



Arbeitsgruppe für Unfallmechanik

Forschung, Rekonstruktion, Biomechanik, Prävention

Felix Walz, Prof. Dr. med., FMH für Rechtsmedizin
Peter Frei, dipl. Masch. Ing. ETH
Robert Kaeser, Prof. dipl. Masch. Ing. ETH
Markus Muser, Dr. sc. techn., dipl. El. Ing. ETH
Peter Niederer, Prof. Dr. sc. techn., dipl. Physiker

Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr

Auftraggeber: Bundesamt für Verkehr

Hauptverfasser: M. Muser
F. Walz

Seiten: 1-38

Version: 1.0 16.12.04
1.1 Revisionen bs, fw, mhm

Datum: Zürich, 20.12.2004

Stiftungsrat:
Felix Walz, Prof. Dr. med., FMH für Rechtsmedizin
Peter Frei, dipl. Masch. Ing. ETH
Robert Kaeser, Prof. dipl. Masch. Ing. ETH
Markus Muser, Dr. sc. techn., dipl. El. Ing. ETH
Peter Niederer, Prof. Dr. sc. techn., dipl. Physiker

Geschäftsleitung:
Arbeitsgruppe für Unfallmechanik
Postfach 373
CH-8028 Zürich

Sekretariat:
Tel. +41 (0)1 251 54 30
Fax. +41 (0)1 251 54 31
e-mail sekretariat@agu.ch
www.agu.ch
MWSt Nr. 415 702

	Titel: Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr		Version, Datum: V1.0, 16/DEC/2003	
	Autor: mhm/fw	Vis.:	Seiten: 38	Seite: 2

1.	ZUSAMMENFASSUNG	3
2.	MOTIVATION, AUSGANGSLAGE IN DER SCHWEIZ	5
2.1.	Problemstellung, Auftrag	5
3.	LITERATURRECHERCHE	6
4.	GRUNDSÄTZLICHE ÜBERLEGUNGEN	8
4.1.	Eisenbahn	8
4.2.	Tram	8
4.3.	Bus im Ortsverkehr	8
4.4.	Bus im Ausserortsverkehr	8
5.	ABKLÄRUNGEN BEI VERKEHRSBETRIEBEN	9
5.1.	BERNMOBIL / Postauto	9
5.2.	Neue Busse der Karosserie Hess in Bellach	10
5.3.	VBZ Zürich	10
5.4.	Busbetriebe in England	11
6.	VERLETZUNGSRIKIKEN	12
6.1.	Eigengefährdung	12
6.2.	Fremdgefährdung	12
7.	LASTFÄLLE	13
7.1.	Eisenbahn	13
7.2.	Tram	14
7.3.	Bus im Ortsverkehr	14
7.4.	Bus im Ausserortsverkehr	15
7.5.	Zusammenstellung	15
8.	STABILITÄTSBETRACHTUNGEN	16
8.1.	Handrollstuhl	16
8.2.	Elektro-Rollstuhl	18
9.	VERSUCHSFAHRTEN	21
9.1.	Versuchsaufbau	21
9.2.	Durchgeführte Versuche	22
9.3.	Resultate	25
10.	ANFORDERUNGEN, BEZOGEN AUF VERKEHRSMITTEL	27
10.1.	Eisenbahn	27
10.2.	Tram	27
10.3.	Bus	28
11.	ANFORDERUNGEN, BEZOGEN AUF DIE GESTALTUNG DER ROLLSTUHLPLÄTZE	29
12.	DISKUSSION DER VORGEFUNDENEN ROLLSTUHLPLÄTZE	31
12.1.	VBZ-Neoplan, neueres Modell	31
12.2.	VBZ, ältere Modelle	31
12.3.	VBZ, Cobra Tram	32
12.4.	POSTAUTO-Busse (Volvo)	33
12.5.	Bernmobil-Tram	34
12.6.	Bernmobil, ältere Trams	35
12.7.	Carosserie Hess, Bellach (Ortsbusse in verschiedenen Gemeinden)	35
12.8.	Weiteres ‚Bügelbrett‘	36
12.9.	‚Bügelbrett‘ mit Sicherung gegen Abdrehen	37
12.10.	Weiteres Bügelbrett	38

Anhang mit Detailerhebungen bei Verkehrsbetrieben und Literaturverzeichnis

	Titel: Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr		Version, Datum: V1.0, 16/DEC/2003	
	Autor: mhm/fw	Vis.:	Seiten: 38	Seite: 3

1. Zusammenfassung

Wir haben zunächst durch Literaturstudien und Nachfragen bei diversen Verkehrsbetrieben festgestellt, dass das absolute Risiko für Rollstuhl Fahrende, bei einer Kollision oder einem brusken Fahrmanöver als Mitfahrende in einem Bus oder Tram des öffentlichen Nahverkehrs oder in der Eisenbahn erheblich verletzt zu werden, sehr gering ist. Dasselbe gilt für Verletzungen von anderen Passagieren durch einen instabil werdenden Rollstuhl. Ein Grund hierfür könnte aber auch in der heute noch geringen Zahl der im öffentlichen Verkehr mit dem Rollstuhl absolvierten Fahrten liegen.

In einem nächsten Schritt haben wir die gegenwärtig in den neueren Fahrzeugen der VBZ, der Bernmobil, und der Post vorgesehenen Rollstuhlplätze inspiziert. Zusammen mit der Bestimmung der relevanten Lastfälle sowie einer qualitativen Analyse der Stabilität von heutigen Hand- und Elektro-Rollstühlen konnten wir die bei verschiedenen Szenarien möglichen Arten der Instabilität sowie die daraus resultierenden Verletzungsgefahren, nach Eigen- und Fremdgefährdung aufgeteilt, analysieren. Bei allen Überlegungen gilt das Paradigma, dass eine Rollstuhl fahrende Person kein grösseres, aber auch kein kleineres Verletzungsrisiko tragen soll als jeder andere Passagier.

Durch Versuchsfahrten mit einem VBZ-Bus mit Rollstuhlplatz neuerer Bauart haben wir sodann die bis anhin theoretischen Überlegungen verifiziert, sowie neue Erkenntnisse dazu gewonnen. Die baulichen Anforderungen an einen Rollstuhlplatz konnten somit formuliert werden. Wir bevorzugen die Variante, bei der die vordere Begrenzung des Rollstuhlplatzes durch eine gepolsterte Wand oder auch eine Klappsitz-Reihe gebildet wird. Die Räder oder die hinten liegenden Strukturteile des Rollstuhles müssen durch die Wand oder andere Vorrichtungen abgestützt sein. Die Krafteinleitung in den Rollstuhl darf nicht über den Fahrer erfolgen. Wir betrachten die als ‚Bügelbrett‘ bezeichneten Lösungswege als nachteilig, wobei einzelne Lösungen trotzdem akzeptabel sind.

Eine weitere Erkenntnis ist, dass die weitaus grösste Gefahr dann entsteht, wenn der Rollstuhl nicht am dafür vorgesehenen Platz oder in einer unzulässigen Position steht. Bei den in den Versuchen durchgeführten Fahrmanövern wies eine Sitzposition quer zur Fahrtrichtung, mit dem Rücken zur Seitenwand, Vorteile gegenüber der allgemein favorisierten Position mit Blick nach hinten auf.

Eine Analyse der von uns besichtigten Rollstuhlplätze hat ergeben, dass bei einigen Plätzen Bedarf für Nachrüstungen besteht.

Insgesamt können wir festhalten, dass:

- Rollstuhl Fahrende in der Eisenbahn praktisch keine Verletzungsrisiken tragen oder bewirken. Einzige Bedingung ist, dass ein Kippen nach hinten verhindert wird.
- Rollstuhl Fahrende im Tram praktisch nur im Kollisionsfall Verletzungsrisiken tragen, und auch nur dann, wenn sie falsch positioniert sind.
- Auch im Bus Risiken nur bei seltenen Fahrmanövern und Kollisionen auftreten. Durch korrekte Positionierung und gute Gestaltung der Plätze können die Risiken minimiert werden.

Nach Prioritäten geordnet, sehen wir den folgenden Handlungsbedarf:

- Information der Benutzer über die günstigen wie auch die ungünstigen Plätze durch Piktogramme und durchgestrichene Piktogramme o.ä. Entfernen von fehlleitenden Piktogrammen (Eisenbahn, Tram, Bus).
- Information der Benutzer, dass eine frei stehende Position eine grosse Kippgefahr nach hinten bewirkt, auch bei normalem Betrieb (Eisenbahn, Tram, Bus).
- Nachrüsten einer Abstützung für den Rollstuhl im unteren Bereich (Querstangen o.ä.) wo diese fehlen. Kompatibilität mit Hand- und Elektro-Rollstühlen (v.a. Bus, ev. Tram).
- Entschärfen von Kanten und Haltestangen, an welche der Kopf des Rollstuhlfahrers oder andere Körperteile anprallen können (Bus, Tram).

	Titel: Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr		Version, Datum: V1.0, 16/DEC/2003	
	Autor: mhm/fw	Vis.:	Seiten: 38	Seite: 4

- Geometrische Anpassung von zu weit vorstehenden ‚Bügelbrettern‘, besser: Ersatz durch flache, gepolsterte Wand (v.a. Bus, ev. Tram).
- Anbieten einer Sicherungsmöglichkeit gegen Abdrehen und Rutschen zur Seite, bei Position mit Blick nach hinten. Z.B. wie bei den Fahrzeugen der Post, oder alternativ auch durch eine vom Rollstuhlfahrer mitzuführende, leichte Gurtschlaufe (v.a. Bus).

Die folgenden Fragen sind aus unserer Sicht noch nicht vollständig geklärt:

- Belastbarkeit der Querstangen an der vorderen Begrenzung der Rollstuhlplätze. Ein Anprall eines schweren Elektro-Rollstuhles an eine analog zum Fahrzeug verankerte Querstange üblichen Ausmasses könnte unsere qualitativen Überlegungen validieren.
- Rollstuhlplätze im ‚Ausserorts‘ – Verkehr: Bei konsequenter Auslegung der ECE R80 müssten bei Fahrzeugen, welche keine Stehplätze aufweisen, komplette Rückhaltevorrichtungen mit separaten Gurten für den Rollstuhl und den Fahrer eingebaut werden. Ob dies bei den relativ kurzen Strecken im Nahverkehr (ohne Stehplätze) sinnvoll ist, ist eine Ermessensfrage und kann von uns nicht abschliessend beantwortet werden.
- Stabilität des Elektro-Rollstuhles im Bus: wir konnten unsere Betrachtungen nur mit Handrollstühlen validieren. Eine Wiederholung der Versuche mit Elektro-Rollstühlen wäre zwar möglich, aber mit erheblich höheren Kosten verbunden; einerseits könnten am Elektro-Rollstuhl, andererseits aber auch am Fahrzeug Schäden entstehen. Zudem sind die verschiedenen Bauarten sehr unterschiedlich.

