegungen, nämlich mit aktivem Vor- und Mitdrehen des Oberkörpers und mit einer Hochentlastung. Nach Farner gelingt das Pumpen auch ohne *Flex* im Board, was aber ein noch aktiveres Vor- und Mitdrehen des Oberkörpers und eine ausgeprägte Längsachsverschiebung des *KSP* bedingt.

Farner kombiniert verschiedene Effekte miteinander, auch unterscheidet er zwischen *Flex* und keinem *Flex* im Board.

3.4.3. Theoretische Ansätze zur Fortbewegung eines Snakeboards

3.4.3.1. Modell eines Snakeboards

Robinson (1999) beschreibt das Fortbewegungsphänomen eines Snakeboards, bei welchem zwei unabhängig voneinander, drehbare Achsen mit einem Stab verbunden sind, siehe Abb.13:

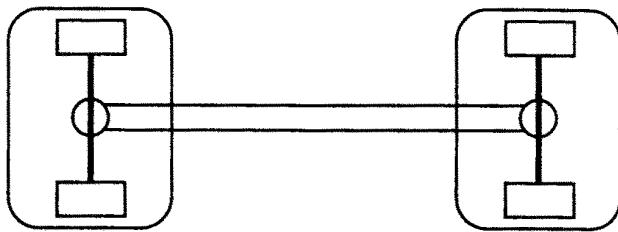


Abb. 13): Modell eines Snakeboards

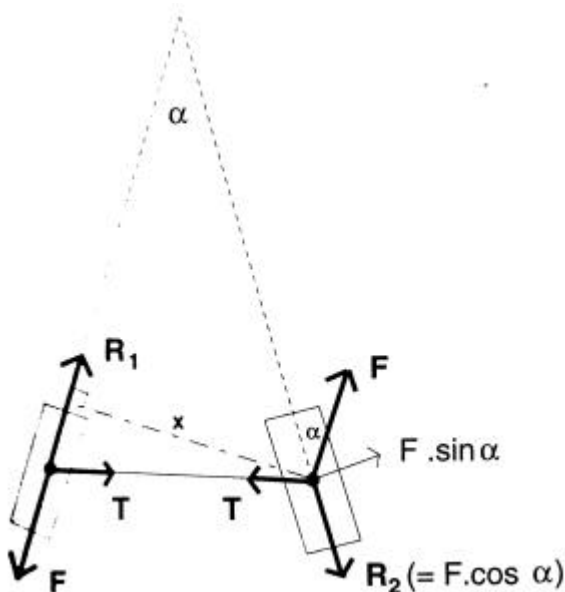


Abb. 14): Modell eines Snakeboards mit den wirkenden Kräften nach Robinson (1999)

Der Vortrieb wird auch in diesem Artikel mit Reaktionskräften beschrieben.

Die Reaktionskräfte, verursacht durch ein Drehmoment, sind gleich gross und entgegengesetzt, verlaufen aber nicht in der gleichen Wirkungslinie, siehe Abb. 14.

R_1 und R_2 stellen die beiden Reaktionskräfte, die in Achsrichtung auf das Snakeboard wirken dar. $F \cdot \sin \alpha$ ist die resultierende Reaktionskraft und bringt das Snakeboard vorwärts.

Nach Robinson (1999) kommt die resultierende vorantreibende Kraft durch eine Vektoraddition von R_1 und R_2 zustande, siehe Abb.15:

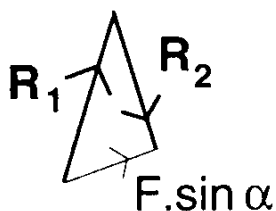


Abb.15): $F \cdot \sin \alpha$ stellt die vorantreibende Kraft dar

Interessant ist auch die Berechnung des Neigewinkels φ des Fahrers, siehe Abb.16:

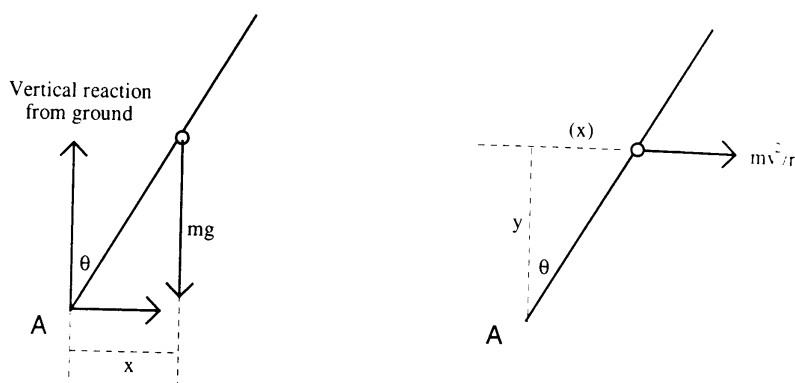


Abb.16): Illustration zur Berechnung des Neigewinkels φ
 mg Gewichtskraft
 x Distanz vom projizierten *KSP* zur Brettmitte
 y Höhe des *KSP*
 mv^2/r Zentrifugalkraft.

Wenn der Fahrer in der Kurve nicht umfallen will, muss die Gleichung $mgx = (mv^2/r)y$ erfüllt sein.

Aufgelöst nach dem Tangens des Neigewinkels φ ergibt dies:

$$\tan \varphi = x/y = v^2/rg$$

Dies trifft natürlich nur auf einen bestimmten Bereich zu. Die Grösse, Breite und das Material der Rollen stellen da einen limitierenden Faktor dar.

3.4.3.2. Vergrößerung der kinetischen Energie, Lind und Sanders (1996)

Lind und Sanders (1996) lieferten eine Erklärung, wie eine Beschleunigung in der Kurve mit einem Wagen möglich ist.

Lind und Sanders (1996) veranschaulichten in diesem Text zuerst, wie es möglich ist durch Verrichten von Arbeit das Trägheitsmoment I zu verkleinern und sich folglich die Winkelgeschwindigkeit erhöht. Praktisch veranschaulichen sie dies mit dem bekannten Beispiel einer Eiskunstläuferin die eine Pirouette ausführt und sich schneller zu drehen beginnt, sobald sie die Arme näher an den Körper führt. Die Eiskunstläuferin verrichtet also Arbeit indem sie ihre Arme anzieht. Dadurch nimmt ihr Trägheitsmoment I ab, die Winkelgeschwindigkeit ω zu und sie beginnt sich schneller zu drehen.

Nun übertragen sie dasselbe Prinzip auf einen Skifahrer, der einen Slalomkurs zu bewältigen hat. Sie simulieren diese Situation mit einem Wagen, der sich auf einer Schiene bewegt und einen Slalomkurs beschreibt. Der Mann im Wagen verlagert nun in der ersten Kurve seinen *KSP* so weit wie möglich in Richtung Kurvenzentrum. Die Reaktion die sich dadurch ergibt, ist dieselbe wie bei der Eiskunstläuferin: Er verrichtet Arbeit, das Trägheitsmoment I nimmt ab und seine Winkelgeschwindigkeit ω nimmt zu. Das Resultat ist schlussendlich, dass seine kinetische Energie bei Kurvenende grösser ist als zuvor und folglich seine Geschwindigkeit v in Fahrtrichtung zugenommen hat. Wiederholt er nun diesen Vorgang in jeder Kurve, beendet er den Lauf früher, als wenn er diese Arbeit nicht verrichtet hätte.

$$T = \frac{L^2}{2I} \quad T = \text{Kinetische Energie}$$

$$\omega = \text{Winkelgeschwindigkeit}$$

$$I = \text{Trägheitsmoment}$$

$$L = \text{Gesamtdrehimpuls}$$

Die Arbeit, die gegen die Zentrifugalkraft F_c verrichtet und somit in kinetische Energie umgewandelt wird, lässt sich wie folgt berechnen:

$$F_c = \frac{Mv^2}{r} \quad F_c = \text{Zentrifugalkraft}$$

$$M = \text{Masse}$$

$$v = \text{Geschwindigkeit}$$

$$r = \text{Radius}$$

Die Arbeit W , die über die Distanz h verrichtet wird, entspricht dT und wird in kinetische Energie T umgewandelt.

$$dT = -hMv^2/r$$

$-h$ = Distanz h , (das Vorzeichen von h ist negativ, weil der *KSP* des Fahrers und der Wagen sich zum Rotationszentrum hin bewegen.)

M = Masse

V = Geschwindigkeit

R = Radius

Für die vorliegende Arbeit wurde abgeleitet, ob somit auch eine Beschleunigung eines Skateboardes in einer Kurvenfahrt resultiert, wenn versucht wird, möglichst viel Körpermasse in Richtung Kurvenzentrum zu verlagern.

Die Ausführungen dazu sind im Methodeteil (4.1.) ersichtlich.

3.4.3.3. Nicht holonome Systeme, Reckling (1970)

Zur Problematik der nicht holonomen Systeme beschreibt Reckling (1970) ein Rad, das sich durch eine Kurve bewegt und dabei nicht nach der Seite abrutschen soll, siehe Abb. 17.

„An der Stelle (x,y) sei die Radachse um den Winkel φ gegenüber der y -Richtung geneigt. Bei der Weiterbewegung kann das Rad längs irgendeiner Kurve, beispielsweise längs a oder b , geführt werden, jedoch muss dabei immer die Differentialbeziehung $dy = dx \tan \varphi$ zwischen den Koordinaten erfüllt sein, wenn das Rad nicht in Achsrichtung wegrutschen soll“.

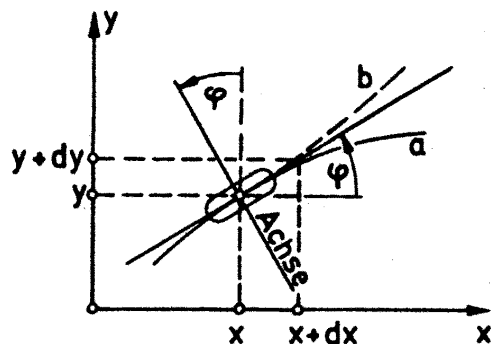


Abb. 17): Koordinatensystem mit einem auf einer Kurve rollenden Rad

Das Beispiel „Rad“ ist durchaus praxisrelevant. Während dem Skateboardfahren kommt es immer wieder vor, dass diese Bedingungen nicht mehr erfüllt werden und die Rollen in Achsrichtung wegrutschen, was zu einem Geschwindigkeitsverlust führt.

3.4.3.4. Mathematische Erklärung zur Beschleunigung, Ispolov und Smolnikov (1995)

Ispolov und Smolnikov (1995) haben das Phänomen des beschleunigenden Skateboardfahrens mathematisch hergeleitet.

Sie untersuchten die Bewegung eines kontrolliert gesteuerten Skateboards auf einer rauhen, horizontalen Fläche. Die Kontrolle geschieht durch beabsichtigtes Kippen und Drehen des Körpers vom Fahrer. Die Vortriebskraft entsteht aus Reaktionskräften von nicht holonomen Zwängen.

