

Markus Winninghoff*, Burkhard Walter**,
Manfred Becke***

Gurtschlitten – Untersuchung der biomechanischen Belastung

Zusammenfassung

Es wurden drei repräsentative Gurtschlittentypen hinsichtlich der auftretenden Beschleunigungen und daraus resultierenden Geschwindigkeitsänderungen untersucht. Dabei ließen sich Geschwindigkeitsänderungen von 8,9 bis 14,9 km/h bei mittleren Verzögerungen von 34,7 bis 210 m/s² feststellen.

Summary

Three representative types of seatbelt-sleds were analyzed regarding the occurring accelerations and velocity changes. Velocity changes from 8,9 to 14,9 km/h and average decelerations from 34,7 to 210 m/s² were determined.

1 Einleitung

Seit den siebziger und achtziger Jahren werden Gurtschlitten auf öffentlichen Veranstaltungen eingesetzt, um die Akzeptanz des Sicherheitsgurtes in der Bevölkerung zu fördern.

Zur Demonstration der Schutzwirkung des Sicherheitsgurtes hatten seitdem viele Personen die Möglichkeit, am eigenen Leibe zu erfahren, wie sie vom Sicherheitsgurt bei einem Frontalaufprall zurückgehalten werden. Es sollte und soll mit den Gurtschlitten Überzeugungsarbeit mit dem Ziel geleistet werden, die Zahl der »Gurtmuffel« stetig zu minimieren. Den freiwilligen Teilnehmern wurden auch Informationen mit auf den Weg gegeben, mit welcher Geschwindigkeit der Frontalaufprall erfolgt. Ein Zitat aus einer Betriebsanleitung [1 + 2] zu einem von uns untersuchten Schlitten verdeutlicht dies: »Nach dem Lösen der Sperre läuft das Sitzgestell mit Schwerkraft auf der Bahn ab und erreicht bis zum Aufprallpunkt eine Geschwindigkeit von ca. 11 km/h. Der Aufprall erfolgt gedämpft. Die Aufprallwucht ist etwa so hoch wie der Aufprall eines Fahrzeuges, dessen Knautschzone sich verformt und dabei die Aufprallenergie größtenteils abfängt, im normalen Stadtverkehr bei 50 km/h Fahrgeschwindigkeit.«

Diese Angaben konnten nicht kommentarlos akzeptiert werden, so daß es galt, die tatsächlich auftretenden Kollisionsparameter zu ermitteln. Von Interesse war, welche Belastungen schon vieltausendfach bei den zahllosen, für gefahrlos erachteten Schlittenfahrten aufgetreten sind.

2 Der Gurtschlitten

Es wurden daraufhin im Rahmen eigener [3] und auch auswärtiger Veranstaltungen drei unterschiedliche Gurtschlitten untersucht.

Ein Gurtschlitten war als Einsitzer ausgelegt, die anderen beiden als Doppelsitzer. Die Doppelsitzer unterschieden sich noch darin, daß die Sitze nebeneinander bzw. hintereinander angeordnet waren.

Die Recherche ergab, daß es sich bei diesen Gurtschlitten um die drei repräsentativen Typen handelt. Ein doppelsitziger Gurtschlitten ist in Bild 1 zu sehen, es handelt sich um den Schlitten der Landesverkehrswacht Niedersachsen.

Das Prinzip aller Gurtschlitten ist gleich; ein rollengelagerter Schlitten fährt eine schiefe Ebene hinab und prallt unten gegen einen festen Anschlag.

*Dipl.-Ing. Markus Winninghoff

**Dipl.-Ing. Burkhard Walter

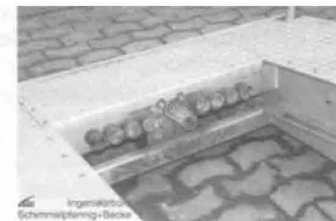
***Dipl.-Ing. Manfred Becke, öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle
alle c/o Ing.-Büro Schimmelpfennig + Becke, Münsterstraße 101, 48155 Münster-Wolbeck



Bild 1 Gurtschlitten der Landesverkehrswacht Niedersachsen
Fig. 1 Seatbelt-sled of the Landesverkehrswacht Niedersachsen