	Titel: Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr		Version, Datum: V1.0, 16/DEC/2003	
	Autor: mhm/fw	Vis.:	Seiten: 38	Seite: 5

2. Motivation, Ausgangslage in der Schweiz

Bis in die Neunziger Jahre wurde zu wenig beachtet, dass für in einem Fahrzeug mitgeführte Personen, die im Rollstuhl sitzen (und auch für die übrigen Mitfahrenden) ein erhebliches Sicherheitsrisiko besteht. Es bestehen zwar gewisse Normen und Normenentwürfe für Rückhaltesysteme beim Behindertentransport (z.B. ISO 10'542-1 oder DIN 75'078-2), doch erschweren verschiedene Rollstuhlssysteme und die verschiedenartigen Behinderungen allgemeingültige Regelungen. Auf Initiative der Stiftung Cerebral wurde deshalb im Jahre 1999 eine Arbeitsgruppe gebildet, welche Lösungen für den Transport in Motorwagen der Klasse M2 (Motorwagen zum Personentransport) gesucht und in der nun bereits gut eingeführten Lösung «Safetrans»¹ gefunden hat.

Für den Transport in öffentlichen Verkehrsmitteln (Fahrzeuge M3) hingegen liegen keine verbindlichen schweizerischen und nur in Teilen direkt verwertbare Euro-Normen² vor, hingegen verfügen einzelne Transportunternehmungen über ein internes Lastenheft (z.B. ZVV Zürich, BERNMOBIL).

2.1. Problemstellung, Auftrag

Das Bundesamt für Verkehr BAV beauftragte die Arbeitsgruppe für Unfallmechanik, einen Bericht mit folgendem Inhalt auszufertigen:

- Detaillierte Definition der Fragestellung, Erstellen eines Projektberichtes, Koordination der Projektteilnehmer, Erstellen einer kurzen Literaturübersicht.
- Konsultation von Verkehrsbetrieben und Busherstellern bezüglich Fahrzeugtechnik, Bremsleistung, konstruktive Details, Unfallereignisse, zur Verfügung stehender Platz, Befragung von Chauffeuren.
- Definition sinnvoller Lastfälle betreffend Busse und Trams im Stadtbereich sowie Linienbusse ausserorts.
- Definition der Lösungsvorschläge bezogen auf die Lastfälle, Evaluation.
- Berichterstellung, Aufarbeitung der Resultate, Übergabe der Arbeit, administrativer Projektabschluss.

Grundsätzlich ist Folgendes zu beachten:

- Die Angst vor einem folgenschweren Unfall besteht, aber offensichtlich sind sowohl in der Schweiz wie auch im Ausland kaum entsprechende konkrete Fälle bekannt.
- Die meisten Verletzungen in öffentlichen Strassenverkehrsmitteln - bei allen Reisenden - ergeben sich bei frontalen Kollisionen und bei Bremsungen bzw. scharfen Fahrmanövern.
- Bei der Sicherheit von Rollstuhlinsassen in Transportfahrzeugen geht es um drei unterschiedliche Probleme: 1. Die Stabilität des Rollstuhles selbst, 2. Die adäquate Platzierung, Rückhaltung und ev. Befestigung des Rollstuhles am Fahrzeug und 3. Die korrekte Rückhaltung des Insassen im Rollstuhl.

¹ «Safetrans» von Farnier Air Service AG, Grenchen / Stiftung Cerebral, Bern
Merkblatt 'Empfehlungen betreffend Fahrzeuge für den Transport von Behinderten', ASTRA, Juli 2000.
<http://www.cerebral.ch/de/publikation.html> --- Safetrans

² RICHTLINIE 2001/85/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES über besondere Vorschriften für Fahrzeuge zur Personenbeförderung mit mehr als 8 Sitzplätzen ausser dem Fahrersitz und zur Änderung der Richtlinien 70/156/EWG und 97/27/EG, Revision vom 13.2.2002

	Titel: Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr		Version, Datum: V1.0, 16/DEC/2003	
	Autor: mhm/fw	Vis.:	Seiten: 38	Seite: 6

3. Zusammenfassung der Literaturrecherche

Grundsätzlich sind Busse sehr sichere Verkehrsmittel. Dies hat einerseits mit der besonderen Ausbildung der Chauffeure - bedenkliche Ausnahmen sind bekannt -, dem hohen Gewicht und der (relativ dazu) geringen Motorenleistung der Fahrzeuge zu tun. Nach einer Statistik von Schersky et. al (1997) kamen pro Milliarde zurückgelegte Kilometer in Privatflugzeugen 58.8 Menschen um, in Personenwagen 9, in der Eisenbahn zur Personenbeförderung 0.86, in Bussen und Cars 0.43 und in Grossflugzeugen 0.38.

Im Rahmen der Verkehrssicherheitspolitik 2010 der EU nimmt die Sicherheit von Behinderten (RMP = reduced mobility people) einen hohen Stellenwert ein. Der gute Zugang zu Bussen für RMP soll gewährleistet werden. Die Busse sollen für Rollstuhlpassagiere Rückhaltevorrichtungen anbieten.

Bereits in den 1970er Jahren wurde die Sicherheit während der Benutzung öffentlicher Verkehrsmittel, insbesondere Busse, durch Rollstuhlfahrer untersucht. 1976 wurde von der Wayne State University in Detroit (USA) ein Rückhaltesystem entwickelt, welches sowohl den Rollstuhlfahrer wie auch den Rollstuhl selbst sichert. Der Rollstuhlfahrer wird dabei in rückwärts gerichteter Position transportiert. Das System, das u.a. eine Kopfstütze und einen 3-Punkt-Gurt aufweist, wurde in verschiedenen Crash-Tests getestet.

Das Konzept dieses „Wayne State University Wheelchair Restraint System“ wurde auch in verschiedenen später entwickelten Systemen angewendet. Selbst Systeme, die den vorwärts gerichteten Transport von Rollstuhl und Rollstuhlfahrer vorsehen, weisen analoge Komponenten wie das Wayne State System auf. Hinsichtlich der Testbedingungen, unter denen solche Sicherheitssysteme in Crash-Tests getestet werden sollen, werden in der Literatur – für unterschiedliche Fahrzeugtypen – unterschiedliche Vorschläge zur Diskussion gestellt bzw. als Richtlinien in verschiedenen Ländern vorgeschlagen (z.B. Red et al. 1982, Petty 1985, Glaeser 1992, Adams et al. 1994).

Die derzeitige gesetzliche Situation in Grossbritannien (Public Service Vehicles Accessibility Regulations 2000) sieht vor, dass Busse im Linienverkehr mit mehr als 22 Plätzen auch für Rollstühle geeignet sein müssen. Diese Richtlinie bezieht sich primär auf alle Neufahrzeuge; bis in 20 Jahren sollen jedoch alle im Einsatz befindliche Busse rollstuhlgängig sein. Weitere Vorschriften sind in Direktiven der Europäischen Kommission vorgesehen. Hinsichtlich der Sicherheit von Rollstuhl-Rückhaltesystemen sind die Normen ISO10542 (Testprozedur), ECE R25 und ECE R17 (Energieabsorption, Kopfstützen) zu beachten. Ausserdem wurden die Ergebnisse des Europäischen Forschungsprojektes COST322 zu Niederflurfahrzeugen berücksichtigt. Ausgehend von der englischen Unfallstatistik wurde abgeschätzt, dass zukünftig pro Jahr in England mit 0.0133 getöteten und 0.4883 schwer verletzten Rollstuhlfahrern zu rechnen ist. Die tatsächliche relativ geringe Gefährdung wird somit hier bestätigt.

Die deutsche Bundesanstalt für Strassen (BASt) hat ein sog. Kraftknoten-Konzept entwickelt, welches vorsieht, dass der Rollstuhlhersteller am Rollstuhl optimale Krafteinleitungspunkte angibt bzw. befestigt. Diese Krafteinleitungspunkte können dann, versehen mit einem genormten System, als geeignete Verankerungspunkte für Schutzsysteme dienen.

Für die Schweiz hat das Bundesamt für Strassen (ASTRA) im Jahr 2000 „Empfehlungen betreffend Fahrzeuge für den Transport von Behinderten“ erarbeitet. Hierin werden Anforderungen bezüglich des benötigten Platzes und den technischen Anforderungen von Sicherheitssystemen gestellt. Anvisiert sind allerdings private Kleinbusse oder Vans (M2), nicht Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrs.

	Total	Getötete	schwer Verletzte	leicht Verletzte
Bus/Car	12	1	3	8
Trolleybus	2	0	1	1

Tabelle 1: CH-Statistik 2003, Unfallfolgen für Bus-Insassen, alle Unfallarten

Insgesamt zeigt sich aufgrund der Literatur Folgendes:

- Es liegen seit 30 Jahren Vorschläge für die “sichere” Befestigung von Rollstühlen mit Behinderten Insassen vor.
- Die Vorschläge betreffen meistens kleinere, leichte Fahrzeuge (M1 und M2).

	Titel: Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr		Version, Datum: V1.0, 16/DEC/2003	
	Autor: mhm/fw	Vis.:	Seiten: 38	Seite: 7

- Dies ergibt aufgrund der bei einer Kollision zu erwartenden hohen Geschwindigkeitsdifferenzen bzw. Verzögerungen dieser leichteren Fahrzeuge sehr hohe Anforderungen an die Rollstuhlkonstruktion, welche ohne nachträgliche Verstärkungen oder besondere Rückhaltevorrüchtungen (z.B. System Safetrans®) nicht erfüllbar sind. Da es sich bei diesen Fahrzeugen im Gegensatz zu Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrs um speziell für Behinderte eingesetzte Fahrzeuge handelt, sind aber besondere Rückhaltevorrüchtungen wesentlich einfacher einzubauen und deren Gebrauch ist auch sicherzustellen.
- Bei den in der Regel schweren öffentlichen Verkehrsmitteln sind die hohen Anforderungen an die Befestigung von Rollstühlen nur in Ausnahmefällen sinnvoll.
- Das verschärfte Problem der schwereren Elektro-Rollstühle (100 bis 130 kg fahrbereites Leergewicht) ist nicht bis ins Detail gelöst.