Die Differentialgleichungen der Bewegungen sind dargestellt in der Appellform (spezielle Herleitungsart).

Einführung:

Aus mechanischer Sicht ist ein Skateboard eine Plattform mit zwei drehbaren Rollenpaaren, siehe Abb.18. Ein Sportler steht auf der Plattform und ist fähig, das Skateboard zu beschleunigen oder zu bremsen und seine Fahrbahn zu bestimmen. Dabei braucht er seinen Körper seitlich zu neigen und zu drehen. Im Vergleich zu einem Fahrrad, wo der Antrieb über Drehmomente in Fahrtrichtung am Antriebsrad angreifen, entsteht die Beschleunigung beim Skateboard durch quer hindurchgehende, nicht holonome Reaktionskräfte. Diese werden durch beabsichtigte Bewegungen des Sportlers produziert.

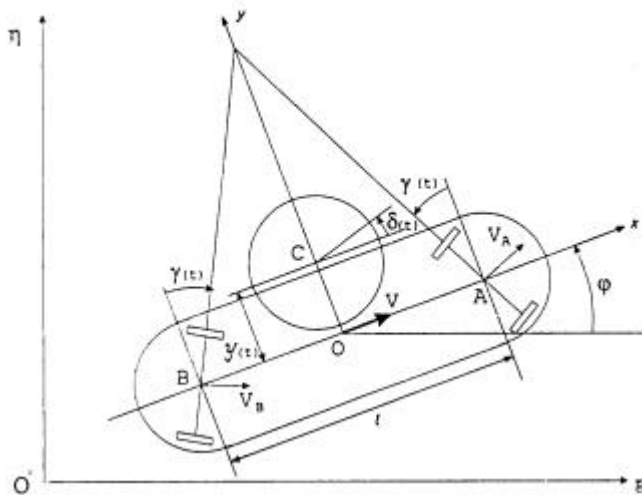


Abb. 18): Modell eines Skateboards mit dem Sportler:

3 Koordinaten:

ξ Abszisse, η Ordinate, φ Winkel zwischen AB und ξ

3 kontrollierte Bewegungen abhängig von der Zeit:

$\gamma(t)$ beschreibt den Achswinkel,

$y(t)$ die Translation des KSP zum Kurvenzentrum hin,

$\delta(t)$ die Rotation des Oberkörpers um die Vertikale

V = Geschwindigkeit der Plattform

Die beiden Achsen des Skateboards bewegen sich zueinander mit dem selben Winkel. Es besteht eine Abhängigkeit zwischen horizontaler und vertikaler Bewegung der Achsen. Die Neigung der Achsen wird durch die Füße des Sportler erreicht. Ist $\gamma = 0$ fährt das Skateboard geradeaus. Wenn $\gamma \neq 0$ fährt das Rollbrett auf einem Kreisbogen. Der Radius ist definiert durch den Achsabstand l und die Neigung der Achsen γ .

Die Position der Plattform ist gegeben durch drei unabhängig verallgemeinerte Koordinaten: Zwei rektangulär durch das Zentrum der Plattform gehende und eine, die die Drehung der Plattform um die Senkrechte beschreibt.

Die Kontaktpunkte der vier Rollen müssen im momentanen Zustand fix sein, da sie sonst wegrutschen. Also müssen die beiden Punkte A und B eine Geschwindigkeitskomponente in Achsrichtung von 0 haben. Diese Bedingung ergibt die Gleichungen für nicht holonome Zwänge.

Gleichungen 1:

$$-\dot{\varphi} \sin(\varphi+\gamma) + \dot{\eta} \cos(\varphi+\gamma) + l/2 \dot{\varphi} \cos \gamma = 0$$

$$-\dot{\varphi} \sin(\varphi-\gamma) + \dot{\eta} \cos(\varphi-\gamma) - l/2 \dot{\varphi} \cos \gamma = 0$$

Die Analyse der Gleichungen 1 ergibt, dass die Geschwindigkeit V deckungsgleich mit der Verbindungslinie AB ist.

Generalisierte Geschwindigkeiten können als Termen mit einem V ausgedrückt werden.

Gleichungen 2:

$$\dot{\varphi} = V \cos \varphi, \quad \dot{\eta} = V \sin \varphi, \quad \dot{\varphi} = 2/l V \tan \gamma$$

Um die Bewegung des Skateboards und des Fahrers zu bestimmen werden drei kontrollierende Bewegungen $\gamma(t)$, $y(t)$, $\delta(t)$ eingeführt.

Das System hat ein Freiheitsgrad.

Differentialgleichungen für die Skateboarddynamik:

Die Masse des Skateboardes wird vernachlässigt, der Fahrer wird als starrer Körper betrachtet.

Um eine Differentialgleichung in einer Appellform zu erlangen, muss die Energie für die Beschleunigung errechnet werden:

$$S^* = \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} J \varepsilon^2$$

M = Masse des Fahrers, J = Trägheitsmoment, ε = Winkelbeschleunigung des Körpers vom Fahrer

Nach verschiedenen Umformungen gelangen Ispolov und Smolnikov (1995) zu einer *Stadystate* Geschwindigkeit.

Die Bewegung erfolgt entlang einer sinusartigen Kurve:

Die Geschwindigkeit nimmt dank periodischer Oszillation zu.

Der Weg der Bewegung ist ein Sinusoid mit einer Wellenlänge $L = 2\pi V / \omega$ und einer Amplitude von $a = 2V^2 \gamma / (J\omega^2)$, siehe Abb.19:

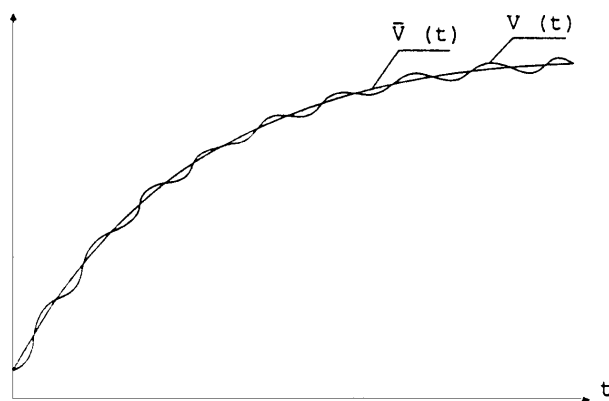


Abb. 19): Darstellung der zwei unterschiedlichen Geschwindigkeiten

$\bar{v}(t)$ beschreibt die Durchschnittsgeschwindigkeit,
 $v(t)$ beschreibt die Geschwindigkeit der tatsächlichen Bahn der Plattform

In Abb. 20 wird der Unterschied zwischen einem schwachen und einem guten Fahrer mittels Projektion der Bewegungslinie und des *KSP* aufgezeigt.

Der schwache Fahrer benutzt nur die Veränderung des Achswinkels und die Rotation. Die Translation des *KSP* bleibt bei ihm vernachlässigbar klein. Darum ist die *Stadystate* Geschwindigkeit klein. Die Rotationsbewegung des Körpers ist gross und die Frequenz ebenso.

Der starke Fahrer benutzt alle drei kontrollierenden Bewegungen. Dabei resultiert eine grosse *Stadystate* Geschwindigkeit. Normalerweise ist die Frequenz der kontrollierbaren Bewegungen kleiner und die Wellenlänge der Schlangenbewegung länger als beim schwachen Fahrer, siehe Abb. 20:

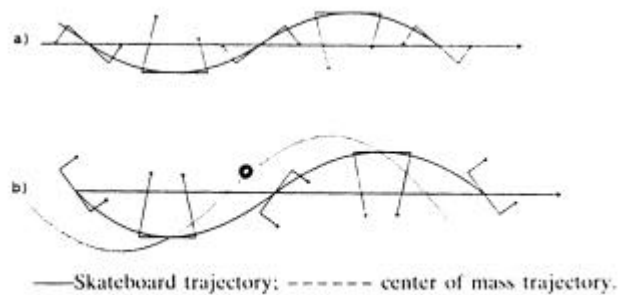


Abb. 20): Unterschied der *KSP*-Bewegung zwischen einem schlechten a) einem guten Fahrer b)

Die benötigte Energie für die *Stadystate* Geschwindigkeit kommt von der Translations- und Rotationsbewegung des Sportlers.

Ispolov und Smolnikov (1995) haben eindeutig gezeigt, dass die Vortriebskraft, die das Skateboard vorwärts bringt, durch Reaktionskräfte von nicht holonomen Systemen verursacht wird. Charakteristisch daran ist, dass mit kleinen systeminneren Bewegungen grosse Geschwindigkeiten mit dieser Art von Vortrieb erreicht werden können. Schlangen und Fische benutzen eine ähnliche Art sich fortzubewegen.

Für die vorliegende Diplomarbeit ist dieser Text sehr wertvoll. Ganz interessant ist die Tatsache, dass im Vergleich zum Prinzip „Trägheitsmoment“ (4.1.) eine Beschleunigung aus dem Stillstand möglich ist.

Es wird ein vereinfachtes Modell eines Skateboardfahrers (Abb. 18) aufgezeigt und mathematisch eine Vortriebskraft errechnet. Ein Vortrieb nur mit Rotation, Translation und Achsbewegung ist also möglich. Im Fall des schlechteren Fahrers aus (Abb.20) ist nicht einmal eine Translation nötig! Mit seinen Fussgelenken kann er die Achsen auch ohne Translation des *KSP* steuern.

3.4.3.5. Experiment mit dem Drehimpulserhaltungssatz, Sexl, Raab, Streruwitz (1980)

Sexl, Raab, Streruwitz (1980) beschrieben ein Experiment, bei dem der Drehimpulserhaltungssatz im Zentrum steht. Einem Mann, der auf einem ruhenden Drehschemel sitzt, wird von aussen ein in Rotation versetztes Rad in die Hand gegeben. Die Achse des Rades ist lotrecht. Der Schemel bleibt dabei in Ruhe. Erst wenn der Mann mit der Hand das Rad abbremst, beginnt der Drehschemel sich im Drehsinn des Rades zu drehen, siehe Abb. 21. Der Gesamtdrehimpuls des Systems bleibt also konstant, auch wenn der Drehimpuls um verschiedene Drehzentren erfolgt. Ein beschleunigender Effekt kann also auch noch mit dem Drehimpulserhaltungssatz erklärt werden. Dieses Experiment erlaubt einige Analogien zum Slalomskateboarden zu ziehen, dazu mehr unter 4.2.2..