Bilder 2 + 3 Anpralldämpfer Gurtschlitten der Landesverkehrswacht Niedersachsen
Fig. 2 + 3 Impact absorber seatbelt-sled of the Landesverkehrswacht Niedersachsen



Bilder 4 + 5 Anprallfläche und -dämpfer Gurtschlitten der Maschinenbau- und Metall-Berufsgenossenschaft Düsseldorf
Fig. 4 + 5 Impact sheet and impact absorber seatbelt-sled of the Maschinenbau- und Metall-Berufsgenossenschaft Düsseldorf

Es war festzustellen, daß die Anprallflächen unterschiedlich ausgelegt waren. So war am Gurtschlitten der Landesverkehrswacht Niedersachsen ein Gummirohrprofil (Bild 2) angebracht, das an Hartgummiklötze (Bild 3) anprallte. Der Gurtschlitten der Verkehrswacht Dortmund, ein Einsitzer, stützt sich dagegen beim Anprall mit einer stählernen Platte an mehreren runden Gummipuffern ab. Ähnlich gestaltet war auch der Gurtschlitten der Maschinenbau- und Metall-Berufsgenossenschaft Düsseldorf (Bild 4) mit dem Unterschied, daß ein Gummipuffer gegen einen vorstehenden Stoßdämpfer (Bild 5) ausgetauscht war.

3 Teilnahmebedingungen

Die Teilnahme an einer Gurtschlittenfahrt ist an verschiedenen Bedingungen geknüpft, die von Schlitten zu Schlitten bzw. von Betreiber zu Betreiber variieren können.

So wird Personen mit Herzschrittmachern die Teilnahme nicht uneingeschränkt gestattet. Außerdem wird teilweise ein Mindestalter von 12 Jahren oder eine Mindestkörpergröße von 150 cm genannt. Auch ein Höchstalter von 60 Jahren wurde von einer Stelle aus versicherungs-



Bild 6 Einbauposition UDS
Fig. 6 Mounting Position UDS

technischen Gründen angegeben. Weiterhin wird bei einigen Gurtschlitten Personen mit Bandscheibenschäden eine Gurtschlittenfahrt verwehrt.

4 Meßmethodik

Die auftretenden Beschleunigungen und Verzögerungen wurden mit einem mobil einsetzbaren Unfalldatenspeicher (UDS, Fa. Mannesmann-Kienzle) gemessen. Er wurde jeweils an der Fußauflagefläche der Schlitten befestigt, siehe Bild 6. Durch die horizontale Einbaulage wurden Einflüsse in vertikaler Richtung eliminiert, da die rein frontale Belastung von Interesse war. Tatsächlich sind die resultierenden Beschleunigungen, die sich aus einer horizontalen und einer vertikalen Komponente zusammensetzen, bis zu 2 % größer, abhängig vom Neigungswinkel der Schlitten (6° bis 12°, je nach Schlittentyp).

Aus den Beschleunigungsverläufen konnte die mittlere wirkende Verzögerung und die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung Δv bestimmt werden.

5 Kollisionsgeschwindigkeiten

Die Fahrgeschwindigkeit des Schlittens wurde mit einer Lichtschranke kurz vor dem Aufprall gemessen. Unter Berücksichtigung der Meßstrecke konnte daraus die Kollisionsgeschwindigkeit berechnet werden. Die Kollisionsgeschwindigkeiten (in horizontaler Richtung) lagen zwischen knapp 10 und 11 km/h (Gurtschlitten der Verkehrswacht Dortmund und Gurtschlitten der Maschinenbau- und Metall-Berufsgenossenschaft Düsseldorf). Der Gurtschlitten der Landesverkehrswacht Niedersachsen wurde vor einiger Zeit mit einer Seilwinde nachgerüstet, die den Schlitten wieder hinaufzieht. Die Kraft, die zum Ausziehen des Seils benötigt wird, wirkt der Schlittenbeschleunigung entgegen. Vorher (ohne Seil) lag die Kollisionsgeschwindigkeit bei etwa 12 km/h; seitdem das Seil bei der Abwärtsfahrt mit ausgezogen wird, beträgt die Kollisionsgeschwindigkeit ca. 8 bis 9 km/h.