Im Anhang finden sich die hier genannten und zahlreiche weitere Literaturhinweise im Detail.

	Titel: Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr		Version, Datum: V1.0, 16/DEC/2003	
	Autor: mhm/fw	Vis.:	Seiten: 38	Seite: 8

4. Grundsätzliche Überlegungen

Die übergeordnete Forderung heisst, dass in einem Rollstuhl transportierte Personen bei einer gegebenen Unfallsituation gegenüber den anderen Insassen im selben Bus keine schwereren Verletzungen erleiden dürfen. Da Personen im Rollstuhl aufgrund ihrer Behinderung oft weniger die Möglichkeit haben, sich auf eine drohende Situation einzustellen – Abstützen, Einnehmen einer Schutzhaltung – sollen die Schutzvorrichtungen mindestens so wirksam sein wie diejenigen für die anderen sitzenden Passagiere. Wir erinnern daran, dass die ECE-Vorschrift R80 Sicherheitsgurte für alle Passagiere in Bussen fordert, welche nur sitzende Passagiere aufweisen (also ohne Stehplätze im Kurzstreckenverkehr).

Am 22.10.04 fand eine Besprechung mit der Begleitgruppe der Fachstelle BöV, B. Schweingruber und A. Scheidegger statt, deren Empfehlungen in die Arbeit eingeflossen sind. Mehrere weitere Konsultationen mit der Fachstelle BöV erfolgten telefonisch oder per e-mail.

4.1. Eisenbahn

Sowohl hohes Gewicht, die Bindung an die Schienen (keine Schwenker möglich), und die niedrige Bremsverzögerung reduzieren die Anforderungen an die Befestigung von Rollstühlen. Sowohl der Fahrbetrieb wie eine allfällige Kollisionssituation ergeben somit keine hohen Beschleunigungen. Trotzdem kann ein unbefestigter Rollstuhl bei einer Vollbremsung „langsam“ nach vorne rollen und Benutzer wie andere Passagiere gefährden.

Allerdings sind die zwar kurzen, aber relativ hohen Querschleunigungen beim Befahren von Weichen mit langsamen Geschwindigkeiten zu beachten.

Da oft längere Strecken zurückgelegt werden, ist eine nach vorne gerichtete Position zu fordern.

4.2. Tram

Beim Tram gelten ähnliche Überlegungen wie bei der Eisenbahn. Die Benützung von Trams durch Rollstuhlfahrende ist nur bei Niederflurtrams möglich. Zusätzlich reduzieren die relativ geringen Geschwindigkeiten im gemischten Verkehr die Anforderungen an die Befestigung von Rollstühlen.

Da nur relativ kurzen Strecken zurückgelegt werden, ist eine Position mit dem Rücken zur Fahrtrichtung wie auch seitlich akzeptabel.

4.3. Bus im Ortsverkehr

Die Ausgangslage deckt sich teilweise mit derjenigen beim Tram, doch sind hier Bremsverzögerungen wie bei einem Personenwagen und auch recht hohe seitliche Beschleunigungen bei brusken Ausweichmanövern möglich. Deshalb sind hier die Anforderungen an die Rollstuhlbefestigung höher.

4.4. Bus im Ausserortsverkehr

Fahrten über längere Strecken sind bei einer Blickrichtung nach hinten oder zur Seite unangenehm, was im Kurzstreckenverkehr noch akzeptabel ist. In solchen Bussen sind deshalb Vorrichtungen einzubauen, welche eine vorwärts gerichtete Rollstuhlposition ermöglichen. Dies ist nun aber auch in „sicheren“ Bussen mit provisorischen Befestigungen nicht zu bewerkstelligen, sondern es sind spezielle Rückhaltevorrichtungen (analog „Safetrans[®]“) notwendig, welche auch für die schweren Elektrorollstühle geeignet sind.

Bei Niederflurbussen ergeben sich für den Einstieg keine besonderen Probleme. Die Postautodienste setzen in den Bergregionen Wallis, Berner Oberland, Graubünden auf längeren Linien Busse mit hohem Boden ein (Hochflurbus wegen Fahrkomfort, Mitnahme von Reisegepäck), also keine Niederflurbusse. Solche neuen Hochflurbusse, von denen der erste im Herbst 04 im Beisein des BAV abgenommen wurde, müssen deshalb mit einem Rollstuhllift ausgerüstet sein. Versuche des BöV, bei welchen eine Fahrerin im

	Titel: Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr		Version, Datum: V1.0, 16/DEC/2003	
	Autor: mhm/fw	Vis.:	Seiten: 38	Seite: 9

Elektrorollstuhl sowie ein Rollstuhlfahrer mit vorgehängtem Zugmotor "Mini-Trac") den Lift getestet haben, haben die Tauglichkeit belegt, doch muss das Personal in der korrekten Bedienung des Lifts gut instruiert werden. Der Rollstuhl wird z.Z. mit dem Rücken zur Fahrtrichtung aufgestellt, doch ist für Fahrten über längere Strecken die Blickrichtung nach vorne erwünscht.

5. Abklärungen bei Verkehrsbetrieben

5.1. BERNMOBIL / Postauto

Es erfolgte eine Besichtigung von Fahrzeugen und entsprechende Diskussionen mit den jeweiligen Verantwortlichen. Die Details sind im Anhang aufgelistet.

Rollstuhlstandplätze

Alle Niederflurfahrzeuge sind mit einem Rollstuhlstandplatz und mit einer elektrischen oder manuellen Auffahrrampe ausgerüstet. Die älteren Hochflurfahrzeuge wurden nicht nachgerüstet, da diese Fahrzeuge schon wegen ihrer Flurhöhe für den Rollstuhltransport nicht geeignet sind.

Die Rollstuhlstandplätze sind unterschiedlich dimensioniert. Bei den besichtigten Post-Bussen (Volvo) war der Rollstuhlstandplatz rund 1.3 m lang, einzelne Fahrzeuge verfügten über einen längeren Standplatz von rund 1.8 m. Bei den Fahrzeugen von BERNMOBIL sind die Standplätze generell grosszügiger konzipiert. Deren Länge beträgt etwa 1.8 m. Die Breite der Standplätze entspricht in der Regel der Breite eines Doppelsitzes und beträgt knapp 90 cm.

Sicherungs- und Abstützungseinrichtungen

Der Rollstuhlstandplatz in allen öffentlichen Verkehrsbussen und Tram ist grundsätzlich für den Transport eines einzelnen Rollstuhlfahrers entgegen der Fahrtrichtung konzipiert. Nicht selten werden jedoch zusätzliche Rollstühle ungesichert im Eingangsbereich oder im Mittelgang mitgeführt.

Der Rollstuhlstandplatz in den Postauto-Bussen verfügt über eine gepolsterte Abstützwand. Im unteren Bereich dieser Abstützwand sind zwei klappbare Notsitze eingebaut. Der Oberteil der Wand dient als Rückenlehne. Da der Standplatz zwischen zwei Podesten eingebaut ist, wird die Abstützung des Rollstuhls durch den unteren Rand des Podestes gewährleistet.

Die Haltegurten werden kaum verwendet, zumal der Rollstuhlfahrer den Sicherheitsgurt nicht ohne Fremdhilfe am Rollstuhl befestigen kann. Die Postautos werden deshalb in Zukunft mit einer zusätzlichen Haltestange, welche ein seitliches Verschieben des Rollstuhls verhindern soll, ausgerüstet werden.

Bei den Fahrzeugen von BERNMOBIL wird der Rollstuhlfahrer durch eine gepolsterte Rückenlehne abgestützt. Beispiele sind im Anhang gezeigt.

Der Nachteil dieser Konstruktion liegt vor allem darin, dass der Rollstuhl im unteren Bereich nicht oder zumindest nicht genügend abgestützt wird. Im ungünstigsten Fall ist die Abstützung des Rollstuhlfahrers nur durch die Rückenlehne gewährleistet, da keine zusätzlichen Horizontalstreben vorhanden sind. Der Rollstuhl ist zudem in allen Fahrzeugen von BERNMOBIL nicht gegen ein seitliches Verrutschen gesichert. Das Konzept der Abstützung erfüllt laut Aussagen des Verantwortlichen von BERNMOBIL die Anforderungen des BehiG SR 151.3 (siehe Anhang).

Die Trams von BERNMOBIL verfügen nicht in jedem Fall über eine gepolsterte Rückenlehne. Der Rollstuhl wird in den Niederflurwagen der neusten Generation nur durch die Rückenlehne der Vordersitze in Fahrtrichtung abgestützt. Dies ergibt ein gewisses Gefahrenpotential (gegenseitige Verletzungsgefahr). Bei den älteren Schienenfahrzeugen mit asymmetrischer Flurhöhe ist der Rollstuhlstandplatz vor dem Hochpodest platziert, womit der Rollstuhl in Längsrichtung besser gesichert ist. Die Abstützung des Rollstuhlfahrers wird zusätzlich durch eine gepolsterte Rückenlehne gewährleistet, nicht aber gegen ein seitliches Verrutschen.

	Titel: Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr		Version, Datum: V1.0, 16/DEC/2003	
	Autor: mhm/fw	Vis.:	Seiten: 38	Seite: 10

Befragung zu Unfällen

Nur in zwei Fällen konnte über einen Unfall berichtet werden, bei welchem der Rollstuhlfahrer während der Fahrt ohne besondere äussere Einwirkung (keine Kollision, kein Bremsmanöver) umgekippt ist, einmal davon in einem offenbar rasch befahrenen Kreisel.

Schlussfolgerungen (BERNMOBIL/Postauto)

Die Nachforschungen haben gezeigt, dass die bestehenden Abstützungen und Sicherungssysteme noch verbesserungsfähig sind. Insbesondere die Abstützung des Rollstuhls in Längs- und in Querrichtung ist bei fast allen Systemen nicht optimal gelöst. Bei der Längsabstützung geht es auch darum, die Fahrgäste, die in Rückwärtsrichtung, also mit den Füßen im Bereich des Rollstuhles, vor dem Rollstuhlstandplatz sitzen, besser zu schützen. Bei Elektrorollstühlen stellt insbesondere der nach hinten vorstehende Batteriekasten ein erhöhtes Gefahrenpotential dar. Die Sicherung der Rollstühle in Querrichtung zum Fahrzeug ist praktisch nirgends vorhanden. Eine Sicherung des Rollstuhls mittels Gurten oder mit einem speziellen Verankerungssystem (bspw. analog Isofix-Halterungen) wird nach bisherigen Erfahrungen bei den meisten Rollstuhlfahrern kaum auf Akzeptanz stossen. Das Sicherungssystem sollte in jedem Fall einfach zu bedienen und für jeden Rollstuhltyp verwendbar sein. Eine Sicherung mittels beweglichem (seitlich oder von oben klappbar) und gepolstertem Bügel, welcher ohne Aufwand für jeden Rollstuhltyp eingestellt werden kann, wäre ein möglicher Lösungsansatz.