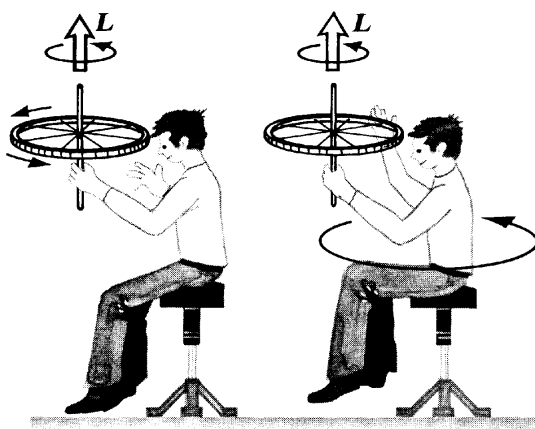


Abb. 21): Beim Abbremsen des Rades beginnt sich der Drehschemel zu drehen.

3.5. Herleitung und Diskussion der Hypothesen

Lind und Sanders (1996) beschrieben ein interessantes Phänomen. Eine Bewegung rechtwinklig zur Bewegungsrichtung, das heisst zur Kurvenmitte während einer Kurvenfahrt, kann die kinetische Energie vergrössern, wie bereits im Literaturteil zu lesen war. Wieso sollte dies nicht auch einem Skateboardfahrer gelingen? Dieser fährt zwar nicht auf Schienen, doch mit Hilfe der Achsen kann er präzise eine Kurve fahren. Es spricht eigentlich nichts dagegen, dass ein Skateboardfahrer sein Gerät beschleunigen kann, indem er sich Richtung Kurvenzentrum streckt. Deshalb wurde die Hypothese I folgendermassen formuliert.

Hypothese I:

Eine Streckbewegung zum Kurvenzentrum hin während der Kurve bewirkt eine Beschleunigung in Fahrtrichtung.

Dazu die Arbeitshypothese I:

Es ist nicht möglich unterschiedlich schnell eine Kurve mit identischem Radius und identischer Länge zu durchfahren, wenn die Anfangsgeschwindigkeit gleich ist.

Schwierig ist es, sich vorzustellen, dass ein Skateboardfahrer auf horizontaler Fläche aus dem Stillstand heraus beschleunigen kann, obwohl seine Füsse permanent auf dem Board bleiben. Jedoch liefern Ispolov und Smolnikov (1996) und der Drehimpulserhaltungssatz eine Erklärung dazu. Mit dem Ziel diese Tatsache näher zu betrachten, wurde die Hypothese II aufgestellt:

Hypothese II:

Es ist möglich auf horizontaler Unterlage aus dem Stillstand heraus mit dem Skateboard zu beschleunigen, ohne dabei die Füsse vom Brett zu nehmen.

Arbeitshypothese II:

Es ist nicht möglich aus dem Stillstand heraus auf horizontaler Unterlage mit dem Skateboard zu beschleunigen.

4. Methode

4.1. Vergrößerung der kinetischen Energie eines Körpers in der Kurve

Lind und Sanders (1996) lieferten eine Erklärung wie eine Beschleunigung in der Kurve mit einem Gefährt möglich ist. Demzufolge wurden Überlegungen angestellt, ob somit auch eine Beschleunigung in einer Kurvenfahrt mit dem Skateboard resultieren könnte, wenn man möglichst viel Körpermasse in Richtung Kurvenzentrum verlagert.

Dies wurde ausprobiert und optisch entstand der Eindruck, dass tatsächlich eine Beschleunigung in Fahrtrichtung erfolgt. Auch die Analyse erster Videoaufnahmen liess eine Beschleunigung erkennen.

Aufgrund dieser positiven Bilanz wurde folgender Versuch durchgeführt:

4.1.1. Versuch 1

Der Anlauf wird normiert und angezeichnet. Der Fahrer startet aus dem Stillstand, indem er die Hand von der Rolle nimmt. Von Start 1 bis Start 2 bleibt er in der Hocke.

Die Kurvenfahrt wird mit einem Kreidenstrich und Pylonen normiert. Beim Start 2 und beim Ziel ist je eine Lichtschranke installiert. Auf dem Messgerät wird die Durchlaufzeit in Hundertstel Sekunden gemessen und angezeigt, siehe Abb. 22:



Abb.22):
1) Start 1
2) Start 2 Lichtschranke
3) Ziel Lichtschranke
4) Messgerät

Anlauflänge:	24.1 Meter
Radius der Kurve:	2.2 - 2.4 Meter
Ort:	Schafmattstrasse, ETH Höggerberg
Ziel:	Ein Ziel dieser Arbeit war, die Arbeitshypothese 1 zu falsifizieren. Mit einer Streckbewegung während der Kurve sollte verglichen zur permanent tiefen Position eine Verringerung der Durchlaufzeit resultieren. Mit einer Beugebewegung während der Kurve sollte eine längere Durchlaufzeit erreicht werden.
Skateboard:	Skateboard ohne <i>Flex</i> , Chief 85 Indiana
Achsen:	Vorne: G-Truck 100, hinten: G-Truck <i>Flexcontrol</i> 110
Rollen:	G- <i>Wheels</i> 71
Lager:	Abec 5

Weiter wurde eine elektronische Zeitmessanlage, Pylonen, Kreide und eine Warntafel für den Verkehr verwendet.

Verlauf des Versuchs:

Fünf Testpersonen starten nacheinander durch den Parcours. Um den Lerneffekt während den Versuchen zu minimieren, können die Testpersonen vor den Messungen den Kurs befahren, um sich an die Geschwindigkeit und den Radius zu gewöhnen. Bevor mit der jeweils neuen Technik gemessen wird, haben die Fahrer auch Gelegenheit zu üben. Um Verfälschungen von Messungen vorzubeugen wurden Fragebögen vor und nach den Versuchen von den Probanden ausgefüllt (siehe Anhang).

Technik Tiefbleiben:

Es wird tief im Anschlag gefahren, d.h. die Oberschenkel berühren die Waden.

Technik Strecken:

Es wird mit einer Streckbewegung in der Kurve gefahren. Die Streckbewegung sollte möglichst am Anfang der Kurve erfolgen, damit gleich zu Beginn das Trägheitsmoment des Fahrers verringert wird. So lässt sich der Effekt optimal quantifizieren.

Technik Tiefgehen:

Dabei erhebt sich der Fahrer kurz vor der Kurve und geht während der Kurve tief.

Alle Fahrten wurden solange wiederholt, bis 7 gültige Versuche pro Technik gemessen wurden. Anlauf und Kurvenradius wurden nie verändert.

4.1.2. Versuch 2

2 Versuchspersonen, 4 Techniken. Anlauf identisch wie bei Versuch 1, Radius und Kurvenlänge sind nicht identisch mit Versuch 1.
10 gültige Durchlaufzeiten wurden verlangt.

4.1.3. Versuch 3

8 Pylonen waren zu umrunden
Abstand der Pylonen: 6m Vertikal, 3,5 m horizontal
Anlauf 12 m
Unterschiedliche Techniken wurden angewandt
Laufzeiten wurden gemessen

4.2. Der Einfluss der Rotation

4.2.1. Nicht holonomes System

Im Vergleich zum Effekt „Reduktion des Trägheitsmomentes“ wurde bei der Methode Effekt „Rotation“ umgekehrt vorgegangen. Die Empirie zeigte, dass man aus dem Stillstand mit dem Skateboard beschleunigen kann, wobei der Bewegungsanteil der Rotation sehr ausgeprägt ist. Mittels Videoaufnahmen wurde eine testende Beobachtung nach Lamprecht et al. (1995) durchgeführt. Die Technik konnte so qualitativ beschrieben werden. An der Versuchsperson wurde an den relevanten Körperteilen weisse Pingpongballchen fixiert, um die entscheidenden Bewegungen hervorzuheben.

Es interessierte die Koordination und das Timing zwischen den Bewegungen und ob ein Unterschied in der Bewegungsausführung zwischen Frontside und Backside ersichtlich ist. Eine qualitative Bewegungsbeschreibung findet der Leser im Kapitel Resultate (5.6.). Die Publikation zweier Russen unterstützen und ergänzen die in der Praxis gemachten Erfahrungen. Ispolov und Smolnikov (1995) haben eine *Stadystate* Geschwindigkeit eines Skateboardfahrers auf horizontaler Unterlage errechnet. Dies mit Hilfe von drei kontrollierenden Bewegungen, nämlich die Veränderung der Achsenwinkel $\gamma(t)$, die Translation des *KSP* zum Kurvenzentrum $y(t)$ hin und die Rotation des Oberkörpers $\delta(t)$. Sogar einem schlechteren Fahrer gelingt es, eine Vorwärtsbewegung nur mit der Rotation und der Kontrolle der Achsenwinkel zu erreichen. Genauere Informationen dazu im Literaturteil.

4.2.2. Drehimpulserhaltungssatz

Gemäss einer Analogie zum Experiment in Sexl, Raab, Strewitz (1980) ist ein Vorwärtskommen auch ohne Drehung der Skateboardachsen möglich. Der Winkel muss dann genau so eingestellt sein, dass ein Fahren auf einer Kreisbahn möglich ist.

Der Drehimpuls wird vom Fahrer selbst durch seine Muskulatur produziert. Mit dem Oberkörper dreht er also in gewünschte Richtung. Im richtigen Moment muss er diesen Impuls auf den ganzen Körper und das Brett verteilen. Dies gelingt ihm, indem er seine Rumpfmuskulatur so anspannt, dass der ganze Körper annähernd erstarrt.

Die Idee war nun zu demonstrieren, dass während einem kurzen Moment eine Beschleunigung in Fahrtrichtung resultieren kann und zwar nur mit Rotation.

Dazu konstruierte man ein Modell, das diesen Effekt aufzeigt.

Zu dieser Konstruktion wurde ein kleines Skateboard genommen, das sich auf einer Kreisbahn fortbewegen kann. Ein Fingerboard aus dem Sportgeschäft, zwei Skateboardrollen mit Lager, ein Verbindungsstift und ein *Spacer* um die Distanz zwischen den Rollen zu gewährleisten, waren genau das richtige dazu. Die untere Rolle wurde mit feinem Draht auf das Fingerboard fixiert. Mit dem Verbindungsstift und dem *Spacer* wurden beide Rollen miteinander frei drehbar verbunden. Sie stellten also den Ober- und Unterkörper des Fahrers dar. Der Achsenwinkel γ wurde von Anfang an so eingestellt, dass ein Fahren auf einer Kreisbahn möglich ist.

In Realität ist es dem Fahrer möglich mit seiner Rumpfmuskulatur Rotation im Oberkörper zu erzeugen und diese dann abrupt abzustoppen, um so Drehimpuls auf den Unterkörper und das Brett zu übertragen. Bei den beiden Rollen musste man also diesen Rotationsstopp imitieren. Zu diesem Zweck wurden zwei Schrauben so in die Rollen hineingedreht, dass nach einer gewissen Drehung der oberen Rolle dessen Schrauben durch die unteren gestoppt werden. Genau während dieser Berührung sollte der Drehimpuls auf das ganze Gefährt übertragen werden. Ein Teil des Drehimpulses „versickert“ im Boden, ein anderer aber führt mit Hilfe der Achsen und Rollen zu einer Vorwärtsbewegung des Skateboards, siehe Resultate Modell Drehimpulserhaltungssatz (5.5).