6 Auswertung der UDS-Daten

Die Bilder 7, 8 und 9 zeigen für jeden der Gurtschlitten einen typischen Beschleunigungsverlauf. Die Gurtschlitten waren bei den entsprechenden Versuchen jeweils (voll) besetzt.

Vergleicht man die Verläufe der Längsverzögerungen A, B und C miteinander, so sind schon auf den ersten Blick große Unterschiede im Hinblick auf das Anstiegsverhalten und vor allem bei der Kollisionsdauer zu erkennen, obwohl sich dies hinsichtlich der auftretenden Geschwindigkeitsänderung Δv nur in geringem Umfang auswirkt. Sie betrug zu A 11,7 km/h, zu B lag sie bei 12,7 km/h und zu C wurden 10,5 km/h festgestellt.

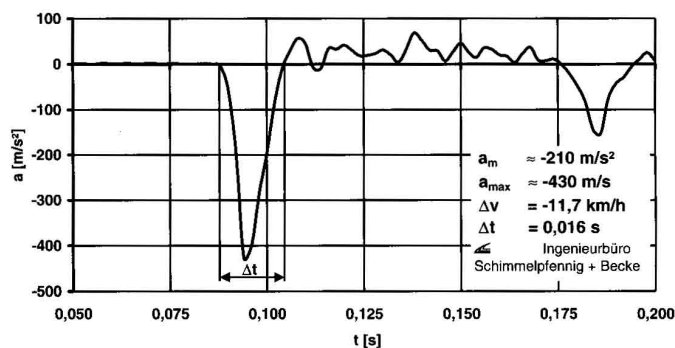


Bild 7 Längsbeschleunigung A des Gurtschlittens der Verkehrswacht Dortmund (Einsitzer)

Fig. 7 Longitudinal acceleration A seatbelt-sled Verkehrswacht Dortmund (single-seater)

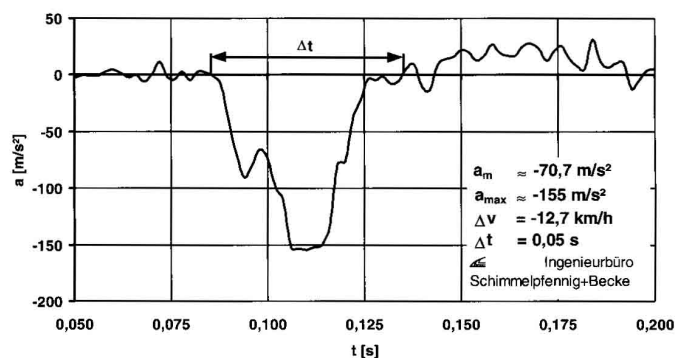


Bild 8 Längsbeschleunigung B des Gurtschlittens der Landesverkehrswacht Niedersachsen (Zweisitzer)

Fig. 8 Longitudinal acceleration B seatbelt-sled Landesverkehrswacht Niedersachsen (two-seater)

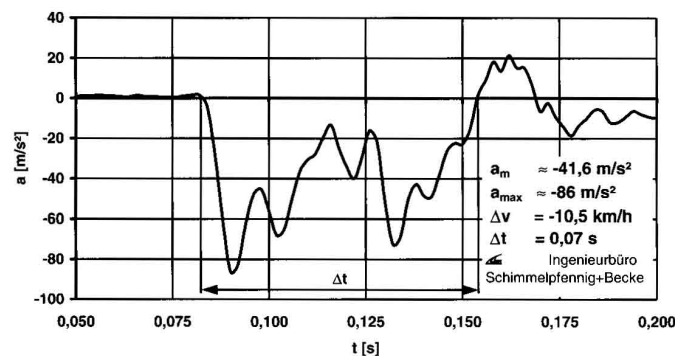


Bild 9 Längsbeschleunigung C des Gurtschlittens der Maschinenbau- und Metall-Berufsgenossenschaft Düsseldorf (Zweisitzer)

Fig. 9 Longitudinal acceleration C seatbelt-sled Maschinenbau- und Metall-Berufsgenossenschaft Düsseldorf (two-seater)

Dahingegen waren Kollisionsdauern Δt von 0,016 s (A), 0,05 s (B) und 0,07 s (C) zu verzeichnen.