5.2. Neue Busse der Carrosserie Hess in Bellach

Der Rollstuhlfahrer wird durch eine gepolsterte Rückenlehne abgestützt. Der Rollstuhl wird zusätzlich durch eine Horizontalstrebe unterhalb der Rückenlehne in Fahrtrichtung gesichert. Diese Zusatzstrebe bietet vor allem bei schweren Elektrorollstühlen einen besseren Schutz für den Rollstuhlfahrer und für die vor ihm sitzenden Fahrgäste. Eine Sicherung gegen ein seitliches Verrutschen des Rollstuhles ist hingegen nicht vorhanden.

Die früher angebrachten seitlichen Sicherungsgurten (Zurrbänder) wurden immer wieder von Vandalen zerschnitten; die Rollstuhlfahrer waren auch häufig gar nicht gewillt, sich zu sichern, da es die anderen Fahrgäste auch nicht täten. Es werden somit keine solchen Gurten mehr eingebaut.

Die Abmessungen der Standplätze in den von der Carrosserie Hess gebauten Trolleybussen sind in der Konstruktionszeichnung im Anhang ersichtlich. Der Rollstuhlstandplatz weist eine Länge von rund 1.8 m und eine Breite von rund 0.85 m auf. Die Standplätze sind mit speziellen Bodenmarkierungen gekennzeichnet.

5.3. VBZ Zürich

Bei den älteren Hochflur-Bussen oder -Trams können Rollstuhlfahrer nicht transportiert werden. Zudem befindet sich mittig der Treppe meistens eine Haltestange (Haarnadel), womit zu wenig Platz für den Einstieg vorhanden ist. Die neueren (Niederflur)-Fahrzeuge der VBZ verfügen nahezu alle über einen Standplatz für den Transport von Rollstuhlfahrern, resp. eine Sondernutzungsfläche, in der Regel gegenüber der mittleren Einstiegstüre auf der linken Fahrzeugseite, wobei die Rollstühle entgegen der Fahrtrichtung positioniert werden. Diese Busse verfügen über eine Rampe, die manuell vom Chauffeur ausgeklappt werden muss. Ganz allgemein sind die Chauffeure angehalten, Rollstuhlfahrern oder Gehbehinderten bei Bedarf zu helfen.

Für die Liefertranche 2004 wird die Sondernutzungsfläche für Rollstühle (inkl. Elektrorollstühle) wie folgt ausgeführt: Oberhalb der bestehenden oberen, horizontalen Trennwandstange wird eine zusätzliche horizontale Stange eingebaut. Diese Stange wird mit einem Prallschutz gepolstert. Das Fertigmass von Oberkante Prallschutz bis zum Wagenboden beträgt 1350 mm.

Die bestehende obere horizontale Trennwandstange erhält ebenfalls einen Prallschutz.

Im Fussbereich wird zur Abstützung der Räder von Normal- und Elektrorollstühlen sowie Rollstuhlzubehör (separates Antriebsaggregat), zwecks Aufnahme der Längskräfte beim starken

	Titel: Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr		Version, Datum: V1.0, 16/DEC/2003	
	Autor: mhm/fw	Vis.:	Seiten: 38	Seite: 11

Bremsen, eine zusätzliche horizontale Stange eingebaut. Das Fertigmass zwischen Oberkante Stange bis zum Fussboden beträgt 180 mm. Die Stange ist mit dem zugeklappten Klappsitzteil in einer Flucht. Sie darf nicht auf den Boden abgestützt sein (Fussbodenreinigung) und muss im extremsten Bremsfall eine Masse von 250 kg (Elektro-Rollstuhl mit Fahrer) aufhalten können. Die Nachrüstung von Neufahrzeugen der Liefertranche 2003 wird ebenfalls geprüft.

Die in den Neoplanbussen der VBZ eingebauten Klappsitze werden vom BAV nicht als Sitzplätze angerechnet, da die Sitzabmessungen nicht einem Standardsitz entsprechen.

Werden Klappsitze in der Sondernutzungsfläche an die Aussenwand angebracht, benötigen sie eine Armlehne.

Im Gelenkbus wird nur die vom Fahrer einsehbare Sondernutzungsfläche im Vorderwagen für die Beförderung von Rollstühlen eingerichtet.

Das für die Abstützung von Rollstühlen vielfach verwendete „Bügelbrett“ wird bei der Beförderung eines Elektrorollstuhles, ohne zusätzliche Rückhaltevorrichtung im Bereich der Rollstuhlräder, als ungeeignet und gefährlich beurteilt. Deshalb wird das "Bügelbrett" bei den VBZ-Fahrzeugen nicht eingesetzt.

Die VBZ wollen den Fahrgästen im Niederflurbereich möglichst viele Sitzplätze anbieten und deshalb auf die Klappsitze in der Sondernutzungsfläche nicht verzichten. Es muss auch an die Fahrgäste mit Kinderwagen oder mit sperrigem Gepäck, sowie Fahrgäste mit Gehbehinderung gedacht werden.

Der Anteil von Behinderten am Gesamtvolumen transportierter Fahrgäste beläuft sich (zur Zeit) im Promillebereich³. Es sind keine relevanten Unfälle bekannt.

Der Beförderungskomfort der anderen Mitreisenden darf nicht beeinträchtigt werden, insbesondere die Sicht (Gefahr der Übelkeit).

5.4. Busbetriebe in England

Die derzeitige gesetzliche Situation in Grossbritannien (Public Service Vehicles Accessibility Regulations 2000) sieht vor, dass Busse im Linienverkehr mit mehr als 22 Plätzen auch für Rollstühle geeignet sein müssen. Diese Richtlinie bezieht sich primär auf alle Neufahrzeuge; bis in 20 Jahren sollen jedoch alle im Einsatz befindliche Busse rollstuhlgängig sein.

Während normaler Fahrt in Linienbussen sind Gurte nicht vorgeschrieben, falls in diesem Bus Stehplätze angeboten werden. Ein Rollstuhlfahrer in rückwärtsgerichteter Position kann daher ohne Sicherheitsgurt und auch ohne Fixierung des Rollstuhls befördert werden. Es ist jedoch ein spezieller Platz für Rollstuhlfahrer einzurichten. Dieser hat eine Rückenstütze aufzuweisen. Ferner sind Massnahmen zu ergreifen, dass sich der Rollstuhl nicht (seitlich) aus dem vorgesehenen Platz bewegen kann. Der Einbau einer vertikalen Stange hat sich hierbei bewährt; zudem können sich der Rollstuhlfahrer wie auch anderer Fahrgäste an dieser Stange festhalten.

Zu diesem Thema finden sich weitere Einträge im Anhang.

³ Ein Grund dafür könnte sein, dass Rollstuhlfahrende aufgrund der noch nicht optimalen Transportkette und eventuell auch mangelnder Sicherung auf die Benützung des öV verzichten (müssen).

	Titel: Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr		Version, Datum: V1.0, 16/DEC/2003	
	Autor: mhm/fw	Vis.:	Seiten: 38	Seite: 12

6. Verletzungsrisiken

6.1. Eigengefährdung

Unter Eigengefährdung verstehen wir das Risiko⁴, dass eine Rollstuhl fahrende Person während einer Fahrt im öffentlichen Verkehr aufgrund von entweder im Fahrbetrieb oder kollisionsbedingt auftretenden Beschleunigungen verletzt wird. Folgende Szenarien sind zu betrachten:

- Die Person rutscht aus dem Rollstuhl und fällt zu Boden. Dabei können Verletzungen durch den Bodenanstoss oder auch durch einen Anprall an andere Strukturen des Fahrzeuges (Sitze, Haltestangen, Podestkanten) entstehen.
- Der Rollstuhl gerät ins Rutschen und prallt an ein Hindernis, z.B. Sitze, Haltestangen, Fahrzeug-Seitenwand. Dabei können Verletzungen vor allem an den unteren Extremitäten entstehen, wenn z.B. die Füße zwischen Rollstuhl und Hindernis geraten. Falls die Räder nicht mit der Handbremse gesichert sind, kann diese Situation auch durch Rollen anstatt Rutschen entstehen.
- Der Rollstuhl kippt. Wiederum können hier Verletzungen durch Anprall an Teile des Fahrzeuginnenraumes entstehen. Besonders gefährlich ist hier das Kippen nach hinten, weil die Rollstuhl fahrende Person (wie übrigens auch jede auf einem normalen Stuhl sitzende Person) nicht mit den Armen eine Verletzung z.B. des Kopfes oder der Halswirbelsäule abschirmen kann. Dies kann zu schweren Verletzungen führen.

6.2. Fremdgefährdung

Unter Fremdgefährdung verstehen wir das Risiko, dass ein in Bewegung geratener Rollstuhl auf einen der übrigen Passagiere trifft und diesen verletzt. Folgende Fälle sind denkbar:

- Ein kippender Rollstuhl fällt auf eine daneben bzw. davor/dahinter sitzende Person. Je nach Aufprallsituation können hier Prellungen/Quetschungen, Knochenbrüche etc. entstehen.
- Ein rutschender Rollstuhl prallt an eine stehende oder sitzende Person. Auch hier stehen Verletzungen der unteren Extremitäten im Vordergrund. Falls der Rollstuhl nicht mit der Bremse gesichert ist, kann diese Situation auch durch Rollen anstatt Rutschen entstehen.
- Ein Hindernis bzw. eine Haltevorrichtung (Haltestangen, Sitzlehne etc.) wird durch einen in Bewegung geratenen Rollstuhl beschädigt und verletzt indirekt (z.B. durch Splitter oder scharfe Bruchkanten) eine Drittperson.