5. Resultate

5.1. Akzentuierte Streckbewegung

Es wurde eine verstehende Beobachtung vorgenommen, nach Lamprecht et al. (1991).

Die Reihenbilder zeigen eindeutig, dass der Fahrer sich während der Kurve samt den Armen ins Kurvenzentrum streckt. Auf der Zehenkante scheint der Fahrer mehr Bewegungsausmass zu benutzen. Es ist eine zyklische Bewegung, die in einem regelmässigen Takt erfolgt, siehe Abb.23.

Die Bilder 1-4 beschreiben die Auslöse- und Steuerphase des Zehenschwunges. Auf den Bildern 5-8 ist die Auslöse- und Steuerphase eines Fersenschwunges ersichtlich. Bild 9 zeigt den Start der neuen Auslösephase.

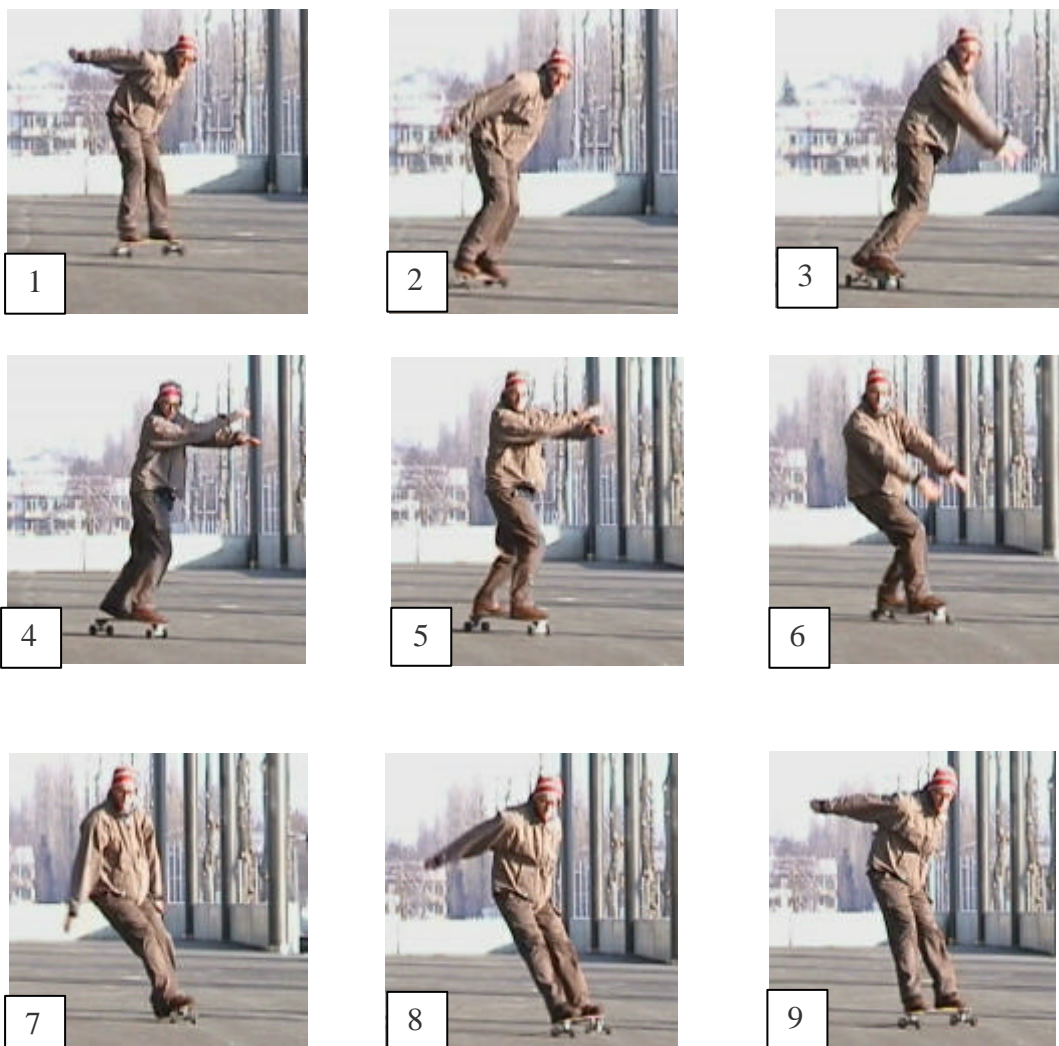


Abb. 23): Reihenbilder zur Illustration der Streckbewegung

5.2. Resultate Versuch 1

Arbeitshypothese 1

Die Versuche, bei welchen mit identischer Geschwindigkeit eine identische Kurve durchfahren wurde, haben gezeigt, dass mit unterschiedlicher Technik unterschiedliche Durchlaufzeiten resultierten. Die Arbeitshypothese I konnte eindeutig falsifiziert werden. Die Auswertung mittels T-Test aus der Statistik hat ergeben, dass die meisten Resultate signifikant unterschiedlich sind, bei einer Toleranz von 0,05.

Bei der ersten Versuchsreihe waren 5 Versuchspersonen beteiligt. Es ging darum, mit drei verschiedenen Techniken eine Kurve zu fahren.

Die Mittelwerte wurden aus 7 gültigen Versuchen eruiert. Der grösste und der kleinste Wert bilden die Fehlerabweichung y und sind in der Grafik mit einem horizontalen Balken markiert. Die Kurventechnik „Strecken“ bewirkt eindeutig die kleinsten Durchlaufzeiten.

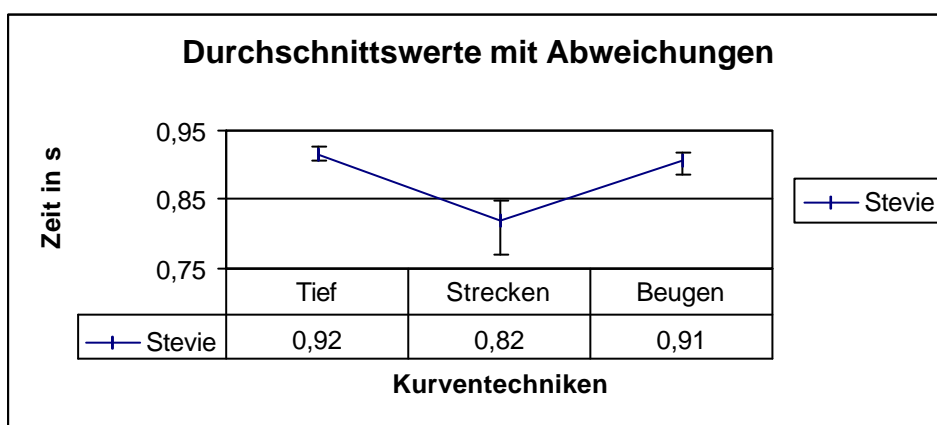


Abb. 24). Darstellung der Durchlaufzeiten des Versuchs 1

Zeitzuschlag gegenüber der Kurventechnik „Strecken“:

Kurventechniken:	
„Tief“	12.2%
„Beugen“	11%

Der T-Test hat ergeben, dass die Werte von Strecken und Tiefbleiben einer anderen Grundgesamtheit entspringen. Die Werte von Strecken und Beugen sind auch signifikant unterschiedlich, siehe folgende T-Test Tabelle:

T-Test:	*=signifikant
Strecken-Tiefbleiben	*0,00
Strecken-Beugen	*0,00
Beugen-Tiefbleiben	0,75

5.3. Resultate Versuch 2

Beim Versuch mit 2 Versuchspersonen und 4 Kurventechniken ist folgendes rausgekommen:

Die Durchschnittswerte entstanden hier durch 10 gültige Durchfahrten.

Auch beim zweiten Versuch waren mit der Kurventechnik „Strecken“ die schnellsten Durchlaufzeiten erreicht worden.

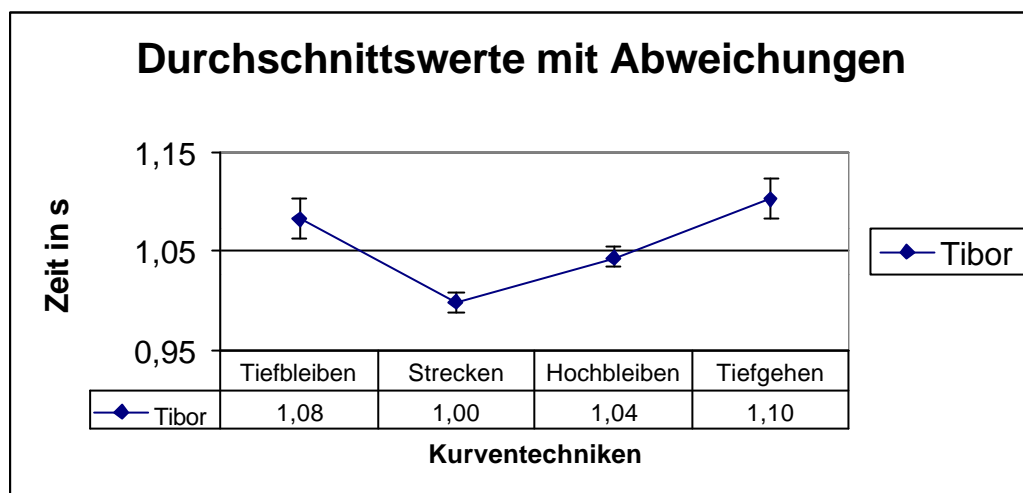


Abb. 25): Darstellung der Durchlaufzeiten aus Versuch 2

Zeitzuschlag gegenüber der Kurventechnik „Strecken“:

Kurventechniken	
„Hochbleiben“	4%
„Tiefbleiben“	8%
„Tiefgehen“	10%

Alle 4 Kurventechniken bewirkten eine signifikant andere Durchlaufzeit, siehe T-Test Tabelle:

T-Test	*=signifikant
Tiefbleiben-Strecken	*0,00
Tiefbleiben-Hochbleiben	*0,00
Tiefbleiben-Tiefgehen	*0,00
Strecken-Hochbleiben	*0,00
Strecken-Tiefgehen	*0,00
Hochbleiben-Tiefgehen	*0,01

5.4. Resultate Versuch 3

Bei der dritten Versuchsreihe wurden die verschiedenen Fahrtechniken auf einem realistischen Riesenslalomkurs ausprobiert. Zwei Versuchspersonen absolvierten eine Strecke mit 8 Pylonen. Wurde die Technik mit der Streckbewegung angewandt, addierten sich die Zeitgewinne jeder einzelnen Kurve und es zeigten sich beträchtliche Unterschiede in den Durchlaufzeiten.