Während bei den Messungen an den Gurtschlitten der Verkehrswacht Dortmund und der Maschinenbau- und Metall-Berufsgenossenschaft nahezu immer die gleichen Kollisionsdauern auftraten, war für den Gurtschlitten der Landesverkehrswacht Niedersachsen festzustellen, daß hier die Kollisionen zwischen 0,05 s und 0,072 s dauerten, je nach dem, ob das Seil ausgehängt war (entsprechend dem Urzustand des Schlittens) oder es ausgezogen werden mußte.

Die mittleren Verzögerungen sind, da sich die Geschwindigkeitsänderungen im Gegensatz zu den Kollisionsdauern nur wenig unterschieden, ebenfalls entsprechend unterschiedlich. So betrug sie im ersten abgebil-

Typ	Δv in km/h	Δt in s	a_m in m/s ²	a_{max} in m/s ²	Bemerkung
Einsitzer	11,7	0,016	206	420	
Einsitzer	11,6	0,016	196	343	Dummy nicht angeschnallt
Einsitzer	11,8	0,016	186	324	Dummy ange- schnallt
Einsitzer	11,7	0,016	210	430	Probandin, Kopf zur Seite gedreht
Zweisitzer nebeneinander	10,3	0,062	46,1	92	
Zweisitzer nebeneinander	10,1	0,062	45,0	90	
Zweisitzer nebeneinander	13,5	0,058	64,8	161	
Zweisitzer nebeneinander	14,9	0,062	66,7	168	
Zweisitzer nebeneinander	12,7	0,050	70,7	154	
Zweisitzer nebeneinander	9,0	0,066	38,0	77	
Zweisitzer nebeneinander	9,7	0,072	37,5	87	
Zweisitzer nebeneinander	8,9	0,068	36,3	72	1 Proband, Kopf zur Seite gedreht
Zweisitzer nebeneinander	9,7	0,076	35,4	78	
Zweisitzer nebeneinander	9,0	0,072	34,7	77	
Zweisitzer hintereinander	10,8	0,082	36,4	88	Leerfahrt
Zweisitzer hintereinander	10,5	0,070	41,6	86	
Zweisitzer hintereinander	10,0	0,074	37,7	83	
Zweisitzer hintereinander	10,6	0,074	39,7	76	1 Proband, 1 Sitz leer

Bild 10 Versuchübersicht

Fig. 10 Test chart

deten Verzögerungsverlauf A ca. 210 m/s². Die Maximalwerte reichten an 430 m/s² heran. Im direkten Vergleich mit dem Gurtschlitten der Maschinenbau- und Metall-Berufsgenossenschaft war bei diesem eine mittlere Verzögerung von 42 m/s² festzustellen, die maximalen Verzögerungswerte betrugen ca. 86 m/s².

Eine Zusammenfassung sämtlicher Versuchsdaten ist als Tabelle in **Bild 10** gegeben.

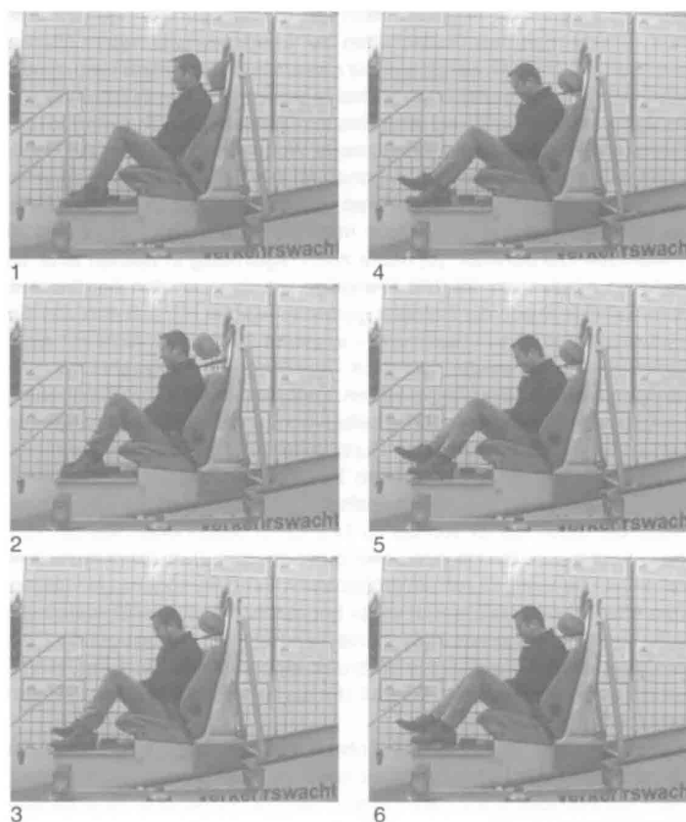
7 Bewegungsablauf

In **Bild 11** ist ein Bewegungsablauf dargestellt, der typisch für die Fahrten mit den Gurtschlitten ist.