⁴ Wir zählen hier lediglich ‚denkbare‘ Situationen auf. Dies bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit, dass eine bestimmte Situation tatsächlich eintritt, nicht berücksichtigt wird. Sowohl die Literaturstudie als auch Nachfragen bei diversen Verkehrsbetrieben haben, wie in den vorangegangenen Abschnitten erwähnt, ergeben, dass die tatsächlichen Verletzungswahrscheinlichkeiten für alle aufgezählten Situationen äusserst gering sind.

	Titel: Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr		Version, Datum: V1.0, 16/DEC/2003	
	Autor: mhm/fw	Vis.:	Seiten: 38	Seite: 13

7. Lastfälle

Unter ‚Lastfall‘ verstehen wir hier eine entweder im Normalbetrieb oder durch einen Unfall des betreffenden Verkehrsmittels auftretende, auf alle Insassen wirkende Beschleunigung. Je nach Betriebszustand bzw. Kollisionsart können Beschleunigungen in alle Richtungen wirken.

Die Annahme von sinnvollen Lastfällen ist entscheidend für die Evaluation und die Dimensionierung der Rückhaltesysteme. Im Vordergrund steht für uns das Prinzip, dass Rollstuhlfahrer und in normalen Sitzen oder im Stehen mitfahrende Passagiere ein – soweit überhaupt vergleichbar – gleich hohes Verletzungsrisiko tragen sollten. Dies bedeutet insbesondere, dass eine Kollision, bei welcher ein in einem normalen Sitz mitfahrender Passagier z.B. durch die auftretenden Beschleunigungen vom Sitz fallen oder an ein Hindernis geworfen werden könnte, auch für einen Rollstuhlfahrer das entsprechende Risiko bewirken würde. Sollte z.B. aufgrund eines solchen Szenarios eine Gurten-Tragpflicht für Rollstuhlfahrer postuliert werden, müsste die selbe Pflicht auch für die anderen Passagiere gelten; stehende Passagiere dürften nicht befördert werden, und die Sitze müssten mit Gurten ausgestattet sein.

Weil praktisch keine Unfälle mit im öffentlichen Verkehr mitfahrenden Rollstuhlfahrern bekannt sind, legen wir unseren Überlegungen nur Kollisionssituationen zu Grunde, welche erstens mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit auftreten, und welche zweitens zu keinen oder keinen schweren Verletzungen bei den beteiligten, in normalen Sitzen oder stehend mitfahrenden Passagieren geführt haben. Solche Situationen sind uns aus unserer Tätigkeit als Unfall-Rekonstrukteure durchaus bekannt, wenn sie auch (im Vergleich zu Kollisionen im Privatverkehr) selten auftreten. Selbstverständlich sind diese Überlegungen getrennt nach Verkehrsmitteln aufzustellen.

7.1. Eisenbahn

Kollisionen oder Entgleisungen treten bei Eisenbahnen äusserst selten auf, da die Eisenbahn (im Gegensatz zum Tram) immer vom Privatverkehr getrennt ist. Bei den in der näheren Vergangenheit in der Schweiz geschehenen Eisenbahn-Unfällen wurden die verletzten bzw. getöteten Personen zudem nicht durch die Einwirkung von Beschleunigungen, sondern durch Einklemmen, Einwirkung von Rauch etc. verletzt. Wir lassen deshalb Kollisionen oder Entgleisungen vorerst ausser Betracht. Kollisionen von Eisenbahnzügen gegen Strassenfahrzeuge z.B. auf unbewachten Bahnübergängen bleiben vor allem aufgrund des für die Eisenbahn extrem günstigen Massenverhältnisses (einige hundert gegenüber 1.5 Tonnen) für die Eisenbahnpassagiere praktisch ohne Einwirkung.

Es sind daher lediglich die im Betrieb auftretenden Beschleunigungen zu betrachten. Die Beschleunigung⁵ beim Anfahren ist meistens kleiner als die Verzögerung beim Bremsen. Letztere beträgt laut Auskunft der Unfalluntersuchungsstelle Bahnen und Schiffe 0.13 – 0.16 g (S-Bahn) / 0.14 g (IC) / 0.10 g (RX) / 0.05 – 0.07 g (Güterzug). Beim Befahren von Kurven auftretende Querschleunigungen sind vom Gleisaufbau (Überhöhung) und von der Bauart des Zuges (Neigezug) abhängig. Eine resultierende Querschleunigung in der Grössenordnung 0.1 g wird oft aus Komfortgründen als maximal zulässig angegeben. Eine weitere Art der Querschleunigung entsteht beim Befahren von Weichen-Kombinationen. Diese ruckartig (d.h. mit schnellem Auf- bzw. -abbau) auftretenden Beschleunigungen werden oft als unangenehm empfunden, über die Höhe der auftretenden Beschleunigung konnte aber niemand genau Auskunft geben. Letztlich dürfte aber die maximale Fahrgeschwindigkeit über eine Weiche genauso wie die maximale Kurvengeschwindigkeit dadurch begrenzt sein, dass bei zu hoher Querschleunigung entweder der Gleisstrang beschädigt wird, oder der Zug kippt bzw. entgleist; wir können daher davon ausgehen, dass auch beim Befahren von Weichen ausser in Ausnahmefällen kaum höhere Beschleunigungen als 0.2 g auftreten. Somit gehen wir davon aus, dass die Annahme einer Beschleunigung in allen Richtungen von 0.2 g einen sinnvollen Lastfall darstellt.

⁵ Die SI-Masseinheit für Beschleunigungen ist m/s^2 . Wir geben die Beschleunigungswerte im Folgenden jedoch immer in Vielfachen der Erdbeschleunigung, d.h. in g an, weil dies anschaulicher ist. Ein g entspricht $9.81 m/s^2$.

	Titel: Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr		Version, Datum: V1.0, 16/DEC/2003	
	Autor: mhm/fw	Vis.:	Seiten: 38	Seite: 14

7.2. Tram

Die Beschleunigung eines Trams bzw. Tramzuges beim Anfahren unterliegt den selben Gesetzmässigkeiten wie bei der Eisenbahn, d.h. sie ist begrenzt durch den erreichbaren Reibungskoeffizienten der Stahlräder auf den Gleissträngen. Als Richtwert kann ca. 0.1 g gelten. Anders als die Eisenbahn verfügen die meisten Trams jedoch über zusätzliche Bremsen (Magnet-Schienenbremsen), und sie können durch Abwurf von Sand die Reibung beim Bremsen und vor allem beim Anfahren vergrössern. So können Bremsverzögerungen von 0.3 bis 0.4 g erreicht werden. Diese Zahl ist jedoch für uns wenig relevant, weil wir die Situation, dass ein Tram mit einem Fahrzeug des Privatverkehrs kollidiert, mit in Betracht ziehen müssen. Im Stadtverkehr kommen solche Kollisionen nicht selten vor. Aufgrund des für das Tram günstigen Massenverhältnisses sind die bei solchen Kollisionen auftretenden Beschleunigungen und Geschwindigkeitsänderungen um Grössenordnungen tiefer als z.B. bei der Kollision zweier Automobile. Aus unseren Erfahrungen in der Unfallrekonstruktion erachten wir folgendes Szenario als realistisch⁶: Ein Tram mit Masse⁷ ca. 40 t (die Passagiere werden nicht mitgerechnet, weil sie nicht starr an die Masse des Trams gekoppelt sind) kollidiert mit einem Lieferwagen mit einer Masse von 3.5 t. Meist ergeben sich solche Kollisionen entweder wenn der PW eine Kreuzung überqueren will, oder wenn der PW über das Tramgeleise abbiegen will. Das Tram trifft den PW dann an dessen Seite, der PW bewegt sich also nicht auf das Tram zu. Bei Annahme einer Kollisionsgeschwindigkeit des Trams von 50 km/h, eines überwiegend plastischen Stosses, und einer Stosszeit von 120 ms ergibt sich für das Tram eine Geschwindigkeitsänderung (Δv) von rund 4 km/h und eine mittlere Verzögerung von rund 1.0 g. Kollisionen aus anderen Richtungen gegen Trams sind relativ selten; wenn ein PW z.B. von der Seite in ein Tram fährt, wird letzteres in den meisten Fällen durch die Kollision nicht einmal aus den Schienen gehoben. Es ergeben sich also keine eigentlichen Querbeschleunigungen, sondern lediglich Wankbewegungen. Heckkollisionen (aus Sicht des Trams) sind praktisch unbekannt. Für die Quer- und Vorwärts-Beschleunigungen sind daher die im Fahrbetrieb auftretenden Werte massgebend. Diese bewegen sich in einem ähnlichen Rahmen wie bei der Eisenbahn.

7.3. Bus im Ortsverkehr

Bei Fahrzeugen, welche Gummireifen aufweisen, können wegen den höheren Reibungskoeffizienten grundsätzlich beim Beschleunigen, beim Bremsen, und auch in der Kurvenfahrt höhere Beschleunigungen auftreten als bei Schienenfahrzeugen. Während beim Beschleunigen (ausser bei Rennautos) die Motorleistung der begrenzende Faktor ist, sind die Querbeschleunigungen und die Bremsverzögerungen durch den Haftreibungskoeffizienten des Pneus gegenüber der Strasse ausschlaggebend. Man geht normalerweise bei trockener Strasse und gutem Zustand der Pneus von einem Reibungskoeffizienten von 0.8 aus. Bei nasser Strasse reduziert sich dieser Wert entsprechend. Wiederum sind aufgrund des Unfallgeschehens nur Frontalkollisionen von Bussen gegen Privatfahrzeuge zu beachten. Es ist jedoch im Vergleich zum Tram eine deutlich niedrigere Fahrzeugmasse zu berücksichtigen. Bei Annahme einer ähnlichen Konstellation wie unter 7.2 diskutiert, jedoch unter Einsetzen einer Fahrzeugmasse von 12.5 t ergibt sich eine Geschwindigkeitsänderung von 10 km/h bei einer mittleren Verzögerung von rund 2.5 g.

Beim Anfahren muss kaum mit Beschleunigungen von mehr als 0.5 g gerechnet werden (auch bei Trolleybussen kaum höhere Beschleunigung). Die theoretisch erreichbare Querbeschleunigung von 0.8 g scheint uns ebenfalls wenig realistisch; der Bus müsste dazu eine Kurve ‚mit quietschenden Reifen‘ durchfahren, was aufgrund der Ausbildung der Chauffeure auszuschliessen ist. Sollte der Bus ein Ausweichmanöver durchführen müssen, könnte theoretisch über der Vorderachse eine Querbeschleunigung von 0.8 g entstehen⁸; an der Sitzposition des Rollstuhlfahrers in der Mitte (oder manchmal auch hinten) im Bus wird die Beschleunigung jedoch schon deutlich reduziert, weil die Hinterachse kleinere Auslenkungen durchmacht.