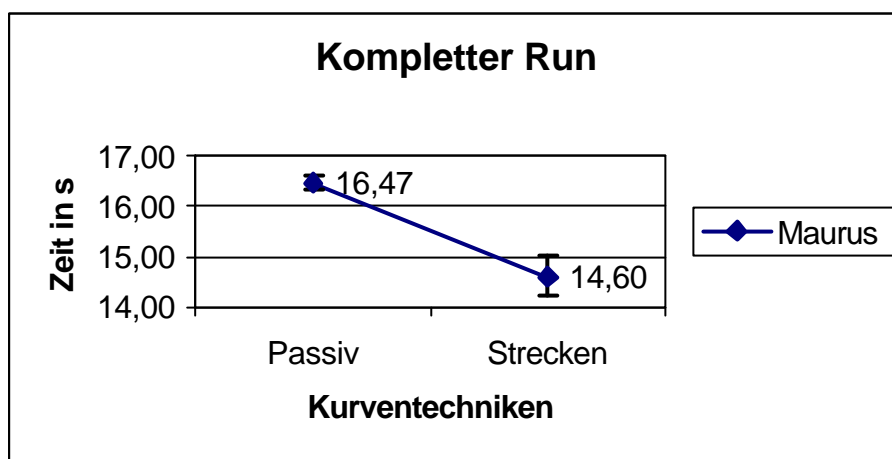


Abb. 26): Darstellung der Durchlaufzeiten aus dem Slalomlauf

Zeitzuschlag gegenüber der Technik „Strecken“:

Kurventechnik:	
„Passiv“	12.8%

Der T-Test ergab auch hier eine eindeutige Signifikanz, siehe T-Test Tabelle:

T-Test	*=signifikant
Passiv-Strecken	*0,00

5.5. Resultat Modell Drehimpulserhaltungssatz

Die Analogie des Experimentes aus Sexl, Raab, Streruwitz (1980) zum Skateboarden wurde erfolgreich demonstriert.

Das Reihenbild des Fingerskateboards zeigt, dass der Drehimpulserhaltungssatz mit dem beschleunigenden Effekt beim Slalomskateboarden zusammenhängt. Von aussen wird Drehimpuls zugeführt, der dann im System verteilt wird und so das Fingerskateboard vorwärts bringt. Das Modell zeigt eindeutig, dass ein Vorwärtskommen auch nur mit einer Drehimpulsübertragung möglich ist, sofern die Skateboardachsen von Anfang an so gerichtet sind, dass eine Kreisbahn gefahren werden kann, siehe Abb.27:

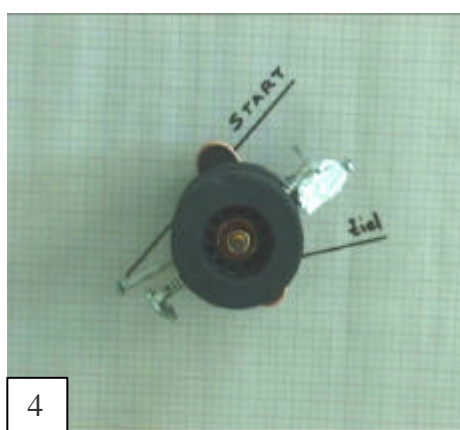
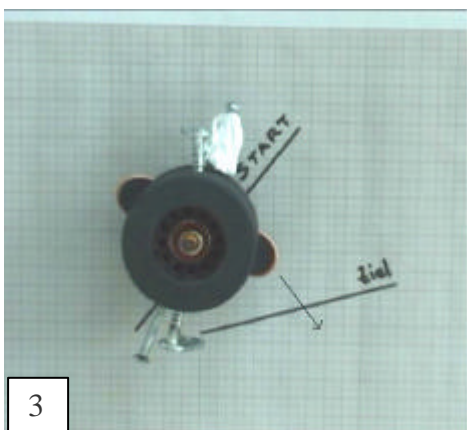
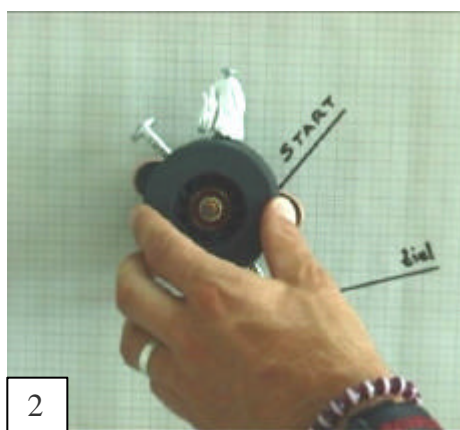
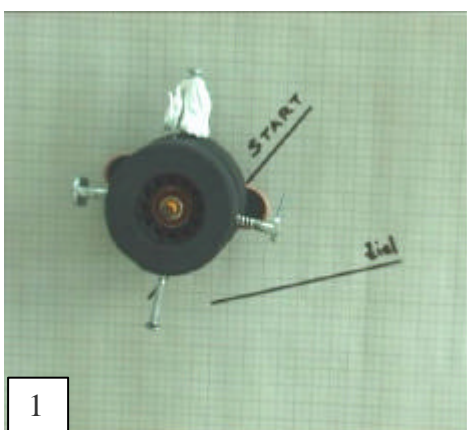


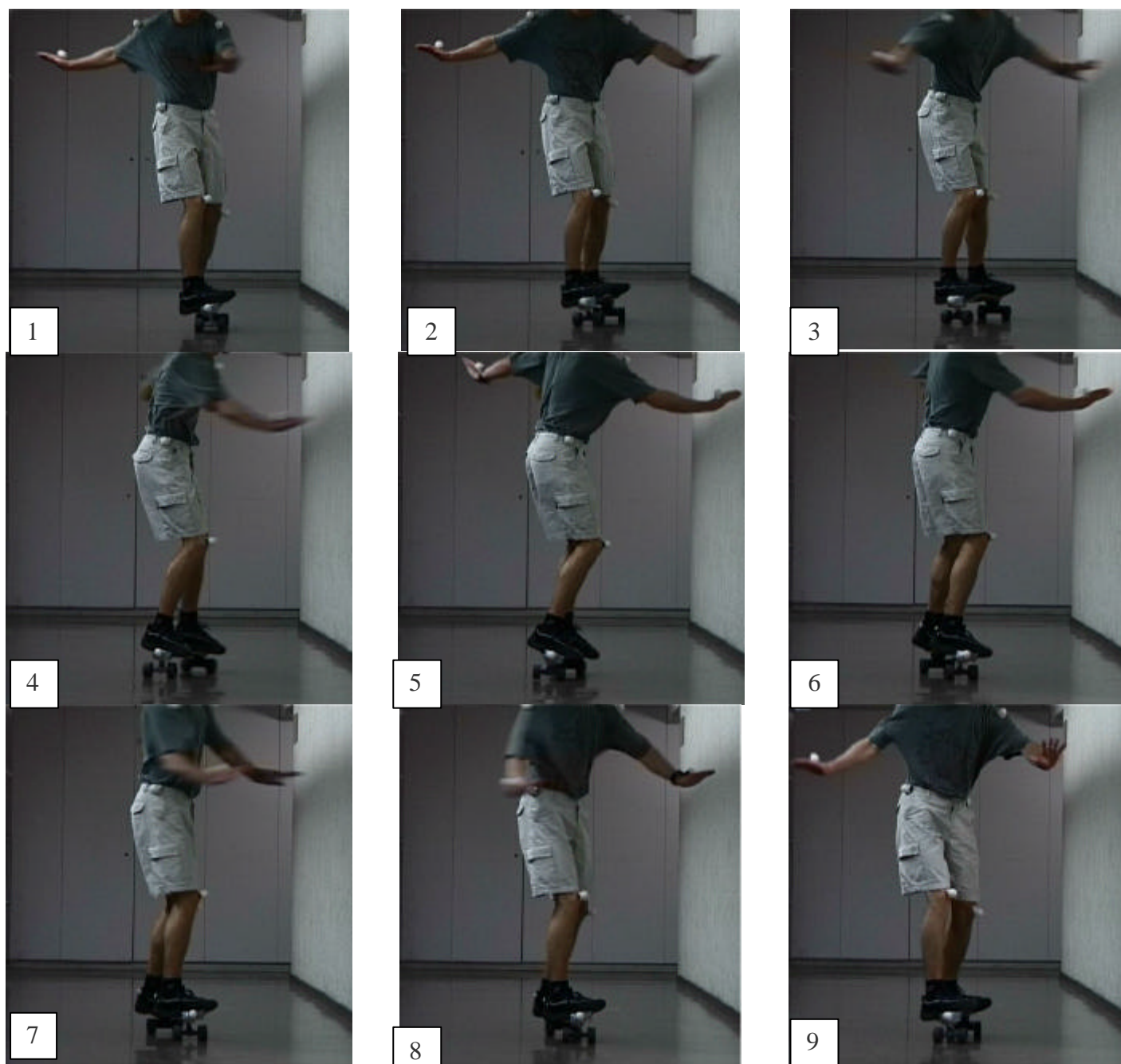
Bild 1 zeigt die Ausgangssituation. In Bild 2 wird von aussen Rotationsimpuls zugeführt. In Bild 3 hat die obere Rolle unmittelbar an der unteren Rolle angeschlagen. Ein Teil des Rotationsimpulses wurde auf das ganze Gefährt übertragen, der Rest versickerte im Boden. In Bild 4 kommt das ganze Gefährt zum Stillstand. Mit Hilfe des Rotationsimpulses hat es einen beträchtlichen Weg zurückgelegt.

5.6. Resultat Einfluss der Rotation

Dabei wurde speziell auf die Rotation geschaut. Welche Körperteile rotieren um welche Rotationsachsen? Wie ist die Rotation mit dem Kippen der Füße koordiniert?

Die Schultern rotieren annähernd in einer horizontalen Ebene. Die Rotation, beginnend in der Hüfte und endend beim Kopf, wird eingeleitet bevor das Brett auf die andere Seite zu kippen beginnt. Dabei wird der Rotationsimpuls auf den ganzen Körper und das Brett verteilt, wenn die Achsen in der „neuen“ Stellung sind. Zuerst erfolgt also eine Rotation und dann das Kippen, um die Achsen so zu drehen, dass eine Fahrt auf der „neuen“ Kreisbahn möglich ist. Diese testende Beobachtung lässt eindeutig die Arbeitshypothese II falsifizieren, siehe Abb.28:

Abb. 28):Bild 1-5 zeigt eine Auslöse- und Steuerphase eines Zehenschwunges. Die Auslöse- und Steuerphase eines Fersenschwunges ist auf den Bildern 6-9 ersichtlich.