Nach dem Anprall erkennt man zunächst das Aufzehren der Gurtlose, wobei das Becken und der Oberkörper nach vorn rutschen, bis der Oberkörper vom Gurt gehalten wird. Nach einer geringfügigen translatorischen Bewegung des Kopfes relativ zum Oberkörper nach vorn (Scherung) schwingt der nicht gehaltene Kopf vor und es kommt zu einer Flexionsbewegung der Halswirbelsäule. Auch die anderen Extremitäten, im Beispiel insbesondere die Beine, werden vorgeschleudert.

Nach Beendigung der nach vorn gerichteten Bewegung und dem Rückschwingen des Kopfes, verbunden mit der elastizitätsbedingten Rückbewegung des Oberkörpers, war ein Anprall des Kopfes an der Kopfstütze nicht mehr zu verzeichnen.

Insgesamt ist der Bewegungsablauf bei den Schlittenversuchen und bei Pkw-Pkw-Kollisionen gut vergleichbar.

Bild 11 Bewegungsablauf ($\Delta v = 11,7$ km/h, $a_m = 206$ m/s²)Fig. 11 Motion study ($\Delta v = 11,7$ km/h, $a_m = 206$ m/s²)

8 Diskussion der Meßergebnisse

Dem forensisch tätigen Sachverständigen stellt sich nun die Frage, ob zur Beurteilung der biomechanischen Insassenbelastung bei realen Unfällen die Erfahrungen aus den Schlittenversuchen zum Vergleich herangezogen werden dürfen.

Prallt ein Pkw frontal auf einen davor befindlichen Pkw, so ist in dem Relativgeschwindigkeitsbereich, der zu kollisionsbedingten Geschwindigkeitsänderungen wie bei den Gurtschlittenfahrten führt, von einer durchschnittlichen Kollisionsdauer von ca. 0,1 s auszugehen. Vor allem zu dem untersuchten, einsitzigen Gurtschlitten eröffnet sich eine große Diskrepanz, da dort die Kollisionsdauer nur etwa ein Sechstel einer Zehntelsekunde beträgt. Insgesamt ist bei keinem der Gurtschlittenversuche ein Kollisionsverhalten zu finden, das mit dem einer Pkw-Pkw-Kollision zu vergleichen wäre. Dahingegen tritt ein Δv auf, das vielen in realen Fällen zu diskutierenden Kollisionen zugrunde liegt.

Bewertet man die biomechanische Insassenbelastung über die auftretende mittlere Beschleunigung, so entspricht sie unter Berücksichtigung einer durchschnittlichen Pkw-Pkw-Kollisionsdauer einer Bandbreite für kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderungen von etwa 13 km/h (Zweisitzer, hintereinander mit 2 Probanden) bis 76 km/h (Einsitzer). Insbesondere für den zweiten Wert beginge man hier natürlich den Fehler, daß die Einwirkdauer der Beschleunigung außer Acht gelassen wird, diese jedoch keineswegs unberücksichtigt bleiben darf. Daher sind für die Zukunft Versuchsreihen geplant, in denen die tatsächlich auf den Probanden einwirkenden Beschleunigungen gemessen und den Beschleunigungen bei Pkw-Pkw-Kollisionen gegenübergestellt werden. Nach derzeitigem Kenntnisstand ist die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung als ein geeignetes Medium zur Beschreibung der biomechanischen Insassenbelastung anzusehen [4, 5]. Zur Beurteilung realer Unfälle, in denen eine Geschwindigkeitsänderung in der Größenordnung wie bei den Schlittenversuchen auftrat, sind Rückschlüsse gestattet, da nach Befragen verschiedener Gurtschlittenbetreiber keine Verletzungen beispielsweise in der Form eines sogenannten »HWS-Schleudertraumas« nach einer ordnungsgemäßen Gurtschlittenfahrt genannt