⁶ Grundsätzlich gehen wir hier nicht von durchaus bekannten, aber sehr seltenen Fällen aus, wie z.B. Frontalkollisionen zwischen zwei Trams.
⁷ Leergewicht Cobra-Tram ca. 40 t

⁸ Bei einer derart hohen Querbeschleunigung würden allerdings auch stehende Passagiere einem erheblichen Sturzrisiko ausgesetzt.

	Titel: Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr		Version, Datum: V1.0, 16/DEC/2003	
	Autor: mhm/fw	Vis.:	Seiten: 38	Seite: 15

Zusätzliche Beschleunigungskomponenten können entsehen, wenn der Bus eine Steigung durchfährt, oder z.B. bei Baustellen einseitig über den Randstein fährt. Bei einer Steigung von 10 % entsteht eine zusätzliche Beschleunigungskomponente in Fahrzeug-Längsrichtung von rund 0.1 g. Für eine ebenso grosse Beschleunigungskomponente in Querrichtung müsste ein 2.5 m breiter Bus einen Randstein von 25 cm Höhe einseitig überfahren.

7.4. Bus im Ausserortsverkehr

Im Ausserortsverkehr gelten aus verschiedenen Gründen andere Voraussetzungen als im Ortsverkehr. Der offensichtlichste Unterschied liegt in den ausserorts geltenden höheren Geschwindigkeitslimiten (80 km/h). Auch die denkbaren Unfallarten unterscheiden sich, in dem ausserorts die Wahrscheinlichkeit z.B. eines Abkommens von der Strasse mit Anprall an ein Hindernis sowie auch die Wahrscheinlichkeit einer Fahrzeug-Fahrzeug-Kollision mit höheren Geschwindigkeiten⁹ grösser ist. Zudem ist die im Innerorts- bzw. Nahverkehr bevorzugte Sitzposition des Rollstuhlfahrers mit Blickrichtung nach hinten, hier nicht zumutbar. Dies gilt vor allem auch auf kurvenreichen Bergstrecken.

In Zukunft werden Busse in diesem Einsatzbereich auf allen Sitzpositionen mit Gurten ausgerüstet werden müssen (Anpassung an EU-Regelungen), wobei jedoch (noch) keine Tragpflicht für die Passagiere besteht. Die Sitze und Rückhaltesysteme müssen dabei der ECE R80 entsprechen, welche unter anderem einen trapezförmigen Verzögerungspuls mit einem Niveau von 10 g (mittlere Verzögerung zwischen 6.5 und 8.5 g) bei einer Geschwindigkeitsänderung von 30 km/h vorschreibt. Auch wenn es in diesem Standard nicht explizit erwähnt ist, müssen wir doch aufgrund des eingangs erwähnten Prinzips der ‚Gleichbehandlung‘ auch für Rollstuhlfahrer die selben Lastannahmen treffen wie für die übrigen Passagiere. Weil der Einsatz von Sicherheitsgurten ohnehin vorgeschrieben ist, entfallen damit die Überlegungen zu *im Betrieb* auftretenden Quer- und Längsbeschleunigungen.

7.5. Zusammenstellung

Wir stellen in der Folge die für die verschiedenen Verkehrsmittel getroffenen Lastannahmen zusammen. Gegenüber den in den voran gegangenen Abschnitten erwähnten Werten haben wir Sicherheitsfaktoren von 1.5 bis 2 eingeführt. Nachfolgende Betrachtungen z.B. zur Festigkeit vorhandener Rückhaltevorrchtungen werden demnach nicht mehr mit weiteren Sicherheitsfaktoren beaufschlagt.

	vorwärts	rückwärts	quer
Eisenbahn	0.3 g	0.3 g	0.3 g
Tram	1.5 g für 120 ms, nachher 0.5 g	0.5 g	0.5 g
Bus im Ortsverkehr	3.3 g für 120 ms, nachher 0.8 g	0.5 g	0.5 g
Bus Ausserorts	8.5 g für 100 ms, nachher 0.8 g	-	-

Tabelle 2: Zusammenstellung der angenommenen Fahrzeugbelastungen, inklusive Sicherheitsfaktoren

Bei Belastung in Fahrzeugrichtung nach vorn muss der Rollstuhl durch eine Abstützung gesichert sein, d.h. er darf nicht unter dem Fahrer weg nach vorn rutschen. Dies aus Gründen der Eigen- sowie der Fremdgefährdung. Die Abstützung muss zunächst die bei der Frontalkollision auftretenden Belastungen bei vorschriftsmässig positioniertem Rollstuhl aushalten. Eine Deformation der Abstützung von ca. 10 - 20 cm ist zulässig, es darf aber kein Bruch oder ein Ausreissen der Verankerung o.ä. auftreten.

Im Kollisionsfall beim Bus bedeutet dies, dass ein mit Fahrer ca. 250 kg schwerer Elektro-Rollstuhl bei einer Verzögerung von 3.3 g insgesamt eine Kraft von rund 8 kN, entsprechend einer Gewichtskraft von 800 kg, auf die Abstützung ausübt.

⁹ Auch hier sind jedoch die tatsächlichen Unfallzahlen bei Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrs sehr klein.

	Titel: Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr		Version, Datum: V1.0, 16/DEC/2003	
	Autor: mhm/fw	Vis.:	Seiten: 38	Seite: 16

Falls ein Rollstuhl ungünstig positioniert ist, und während der Kollision ins Rutschen gerät, wird nicht die oben angegebene Kraft, sondern die Anprallgeschwindigkeit des Rollstuhles an die Abstützung entscheidend; diese würde bereits bei einer Rutschstrecke von 20 – 30 cm im Extremfall rund 10 km/h betragen¹⁰. Falls die Abstützung nun ohne wesentliche Deformation die Abbremsung aus dieser Geschwindigkeit aushalten müsste, würden am Rollstuhl (sehr kurzzeitig) sehr hohe Verzögerungen auftreten, was wiederum zu hohen Kräften an der Abstützung führen würde. Besser ist es in diesem Falle, eine gewisse Deformation zuzulassen, und die kinetische Energie des Rollstuhles durch Deformation z.B. einer Stange zu absorbieren. Bei einer zugelassenen Deformation von 20 – 30 cm würden sich die Lasten wieder in der Größenordnung 6 – 8 kN bewegen.

8. Stabilitätsbetrachtungen

In einem nächsten Schritt können nun die verschiedenen möglichen Arten der Instabilität, welche unter den oben genannten Lastfällen denkbar sind, näher beleuchtet werden. Dabei sind grundsätzliche Unterschiede zwischen Elektro- und Handrollstuhl zu beachten. Wir gehen dabei immer davon aus, dass die Radbremsen des Rollstuhles angezogen sind. Im Falle des Elektro-Rollstuhles sind die angetriebenen Räder durch das Getriebe blockiert. Weiter nehmen wir an, dass der Rollstuhlfahrer in der Lage ist, sich auf dem Rollstuhl festzuhalten, so lange die Belastungen nicht so hoch werden, dass sich auch ein in einem normalen Sitz mitfahrender, nicht angeschnallter Passagier nicht mehr festhalten könnte.

Es ist uns bewusst, dass diese Annahme bei weitem nicht für alle Rollstuhlfahrer gilt. Wir empfehlen den eher passiven Rollstuhlfahrern, einerseits Rollstühle mit geeigneter Geometrie (z.B. Armlehnen etc.) zu wählen. Andererseits könnte eine Sicherung des Fahrers an den Stuhl, z.B. mit Beckengurt oder, bei erhöhter Passivität, auch mit Brustgurt, einen Sturz vom Rollstuhl nicht nur bei den hier diskutierten Lastfällen, sondern auch in anderen kritischen Fällen im Alltag verhindern.

8.1. Handrollstuhl

Der Schwerpunkt des Handrollstuhles wird hauptsächlich durch den Körperschwerpunkt des Fahrers gegeben, da die Masse des Rollstuhles (10 – 20 kg) im Vergleich zu derjenigen des Fahrers klein ist. Das Gewicht eines 50-perzentilen Menschen beträgt ca. 78 kg (z.B. bei Dummies wie sie bei Fahrzeug-Crashtests verwendet werden) und der Schwerpunkt eines stehenden Menschen ist bei ca. 55 % der Körperhöhe, also etwa 5 – 10 cm unterhalb des Bauchnabels, anzusetzen. Beim sitzenden Menschen liegt der Schwerpunkt etwas höher (ca. Bauchnabel), weil die angewinkelten Beine weniger Drehmoment auf den Schwerpunkt bewirken können. Berücksichtigt man ausserdem die Tatsache, dass gehbehinderte Menschen oft ein vermindertes Gewicht der Beinmuskulatur aufweisen, dafür aber äusserst kräftige Arm- und Rückenmuskeln besitzen, so kommt man auf eine Schwerpunktslage einige cm höher als der Bauchnabel, ca. 30 cm über der Sitzfläche.

Um die Kippstabilität zu betrachten, müssen wir zuerst (unter der Annahme, dass sich der Rollstuhlfahrer auf dem Rollstuhl nicht stark bewegt) die Schwerpunkte des Rollstuhls und des Fahrers kombinieren, um den Schwerpunkt des Gesamtsystems zu erhalten. Der auf diesen Gesamtschwerpunkt wirkende, aus Erdbeschleunigung und Lastfall resultierende Beschleunigungsvektor darf nun die Standfläche des Rollstuhles nicht ausserhalb der durch die Räder aufgespannten Fläche durchstossen, sonst kippt der Rollstuhl.

Die kritischen Beschleunigungen, d.h. die Beschleunigungen, welche z.B. durch Bremsen des Fahrzeuges entstehen dürfen, damit der Rollstuhl gerade noch nicht kippt, sind in Bild 1 dargestellt. Es ist auch aus dieser nicht ganz massstäblichen Skizze sofort ersichtlich, dass ein Kippen nach hinten schon bei viel kleinerer Beschleunigung (a_x1) erfolgt als ein Kippen nach vorn (a_x2). Im gezeigten Bild würde der Rollstuhl ca. bei einer Beschleunigung von 0.2 g nach hinten kippen, nach vorne könnten ca. 0.5 g wirken, ohne dass der Rollstuhl kippt. Zur Seite betragen die entsprechenden Werte, abhängig von der

¹⁰ Höhere Geschwindigkeiten werden nicht erreicht, weil beim angenommenen Lastfall der delta-v-Wert (Cf. 7.3) nicht höher liegt.