Zwischen Bild 1 und 9 sieht man eindeutig den Positionsunterschied des Brettes bezüglich der hinteren Bodenwandgrenzlinie. Die Rotationsbewegung ist sehr stark ausgeprägt. Eine leichte Kippbewegung ist auch sichtbar. Das Beugen/Strecken ist vernachlässigbar, wird nur zur Achssteuerung gebraucht.

6. Darstellungs- und Auswertungsverfahren

6.1. Streckbewegung ins Kurvenzentrum

Hier wurden mit einer Digitalkamera Aufnahmen von einem Skateboardfahrer gemacht. Dies erlaubte 24 Einzelbilder pro Sekunde zu betrachten. Es wurde eine Frontalperspektive gewählt, um die Streckbewegung ins Kurvenzentrum zu beobachten. Eine Rotationsbewegung ist aus dieser Perspektive sichtbar. Eine allfällige Kippbewegung zur *Nose* hin ist leider nicht sichtbar, denn dafür müsste eine seitliche Perspektive gewählt werden. Diese besagte Kippbewegung ist aber nicht Gegenstand des Interesses der vorliegenden Diplomarbeit, darum wurde auf eine zweite Perspektive verzichtet.

Mit dem Einzelbildsuchlauf wurden neun Bilder ausgewählt, die aufgereiht Aufschluss über die gefahrene Technik bringen. Diese neun Bilder wurden auf Diskette geladen und in einem Grafikprogramm (Irfan View, Photoshop) als Reihenbildserie aufgearbeitet.

6.2. Trägheitsmoment Versuche 1-3

Bei den „Trägheitsmoment“-Versuchen 1-3 wurden die gültigen Durchlaufzeiten auf Blatt notiert und später mit Excel verarbeitet. Gewählt wurde ein Strichdiagramm, um die Mittelwerte der jeweiligen Durchlaufzeiten darzustellen. Mit dem Fehlerindikator y konnte die grösste negative und positive Abweichung dargestellt werden (siehe Resultate). Diese Darstellung erlaubt sofort einen optischen und quantitativen Vergleich zwischen den einzelnen Kurventechniken.

Die jeweiligen Durchlaufzeiten der Kurventechniken wurden mit einem T-Test im Excel Programm verglichen. Die Zeiten der Kurventechniken sind signifikant unterschiedlich, d.h. sie entsprechen einer anderen Grundgesamtheit, wenn der Wert des T-Tests kleiner als 0,05 ist, siehe Resultate Versuch 1-3.

6.3. Der Einfluss der Rotation

Der Einfluss der Rotation wurde auf dieselbe Verfahrensart dargestellt, wie 6.1..

6.4. Modell Drehimpulserhaltungssatz

Die Darstellung des Drehimpulserhaltungssatzes mit dem Modell Fingerboard wurde ebenfalls mit Hilfe von Digitalkamera und Grafikprogramm vollzogen.

7. Diskussion

7.1. Streckbewegung ins Kurvenzentrum

Die Reihenbilder im Resultatteil (Abb.23), die zur Illustration der Streckbewegung ins Kurvenzentrum erstellt wurden, zeigen einen harmonischen Bewegungsablauf. Der Fahrer bemüht sich immer seine Masse in Richtung Kurvenzentrum zu verlagern, wobei er seine Arme zur Unterstützung mitführt. Auf der Fersenseite ist ein Hüftknick sichtbar. Sehr wahrscheinlich muss der Fahrer die Fersen stark nach unten drücken, um den gewünschten Kurvenradius ausführen zu können. Seine Geschwindigkeit ist aber nicht genügend gross und darum muss er mit dem Oberkörper vom Kurvenzentrum wegknicken, um nicht umzufallen. Auf der Zehenseite ist eine bessere Differenzierung im unteren Sprunggelenk möglich, daher ist auf dieser Seite kein Körperknick sichtbar.

7.2. Versuch I Trägheitsmoment

Je nach Testperson fielen die Ergebnisse unterschiedlich aus.

Bei dem Versuch I waren die Durchlaufzeiten der Technik „Tief“ und „Beugen“ mit einer Ausnahme nicht signifikant unterschiedlich. Beim Versuch 2 waren alle Techniken bei allen Versuchspersonen signifikant unterschiedlich. Eventuell sind die Anzahl Durchlaufzeiten und die unterschiedliche Kurven dafür verantwortlich.

Jedoch bei allen Versuchsreihen und allen Versuchspersonen waren die Zeitunterschiede zwischen den beiden extremsten Kurventechniken mindestens 9%.

Bei der Versuchsreihe 3 waren die Durchlaufzeiten der Kurventechnik „Passiv“ bei beiden Versuchspersonen um mindestens 11% grösser als bei der Kurvetechnik „Strecken“. Dies lässt erahnen, wie viel Zeit noch gutgemacht werden kann an den Skateboardrennen.

Auf den Zeitpunkt der Streckbewegung wurde bei den Versuchen kein Wert gelegt. Eventuell liessen sich damit aber die Fehlerabweichungen erklären.

Zu dieser Streckbewegung in der Kurve könnte man auch noch die Rotationsbewegung hinzu schalten. Wenn dies koordinativ gelingt, liessen sich die Durchlaufzeiten noch mehr verkürzen. Je schneller der Fahrer unterwegs ist, desto grösser scheint der Stellenwert der Streckbewegung zu sein.

7.3. Beschleunigung aus dem Stillstand

Die Videoaufnahmen haben ergeben, dass eine Beschleunigung mit dem Skateboard aus dem Stillstand vor allem durch eine Rotationsbewegung des Oberkörpers erfolgt. Diese Rotationsbewegung wird vor der Kippbewegung eingeleitet, endet aber gleichzeitig mit ihr, um den erzeugten Rotationsimpuls möglichst effizient auf das Brett zu übertragen. Dabei ist wichtig, dass der Radabstand klein ist und die Achsen so gestellt sind, dass ein kleiner Radius fahrbar ist. Dann gelingt es, viel Rotationsimpuls vom Oberkörper auf das Brett zu erzeugen. Ein Teil des Impulses versickert natürlich im Boden. Nur derjenige Anteil, der in Rollenrichtung verläuft, ist für den Vortrieb nützlich. Anfänglich reichen seine Fussgelenke aus, um die Achsen in die gewünschte Richtung zu bringen.

Wird der Fahrer schneller, ist mehr Kippbewegung nötig. Denn will er auf seiner Fahrbahn bleiben, muss er eine Zentripetalkraft erzeugen, um der Zentrifugalkraft widerstehen zu

können. Mit dieser Technik kann man bis zu einer gewissen Geschwindigkeit vorwärtskommen.

7.4. Modell zur Demonstration des Drehimpulserhaltungssatzes

Im Vergleich zur Praxis, wo der Fahrer selber Rotationsimpuls aus dem Oberkörper erzeugt, wird hier der Rotationsimpuls von aussen zugegeben. Von Hand wird die obere Rolle, die den Oberkörper darstellt, in Schwung versetzt. Es musste dafür gesorgt werden, dass die Zeit der Rotationsimpulsverteilung verlängert wird. Denn ist diese zu kurz, besteht das Problem des Wegrutschens der Räder. Dies, weil die Haftreibung zwischen den Rollen und der Bodenoberfläche von der Normalkraft abhängig ist. Deshalb wurde im beschriebenen Modell mittels eines Wattenbausches erreicht, dass die Impulsübertragung verlängert wird und sich somit die Scherkräfte auf die Rollen verringern.

Zur Illustration des Drehimpulserhaltungssatzes, siehe Abb.29:



Abb. 29): Schematische Darstellung eines Skateboards. Der Fahrer übt ein Drehmoment M auf das Brett aus. Der Boden wirkt mit den Reaktionskräften gegen die Rollen aber nur in Achsrichtung. Die Vektoraddition von R_1 und R_2 ergibt F Vortrieb.

7.5. Rotation und Trägheit

Ab einer gewissen Geschwindigkeit macht es Sinn, nebst den beiden Rotationseffekten auch noch den Trägheitseffekt zu betrachten. Je mehr Geschwindigkeit der Fahrer mit seinem Skateboard hat, desto mehr Arbeit muss er gegen die Zentrifugalkraft verrichten und desto mehr Zuwachs an kinetischer Energie resultiert. Bei hohen Geschwindigkeiten ist dieser Effekt so gross, dass der Rotationsanteil gegenüber dem der Trägheit fast vernachlässigbar wird, siehe Abb.30):

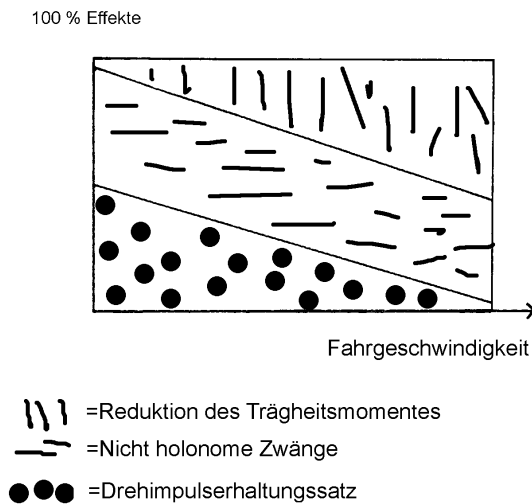


Abb.30): Illustration der verschiedenen Anteile der Beschleunigungseffekte, abhängig von der Fahrgeschwindigkeit

8. Zusammenfassung der Arbeit

In dieser Arbeit wurde beschrieben, wie die Beschleunigung mit dem Skateboard funktioniert.

Dazu dienten drei Ansätze:

1. Trägheitsmoment

Aufgrund eines Experiments, Lind und Sanders (1996), das gewisse Analogien zum Skateboarden zulässt, wurde ein Versuch konstruiert, der zeigen sollte, dass sich die Durchlaufzeit einer Kurvenfahrt verkürzt, wenn möglichst viel Körpermasse aktiv in Richtung Kurvenzentrum verlagert wird. Dadurch verkleinert sich das Trägheitsmoment des Probanden und es resultiert eine Winkelbeschleunigung. Die kinetische Energie nimmt zu und der Fahrer wird schneller, als wenn er die Kurve in passiver Haltung absolviert hätte.

Zur Durchführung des Versuchs wurden Skateboarder ausgesucht, die regelmässig Slalomrennen fahren. Verschiedene Fahrtechniken wurden miteinander verglichen. Die Arbeitshypothese I konnte falsifiziert werden, denn darin wurde behauptet, *dass es nicht möglich ist, unterschiedlich schnell eine Kurve mit identischem Radius und identischer Länge zu durchfahren, wenn die Anfangsgeschwindigkeit gleich ist.*

Tatsächlich erwies sich die obig beschriebene Fahrtechnik als die schnellste.