worden sind. Um die Aussagekraft dieser Auskünfte einschätzen zu können, sind einige Betreiber nach der Einsatzhäufigkeit gefragt worden. Nimmt man den Gurtschlitten der Landesverkehrswacht Niedersachsen als Beispiel, so läßt sich für diesen eine Gesamtzahl von mindestens 50.000 Schlittenfahrten bis heute bestimmen. Der Schlitten wurde im Jahre 1974 gebaut und ist seitdem in Betrieb. Laut Auskunft ist der Gurtschlitten mindestens jedes zweite Wochenende im Einsatz, dabei nehmen durchschnittlich 75 Personen an den Schlittenfahrten teil. Ähnlich verhält es sich auch mit anderen Gurtschlitten, die allerdings teilweise neueren Datums sind. Geht man davon aus, daß zehn der 20 bekannten Gurtschlitten [6] heute noch regelmäßig in Betrieb sind, so nehmen mindestens 25.000 Freiwillige pro Jahr an den Fahrten teil. Erst kürzlich ist aus der Schweiz gemeldet worden [7], daß dort von der Polizei aufgegriffene »Gurtmuffel« in einem Pilotprojekt nicht mit einer Geldbuße belegt werden, sondern »zur Strafe« eine Abfahrt mit dem Gurtschlitten zu absolvieren haben. Daß hier keine Körpergefährdung in Kauf genommen wird, dürfte selbstverständlich sein. Dies gilt sicherlich auch für alle Einsätze von Gurtschlitten auf öffentlichen Veranstaltungen, wie z.B. »Tag der offenen Tür« bei der Polizei.

Die Teilnehmer an Gurtschlittenfahrten sind also Belastungen ausgesetzt, die durch ein Δv von bis zu 14,9 km/h beschrieben werden können. Trotz dieser Belastungen sind den befragten Betreibern keine Verletzungen bekannt. Durch die größeren mittleren Verzögerungen gegenüber Pkw-Pkw-Kollisionen ist sogar bei gleicher Geschwindigkeitsänderung von einer höheren biomechanischen Belastung auszugehen. Dies bestätigt auch der subjektive Eindruck, einer Gurtschlittenfahrt im Vergleich zu einem Pkw-Pkw-Aufprall, der als gedämpfter und weniger hart empfunden wird.

Daher wird der Techniker die Antwort auf die Frage hinsichtlich der Belastbarkeit der Halswirbelsäule bei Frontalkollisionen nach derzeitigem Kenntnisstand mit dem Beispiel des Gurtschlittens veranschaulichen können.

9 Formelzeichen

a_m mittlere Verzögerung/average deceleration	m/s^2
a_{max} maximale Verzögerung/maximum deceleration	m/s^2
Δt Kollisionsdauer/Impact time	s
Δv kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung/ velocity change, delta v	km/h

Literaturnachweis

- [1] Betriebsanleitung und Begleitliteratur zum Gurtschlitten der Maschinenbau- und Metall-Berufsgenossenschaft Düsseldorf
- [2] Betriebsanleitung und Begleitliteratur zum Gurtschlitten der Landesverkehrswacht Niedersachsen
- [3] Walter B.: Insassenbelastung bei Frontalkollisionen. Vortrag anlässlich der 48. Jahrestagung der Norddeutschen Orthopädenvereinigung, Münster, 17.6.1999
- [4] Meyer S., Weber M., Kalthoff W., Schilgen M., Castro W., H. M.: Freiwilligen-Versuche zur Belastung der Halswirbelsäule durch Pkw-Heckanstöße. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik 37 (1999), S. 13 - 24
- [5] Meyer S., Hugemann W., Weber M.: Zur Belastung der Halswirbelsäule durch Auffahrkollisionen. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik 32 (1994), S. 15 - 21
- [6] Colditz H.-P.: Handbuch der Verkehrssicherheit. Deutscher Verkehrssicherheitsrat e.V. Bonn. 6. Aufl. 1998
- [7] <http://www.sonntagszeitung.ch/1999/sz14/S15-2936.HTM>