	Titel:	Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr	Version, Datum:	V1.0, 16/DEC/2003		
	Autor:	mhm/fw	Vis.:	Seiten:	38	Seite:

Spurbreite, ebenfalls ca. 0.4 bis 0.5 g. Nach Auskunft u.a. eines Rollstuhl-Händlers wird die Schwerpunktslage des Gesamtsystems Fahrer-Rollstuhl individuell an den Aktivitätsgrad angepasst. Ein aktiver Rollstuhlfahrer wird den Schwerpunkt möglichst nach hinten legen, um z.B. den Rollstuhl leicht nach hinten ankippen zu können. So können niedrige Stufen etc. leichter überwunden werden, und der Rollstuhl ist auf Fahrwegen mit Querneigung leichter in der Spur zu halten. Liegt der Schwerpunkt zu weit vorn, wird der Rollstuhl immer gegen die tiefer liegende Seite des Weges ausbrechen.

Die kritische Beschleunigung nach hinten ist somit individuell sehr verschieden und kann Werte nahe bei Null annehmen. Allerdings werden derart ‚spitz‘ eingestellte Rollstühle von aktiven Fahrern benutzt, welche über eine trainierte Muskulatur und Reflexe verfügen, so dass sie ein Kippen nach hinten im Fahrzeug durch Festhalten an Haltestangen oder durch Bewegen der Räder auch besser auffangen können.

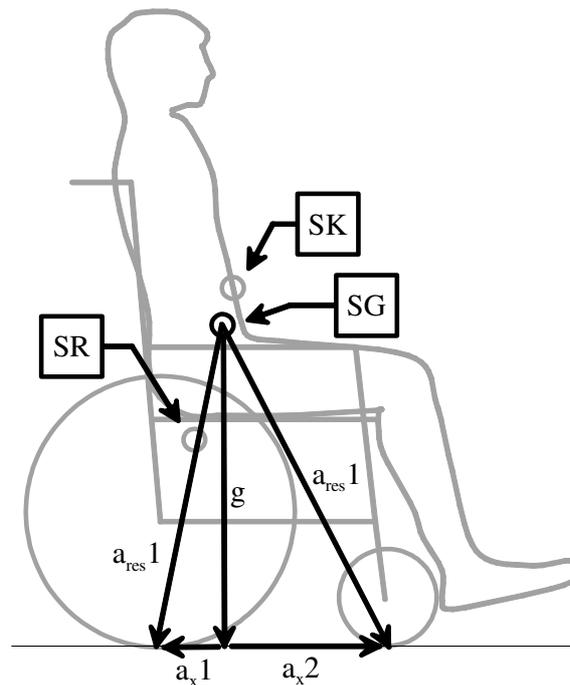


Bild 1: Schwerpunkte und Kippkriterien Handrollstuhl. SK: Schwerpunkt des Fahrers, SR: Schwerpunkt des Rollstuhles, SG: Gesamtschwerpunkt, g: Erdbeschleunigung, a_{res1} : resultierende Beschleunigung bei einer kritischen Beschleunigung a_{x1} nach hinten, a_{res2} : resultierende Beschleunigung bei einer kritischen Beschleunigung a_{x2} nach vorne.

Auch wenn die Kippkriterien nicht erfüllt sind, kann der Rollstuhl bei Auftreten einer Horizontalbeschleunigung immer noch ins Rutschen geraten. Dies ist dann der Fall, wenn die Beschleunigung eine Kraft auf das Gesamtsystem bewirkt, welche höher ist als der Reibungskoeffizient des Rades auf dem Boden multipliziert mit der Gesamtmasse. Fahrzeug-Pneus auf trockenen Asphaltstrassen können Reibungskoeffizienten (hier ist die Haftreibung relevant) von 0.8 und höher erreichen. Auf den Kunststoff-Bodenbelägen in Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrs und mit den gegebenen Rollstuhl-Pneus, welche aus verschiedenen Gründen nicht die selbe hohe Haftung wie Autopneus erreichen können, ist mit einem deutlich niedrigeren Haftreibungskoeffizienten in der Größenordnung 0.4 bis 0.5, bei nassem Bodenbelag noch tiefer, zu rechnen. Die Reibungskraft an einem Rad wird berechnet, in dem man den Reibungskoeffizienten mit der senkrecht zum Boden auf dieses Rad wirkenden (Gewichts-)kraft multipliziert. Bei vier starren, blockierten Rädern bleibt so die Gesamtkraft auch bei Gewichtsverlagerung erhalten. Die vorderen, kleinen Räder des Handrollstuhls sind jedoch nicht blockiert und können sich ausserdem frei drehen. Wenn nun eine Beschleunigung nach vorn wirkt, werden die Haupträder entlastet und die ungebremsten Vorderräder umso stärker belastet. Die Gesamt-Reibungskraft nimmt also, im Gegensatz z.B. zum Automobil, bei dieser Beschleunigungsrichtung ab. Dadurch beginnt der Rollstuhl nach vorn viel leichter zu rutschen als z.B. nach hinten. Wenn die Beschleunigung seitwärts z.B. nach links wirkt, wird durch den selben Effekt das linke Rad verstärkt

	Titel: Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr	Version, Datum: V1.0, 16/DEC/2003	
	Autor: mhm/fw	Vis.:	Seiten: 38

belastet, während das rechte Rad entlastet wird. Weil der Schwerpunkt des Gesamtsystems vor der Hinterachse liegt, kann dies dazu führen, dass der Rollstuhl nur noch z.B. auf dem linken Rad eine relevante Reibungskraft aufbaut. Um diesen einen Lagerpunkt wird sich der Rollstuhl dann (wegen der freilaufenden Vorderräder) in Richtung der seitlichen Beschleunigung drehen. Sobald die Drehung 90° erreicht hat, werden wieder beide Räder gleich viel Reibung aufbauen können. Wenn nun die (vorher seitlich, nun nach vorn wirkende) Beschleunigung immer noch anhält, gerät der Rollstuhl mit Wahrscheinlichkeit nach vorn ins Rutschen.

Der Rollstuhl wird demnach bei überkritischen Beschleunigungen:

- Nach hinten sicher kippen und nicht rutschen.
- Zur Seite eher kippen, eventuell bei nassem Belag auch rutschen. Wahrscheinlich mit überlagerter Drehbewegung.
- Nach vorn eher rutschen.

8.2. Elektro-Rollstuhl

Elektro-Rollstühle sind in vielen verschiedenen Bauformen erhältlich. Einerseits müssen die Sitz-Aufbauten an den Aktivitätsgrad des Fahrers angepasst werden, andererseits wird aber auch der Antrieb selber auf verschiedene Arten realisiert: Vierrädrige Rollstühle sind mit Vorder- und Hinterachs-antrieb möglich, wobei die Räder der nicht angetriebenen Achsen jeweils frei drehbar sind; neuere Bauformen weisen sechs Räder auf, hinten und vorn jeweils zwei frei drehbare, kleinere Räder, und in der Mitte unter dem Lateralpunkt eine angetriebene Zentralachse. Gelenkt werden die Rollstühle meist durch einen unterschiedlichen Antrieb der beiden Räder der angetriebenen Achse. Schliesslich gibt es noch die Zusatz-Antriebe für Handrollstühle, welche entweder an den Haupträdern angreifen, oder aber als separate Zugmaschine an den Rollstuhl angekoppelt werden (Swisstrac).



Bild 2: Zentral-, Hinterachs-, und Vorderachs-angetriebene Rollstühle. (Bild: www.invacare.de). Die Rädergrößen können je nach Modell variieren.

Die in Bild 2 gezeigten Elektro-Rollstühle weisen trotz der baulichen Unterschiede einige wichtige Gemeinsamkeiten auf: Die Batterien, der Motor und das Getriebe bilden die mit Abstand schwersten Komponenten des Rollstuhles. Sie sind immer relativ tief, zwischen den angetriebenen Rädern angebracht. Das Gewicht des Rollstuhles liegt jeweils bei ca. 100 – 150 kg, wovon der grösste Teil durch die erwähnten Antriebskomponenten aufgebracht wird. Die angetriebenen Räder sind, ebenfalls wegen des hohen Gewichtes, breiter und im Durchmesser kleiner. Die nicht angetriebenen Räder sind ähnlich wie bei Handrollstühlen ausgeführt, zum Teil auch in Breite und Durchmesser an die angetriebenen Räder angepasst (dies dürfte eine Frage der Gewichtsverteilung sein). Durch die viel tiefere Schwerpunktslage der Elektro-Rollstühle ist, auch bei gleicher Standfläche, die Kippstabilität viel höher als bei Handrollstühlen.

	Titel: Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr		Version, Datum: V1.0, 16/DEC/2003	
	Autor: mhm/fw	Vis.:	Seiten: 38	Seite: 19



Bild 3: Zusatzantrieb ‚Swisstrac‘ (Bild: www.swisstrac.ch)

Der ‚Swisstrac‘ oder ähnliche Antriebe sind in punkto Stabilität gesondert zu betrachten. Bei Beschleunigungen von vorn oder von hinten verhält sich die oben gezeigte Anordnung wie z.B. ein Fahrzeug mit Anhänger. Weil die Reibungskräfte der Pneus am Zugfahrzeug und am Anhänger nicht gleich hoch sind, kann und wird das Gespann ‚zusammenklappen‘, d.h. die Kupplung bewegt sich quer zur Fahrtrichtung nach aussen, Zugfahrzeug und Anhänger drehen sich gegensinnig und bewegen sich mit den Seiten aufeinander zu. Wir empfehlen aus diesem Grund, das Zugfahrzeug bei längeren Fahrten abzukoppeln und neben dem Rollstuhl zu positionieren; allerdings erfordert dies einen gewissen Aufwand und kann andere Passagiere stören. Eine suboptimale Variante für kürzere Fahrten ist allenfalls auch die vorwärts gerichtete Position des Rollstuhles mit Kontakt des Zugfahrzeuges an der Abstütvorrichtung; bei geringen Verzögerungen kann sich der Rollstuhlfahrer an der Lenkstange abstützen.