Noch deutlicher präsentierten sich die Ergebnisse bei Fahrten, wo mehrere Kurven aneinander gehängt, also ein Slalomlauf durchgeführt wurde. Die Versuchspersonen verbesserten sich in einem 17 Sekunden dauernden Lauf um knapp zwei Sekunden!

2. Nicht holonome Systeme

Ispolov und Smolnikov (1995) haben die Beschleunigung mit dem Skateboard mathematisch hergeleitet. Dies mit Hilfe von drei kontrollierenden Bewegungen, nämlich die Veränderung der Achswinkel, die Translation des *KSP* zum Kurvenzentrum hin und die Rotation des Oberkörpers.

Die Kontrolle geschieht durch beabsichtigtes Kippen und Drehen des Körpers vom Fahrer. Im Vergleich zu einem Fahrrad, wo der Antrieb über Drehmomente in Fahrtrichtung am Antriebsrad angreifen, entsteht die Beschleunigung beim Skateboard durch quer hindurchgehende, nicht holonome Reaktionskräfte.

Ergänzend zu diesem quantitativen Beitrag wurde ein Skateboarder gefilmt, an dessen relevanten Körperstellen Pingpongballchen fixiert wurden. Insgesamt 9 Reihenbilder veranschaulichen eindrücklich, dass eine Beschleunigung aus dem Stillstand funktioniert. Dabei ist die Rotationsbewegung, die in der Hüfte beginnt und beim Kopf endet, sehr stark ausgeprägt. Eine leichte Kippbewegung ist anschliessend sichtbar, sowie auch die Drehbewegungen der Achsen.

3. Drehimpulserhaltungssatz

Sexl, Raab und Streruwitz (1980) beschrieben ein Experiment, in welchem einem Mann der auf einem ruhenden Drehschemel sitzt ein in Rotation versetztes Rad in die Hand gegeben wird. Sobald er mit der Hand das Rad abbremst, beginnt sich der Schemel im Drehsinn des Rades zu drehen. Der Gesamtdrehimpuls bleibt also konstant, auch wenn der Drehimpuls um verschiedene Drehzentren erfolgt.

Analog zu diesem Experiment wurde ein Modell konstruiert, das ein Skateboarder simuliert. Die Achsen wurden dabei von Beginn weg so fixiert, dass sie automatisch eine Fahrt auf einer Kreisbahn ermöglichen. Nun wurde von aussen Rotationsimpuls zugeführt, wodurch sich der obere Teil des Modells, den Oberkörper darstellend, zu drehen beginnt. Abrupt wird diese Bewegung abgestoppt und der Drehimpuls grösstenteils auf das Brett übertragen. Dadurch wird das Modell beschleunigt und es beschreibt eine Kurvenfahrt.

Aufgrund dieser qualitativen und quantitativen Untersuchungen konnte die Arbeitshypothese II eindeutig falsifiziert werden. Sie lautete folgendermassen:

Es ist nicht möglich aus dem Stillstand heraus auf horizontaler Unterlage mit dem Skateboard zu beschleunigen.

9. Ausblick

Aufgrund der Ergebnisse stellen sich weitere interessante Fragen, denen nachgegangen werden sollte. In dieser Arbeit wurde gezeigt, dass eine Beschleunigung einerseits durch Massenverlagerung in Richtung Kurvenzentrum, andererseits durch nicht holonome Systeme ermöglicht wird. Eine dritte Möglichkeit stellt der Drehimpulserhaltungssatz dar.

Welche Auswirkungen diese Effekte kombiniert genau haben, wurde allerdings bisher noch nicht genauer untersucht. Konkret nun einige Ideen weiteren Vorgehens:

Frage 1: Wann sollte welcher Effekt akzentuiert werden, um möglichst schnell einen Kurs absolvieren zu können?

(Abhängig von: Pylonenabstand, Gefälle, Geschwindigkeit, Material, Fahrer Kurvenradius...)

Frage 2: Zu welchem Zeitpunkt während einer Kurvenfahrt wirkt eine Streckbewegung des Körpers in Richtung Kurvenzentrum am effektivsten?

(Abhängig von Kurvenlänge, Gefälle, Geschwindigkeit, Material, Fahrer, Kurvenradius...)

Frage 3: Welche Schlüsse lassen sich ziehen bezüglich Materialwahl/Konstruktion Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse?

(Relation Flex-und Rückstellverhalten bezüglich Kurvenradius, Achsenabstand bezüglich Beschleunigung aus Stillstand,...)

10. Literaturliste

Andrejtschitsch J., Kallée R., Schmidt P.,
Skateboarding Know-How,
 BLV Verlagsgesellschaft, München, 1991

Böhm, Rieger,
Skateboard, Material-Technik-Fahrpraxis,
 Falken-Verlag, Niedernhausen, 1990

Brooke, M.,
the concrete wave, the history of skateboarding,
 Warwick Publishing Inc., Toronto 1999

Campell, R., Disler, P., Hotz, A., Rüdüsühli, U.,
Schneesport Schweiz, Die Kernkonzepte, SIVS, 1998

Dembny F., Stroink J.,
Die Skateboardschule, Verlag Stephanie Nagelschmid, Stuttgart, 1993

Fukuoka T.,
Zur Biomechanik und Kybernetik des alpinen Schilaufts,
 Wilhelm Limpert Verlag, Frankfurt, 1971

Hartmann, D., Frödrich, R.,
Rollerblade Experience Clinic Tour 1999,
Benetton Sportsystem GmbH 1999

Hatze H.,
Methoden biomechanischer Bewegungsanalyse,
 Österreichischer Bundesverlag, Wien, 1986

Lamprecht M., Stamm, H., Ruschetti, P.,
Wissenschaftliches Arbeiten, GFS-Schriften Sportwissenschaften Nr. 8,
 Gesellschaft zur Förderung der Sportwissenschaften, Zürich 1992

Laurent, C.-M.,
Pratique du Skateboard, Bornemann, Paris, 1978

Lind D., Sanders S.P.,
The Physics of Skiing, Skiing at the triple Point, Technote 10,
 Springer Verlag, New York, 1996

Reckling, K.-A.,
Mechanik III, Kinetik, Schwingungslehre
 Studienbuch für Studenten der Ingenieurwissenschaften ab 2. Semester
 Friedr. Vieweg + Sohn GmbH, Braunschweig, 1979

Robinson D.,
Newtonian exercise on a snake-board,
Physics Education, Volume 34, Nr. 4, York, 1999

Seewaldt C.,
Alles über Skateboarding, Monsterverlag, Münster, 1990

Sexl R., Raab I., Streeruwitz E.,
Das mechanische Universum, Eine Einführung in die Physik,
Band I, Verlag Sauerländer AG, Aarau, 1980

Stauder, H., Franke, U. L., Magnus, K.-H.,
Skateboardfahren für Anfänger und Fortgeschrittene,
Nymphenburger, München, 1977

Stüssi E.,
Biomechanik, **Skript zu den Vorlesungen** „Biomechanik“ für
die Abteilung XI b der ETH Zürich, Teil 1-3, Schlieren, 1991

Van Doren M.,
Faszination Skateboarding, Heyne, München, 1991

Internet:

Internationaler Segelverband ISAF
Internationale Wettsegelbestimmungen 1997-2000
Regel 42
www.sailing.org

Sturham, C.,
www.nosewheelie.com
Nose Wheelie, San Diego, 2000

Persönliche Erklärung

Wir versichern die selbständige Anfertigung dieser Arbeit.

Jegliche fremde Hilfe und Äusserungen, sowie Hilfsmittel wurden kenntlich gemacht.

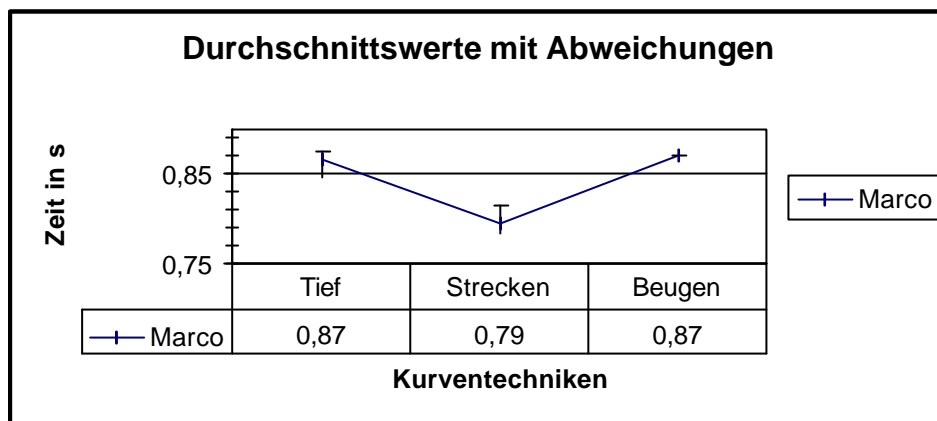
Ackermann Jürg

Strobel Maurus

11. Nachschlageteil

11.1. Restliche Resultate aus Versuch 1-3

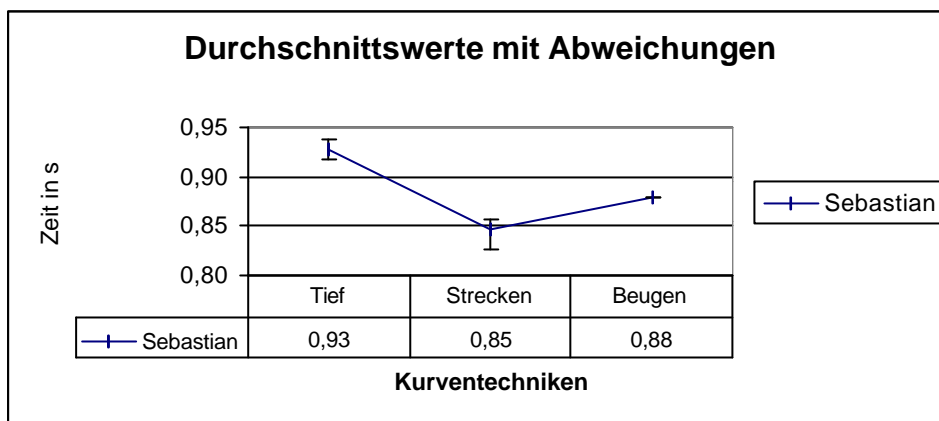
5 Versuchspersonen mit 3 Kurventechniken:



Zeitzuschlag gegenüber der Technik „Strecken“:

Kurventechnik:	
„Tief“	10.1%
„Beugen“	10.1%

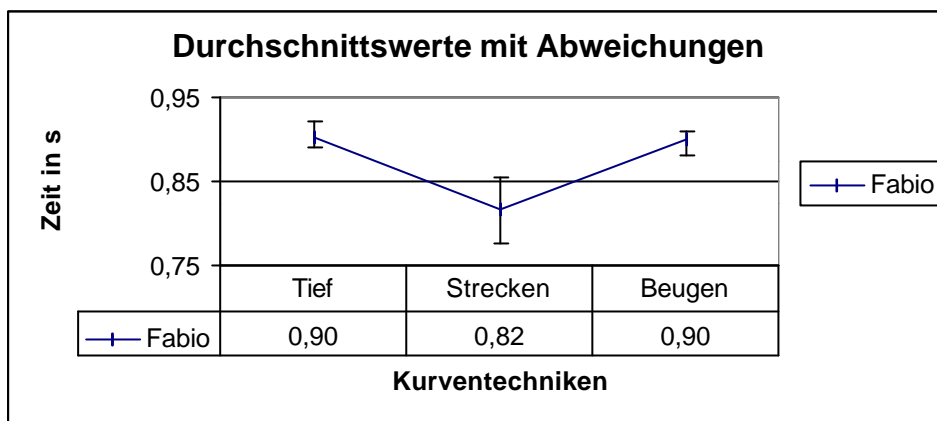
T-Test:	*=signifikant
Strecken-Tiefbleiben	*0,00
Strecken-Biegen	*0,00
Biegen-Tiefbleiben	0,48



Zeitzuschlag gegenüber der Technik „Strecken“:

Kurventechnik:	
„Tief“	9,4%
„Beugen“	3,5%

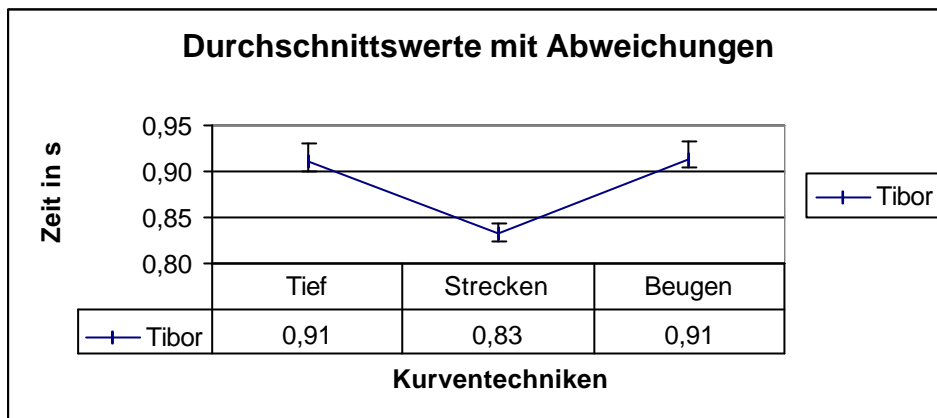
T-Test:	*=signifikant
Strecken-Tiefbleiben	*0,00
Strecken-Biegen	*0,00
Biegen-Tiefbleiben	*0,00



Zeitzuschlag gegenüber der Technik „Strecken“:

Kurventechnik:	
„Tief“	9.8%
„Beugen“	9.8%

T-Test:	*=signifikant
Strecken-Tiefbleiben	*0,00
Strecken-Biegen	*0,00
Biegen-Tiefbleiben	0,87

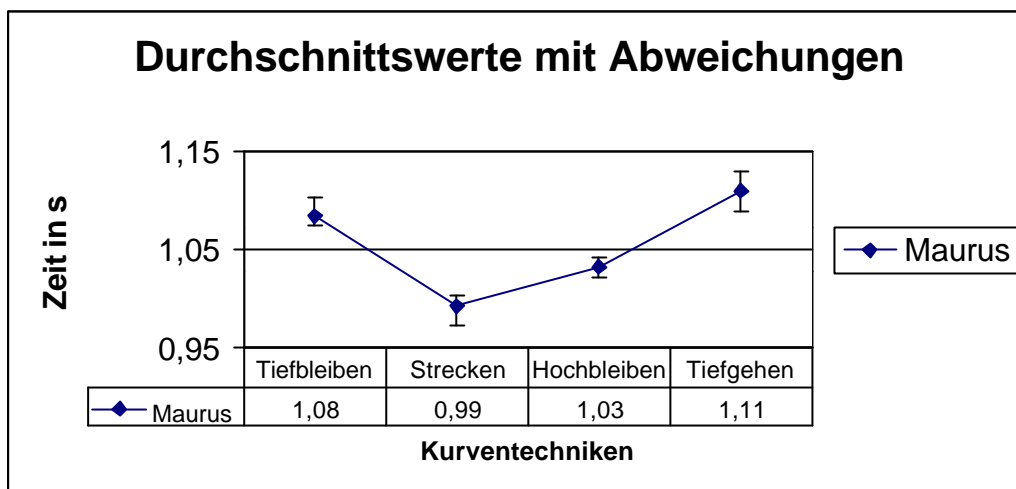


Zeitzuschlag gegenüber der Technik „Strecken“:

Kurventechnik:	
„Tief“	9.4%
„Beugen“	3.5%

T-Test:	*=signifikant
Strecken-Tiefbleiben	*0,00
Strecken-Biegen	*0,00
Biegen-Tiefbleiben	0,75

11.2 Versuchspersonen mit 4 Kurventechniken

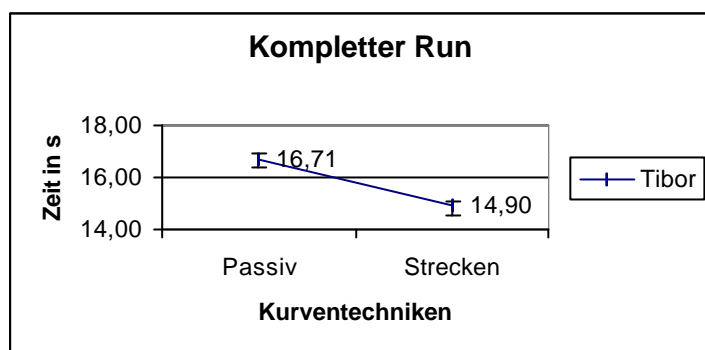


Zeitzuschlag gegenüber der Kurventechnik „Strecken“:

Kurventechniken	
„Hochbleiben“	4%
„Tiefbleiben“	9.1%
„Tiefgehen“	12.1%

T-Test	*=signifikant
Tiefbleiben-Strecken	*0,00
Tiefbleiben-Hochbleiben	*0,00
Tiefbleiben-Tiefgehen	*0,00
Strecken-Hochbleiben	*0,00
Strecken-Tiefgehen	*0,00
Hochbleiben-Tiefgehen	*0,00

Anwendung des Versuchs auf 8 Kurven:



Zeitzuschlag gegenüber der Kurventechnik „Strecken“:

Kurventechnik	
„Passiv“	12.1%

T-Test	*=signifikant
Passiv-Strecken	*0,00

11.3. Interview mit den Versuchspersonen

Dieses Interview findet strukturiert in Form eines Fragebogens statt.

Wie lange fährst Du schon Skateboard?

Was bedeutet es für Dich?

Wie lange fährst Du schon Slalomwettkämpfe?

Resultate?

Wie oft trainierst Du?

Wie trainierst Du?

Wo trainierst Du?

Mit wem trainierst Du?

Wo sind Deiner Meinung nach noch markantere Verbesserungen möglich, beim Material oder bei Deiner Fahrtechnik?

Hast Du mehrere Wettkampfboards?

Weist Du mit Sicherheit, für welchen Kurs Du welches Board nimmst?

Weshalb, weshalb nicht?

Beschreibe in kurzen Worten möglichst genau, wie Deiner Meinung nach ein Vorwärtsschritt in horizontaler Ebene mit dem Skateboard möglich ist, ohne dass dabei die Füße das Board verlassen und alle vier Räder permanent Bodenkontakt haben (=pushen)
Denkst Du, dass es auch mit einem Board ohne Flex möglich ist?

11.4. Zu den Experimenten

(Trifft 100%-ig zu, trifft zu, eher nicht, überhaupt nicht)

Waren Dir die Instruktionen absolut verständlich?

Hattest Du genügend Zeit den Kurs zu üben?

Fühltest Du Dich absolut sicher?

Hast Du Dich gut an das vorgegebenes Board gewöhnt?

Glaubst Du, Du hättest mit einer längeren Übungszeit Dich noch Verbessern können?

Bist Du während der Versuche müde geworden?

Könntest Du von der Fitness her nochmals dieselben Leistungen erbringen?

Fühltest Du Dich wohl im Kurs?

11.5. Fragebogen

(Auszufüllen vor Absolvierung der Versuchsreihe)

1. Wie lange fährst Du schon Skateboard?.....
2. Was bedeutet es für Dich?.....
3. Wie lange nimmst Du schon an Slalomwettkämpfen teil?.....
4. Resultate?.....
5. Wie oft trainierst Du?.....
6. Wie trainierst Du?.....
7. Wo trainierst Du?.....
8. Mit wem trainierst Du?.....
9. Wo sind Deiner Meinung nach noch markantere Verbesserungen möglich, beim Material oder bei Deiner Fahrtechnik?.....
10. Hast Du mehrere Wettkampfboards?.....
11. Bist Du Dir immer sicher, für welchen Kurs welches Deiner Boards optimal ist? Weshalb?
12. Beschreibe in kurzen Worten möglichst genau, wie Deiner Meinung nach ein Vorwärtskommen in horizontaler Ebene mit dem Skateboard möglich ist, ohne dass dabei die Füße das Board verlassen und alle vier Räder permanent Bodenkontakt haben (=pushen)...
13. Denkst Du, dass es auch mit einem Board ohne Flex möglich ist?.....
14. Ist es möglich unter denselben Bedingungen wie bei Frage Nr. 12 aber aus dem Stillstand zu pushe n?.....
15. Falls ja, auch mit einem Skateboard ohne Flex?.....

11.6. Fragebogen

(Auszufüllen nach Absolvierung der Versuchsreihe)

Erläuterung:

Zu den folgenden Fragen findest Du in der Tabelle verschiedene Möglichkeiten zu antworten.

Dort wo es am ehesten zutrifft, bitte ankreuzen (nur ein Kreuz pro Frage).

1=100% zutreffend

2=75% zutreffend

3=50% zutreffend

4=25% zutreffend,

5= überhaupt nicht zutreffend

1. Mir waren die Instruktionen verständlich.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

2. Ich hatte genügend Zeit den Kurs zu üben.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

3. Ich fühlte mich sicher bei den Fahrten.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

4. Ich habe mich an das vorgegebene Board gewöhnt.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

5. Mit einer längeren Übungszeit hätte ich mich noch verbessern können.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

6. Ich bin während den Versuchen müde geworden.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

7. Ich könnte von der Fitness her nochmals dieselben Leistungen erbringen.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

8. Ich fühlte mich wohl im Kurs.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---