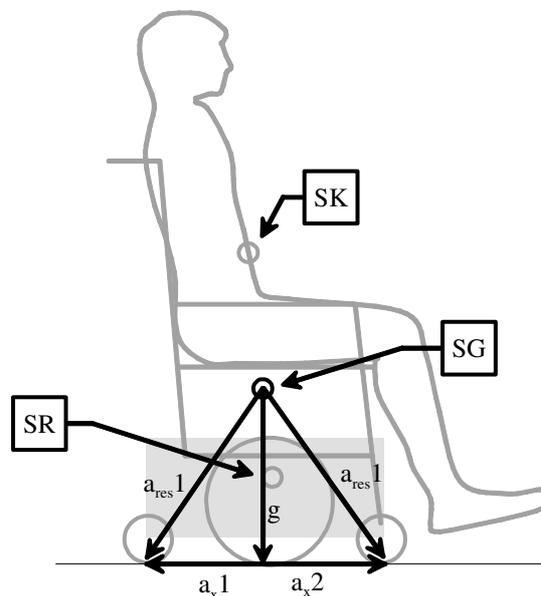


Bild 4: Schwerpunkte und Kippkriterien Elektro-Rollstuhl. Bezeichnungen wie oben im Bild 1.

Wie aus Bild 4 ersichtlich ist, sind die kritischen Beschleunigungen in Vorwärts- und Rückwärtsrichtung deutlich höher als bei Handrollstühlen. Je nach Gewicht des Fahrers sind Werte von 0.7 bis nahe an 1 g zu erwarten. Nach vorne und nach hinten spielt beim hier gezeigten sechsrädrigen Fahrzeug der selbe Mechanismus wie beim Handrollstuhl: die ungebremsten, kleinen Räder werden mit zunehmender Beschleunigung stärker belastet, die gebremsten Räder werden entlastet und erzeugen somit weniger Reibungskraft. Dadurch gerät der Rollstuhl nach vorne und nach hinten ins Rutschen. Beim Hinterachsenantrieb wäre ein Rutschen nur nach vorn, beim Vorderachsenantrieb nur nach hinten zu

	Titel: Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr		Version, Datum: V1.0, 16/DEC/2003	
	Autor: mhm/fw	Vis.:	Seiten: 38	Seite: 20

erwarten. Die beim Handrollstuhl erwähnte überlagerte Rotation bei seitlichen Beschleunigungen dürfte auch hier auftreten. Die Lage der Antriebsachse in der Mitte, unterhalb des Gesamtschwerpunktes, lässt allerdings nur geringe Rotationen erwarten; anders beim Vorder- oder Hinterachsenantrieb. Bei diesen Antriebsarten ist, aufgrund der relativ grossen Distanz in Längsrichtung zwischen dem Schwerpunkt und dem angetriebenen Rad, mit einer höheren Rotation zu rechnen.

Der Elektro-Rollstuhl wird:

- Nach hinten eher rutschen, nur in Ausnahmefällen kippen¹¹.
- Zur Seite eher rutschen. Wahrscheinlich mit je nach Bauart stärkerer oder schwächerer überlagerter Drehbewegung.
- Nach vorn eher rutschen.

¹¹ Der Elektrorollstuhl mit Hinterradantrieb (Bild 2 Mitte) weist einen nahe der Hinterachse liegenden Schwerpunkt auf. Bei dieser Bauart ist ein Kippen nach hinten durchaus denkbar.

	Titel: Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr		Version, Datum: V1.0, 16/DEC/2003	
	Autor: mhm/fw	Vis.:	Seiten: 38	Seite: 21

9. Versuchsfahrten

9.1. Versuchsaufbau

Die Überlegungen in Kapitel 7 haben ergeben, dass (ausser beim separat betrachteten Überlandbus) die zu erwartenden Beschleunigungen in horizontaler Richtung beim Bus am grössten sind, gefolgt von Tram und schliesslich Eisenbahn. Im voran gegangenen Abschnitt haben wir dargelegt, dass die kritischen Beschleunigungen für einen Handrollstuhl, wegen der höheren Gesamt-Schwerpunktslage, niedriger sind als beim Elektro-Rollstuhl. Um die bis anhin rein theoretischen Überlegungen besser abzustützen, haben wir eine Versuchsfahrt mit einem VBZ-Bus unternommen. Dabei stand vor allem die Stabilität eines ungesicherten Rollstuhles bei heftigen Fahrmanövern im Vordergrund. Die VBZ stellte uns hierfür freundlicherweise einen neueren Neoplan-Bus mit Chauffeur zur Verfügung. Die Versuche konnten auf dem Gelände der VBZ-Werkstätten in Zürich-Altstetten durchgeführt werden. Dort ist eine ca. 200 m lange, ebene und gerade Strecke z.B. für Bremstests abgegrenzt. Am einen Ende der Strecke befindet sich ein enger Wendekreis (Aussendurchmesser ca. 30 m).

Die Fa. Hoga Roll, Kilchberg, stellte zwei Rollstühle zur Verfügung, ein leichtes Modell mit eher hinten (nahe der Achse) liegendem Lateralpunkt (Modell A), und ein zweites etwas (gegen hinten) kippstabileres Modell (B).

Ein Hybrid II Dummy, wie er z.B. für Tests in der Automobilindustrie verwendet wird, wurde in den zu prüfenden Rollstuhl gesetzt. Dieser Dummy ist zwar etwas veraltet (gegenwärtig wird in Crashtests vor allem das Nachfolgemodell Hybrid III verwendet), genügt aber für unsere Ansprüche völlig. Der Dummy weist eine Körpergrösse von 1.75 m bei einem Gewicht von 78 kg auf, entspricht also ungefähr dem fünfzigsten Perzentil der Bevölkerung. Es kann hier eingewandt werden, dass der Dummy relativ steif auf dem Rollstuhl sass und nicht, wie z.B. ein weniger aktiver Rollstuhlfahrer, mit dem Oberkörper zur Seite kippt. Andererseits wurden aber auch keine Reaktionen wie Gewichtsverlagerungen oder Festhalten simuliert. Unserer Meinung nach gleichen sich die beiden Effekte mehr oder weniger aus, so dass die Versuche durchaus realistisch sind.

Es wurden insgesamt 11 Versuche durchgeführt, die Manöver bestanden aus Vollbremsungen, Ausweichmanövern links-rechts-links mit anschliessender Vollbremsung, und schneller Kurvenfahrt im erwähnten Wendekreis. Nach Auskunft des Chauffeurs seien die gefahrenen Manöver im täglichen Betrieb sehr selten. Bei den Vollbremsungen und Ausweichmanövern wären zudem auch stehende Passagiere gefährdet gewesen bzw. gestürzt.

Bei den jeweils vor den eigentlichen Versuchen gefahrenen Wende-, Beschleunigungs- und Bremsmanövern, welche dazu dienten, die Ausgangsposition für den Versuch zu erreichen, hat sich nie eine Bewegung des Rollstuhles ergeben. Diese Manöver wurden relativ zügig, aber im normalen Fahrstil durchgeführt.

Die Dokumentation der Versuche erfolgte mit Hilfe einer normalen Video-Kamera sowie fotografisch. Der Dummy wurde, um Schäden am Fahrzeug zu vermeiden, jeweils mit einem Seil, welches am Kopf des Dummys und z.B. an einer Haltestange befestigt wurde, gesichert. Das Seil wies jeweils einen Durchhang von ca. 1 m auf, so dass die Bewegung des Rollstuhles und des Dummys erst nach Zurücklegen dieser Distanz durch die Sicherung beeinflusst wurde.

Die Handbremsen an den Rollstühlen wurden vor Versuchsbeginn angezogen. Die Räder von Rollstuhl A wurden dadurch vollständig blockiert, während beim Modell B bei hoher Krafteinwirkung ein Drehen der Räder noch möglich war. Eventuell müssten die Bremsen nachjustiert werden, oder der Pneudruck war etwas zu tief.

Die Rollstühle wurden in verschiedenen Stellungen auf der so genannten Sondernutzungsfläche im Bus positioniert. Diese befindet sich gegenüber der mittleren Einstiegstür auf der linken Fahrzeugseite. An der Seitenwand ist eine Haltestange angebracht. Die Fläche wird gegen hinten durch eine Zweier-Sitzbank, nach vorne durch eine teilweise gepolsterte Wand mit zwei (nach oben geklappten) Klappsitzen

	Titel:	Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr	Version, Datum:	V1.0, 16/DEC/2003		
	Autor:	mhm/fw	Vis.:		Seiten:	38 Seite: 22

begrenzt. Oberhalb der Polsterung, welche als Rückenlehne für die Klappsitz-Passagiere dient, ist eine Querstange angebracht. Diese Stange ist ungepolstert.



Bild 5: Versuchsaufbau (vor Versuch 4). Die Querstange oberhalb der Klappsitz-Lehne ist ungepolstert. Unterhalb der Klappsitze ist keine Haltevorrichtung montiert.

9.2. Durchgeführte Versuche

1. Vollbremsung. Modell A in optimaler Position. Blick nach hinten¹², Rollstuhl nahe an Seitenwand und Wand mit Klappsitzen, Radbremsen angezogen. Vollbremsung aus 30 km/h.
 - Stuhl kippt leicht nach hinten, keine Sturzgefahr.
 - Dummy schlägt Kopf an ungepolsteter Querstange an. Anprall nicht sehr heftig.
 - Keine Fremdgefährdung.
2. wie 1., aber Rollstuhl etwa 20 cm nach hinten verschoben. Vollbremsung aus 30 km/h.



Bild 6: Anfangs- und Endposition, dazwischen Kopfanprall bei Versuch 2

- Stuhl kippt etwas mehr nach hinten. Immer noch keine Sturzgefahr.
- Bei noch ca. 20 – 30 cm mehr Distanz zur Klappsitz-Wand (d.h. total ca. 50 cm) würde der Rollstuhl nach hinten kippen.

¹² Richtungen sind immer auf Fahrtrichtung Bus bezogen

	Titel: Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr	Version, Datum: V1.0, 16/DEC/2003
	Autor: mhm/fw	Vis.:

- Wieder Kopfanprall an Querstange, dieses Mal deutlich heftiger.
 - Keine Fremdgefährdung
3. Sitzposition quer zur Fahrtrichtung, Rücken zur linken Seitenwand. Rollstuhl anliegend an Klappsitze. Vollbremsung aus 30 km/h.
 - Rollstuhl bewegt sich praktisch nicht.
 - Kein Anprall von Körperteilen etc.
 - Keine Fremdgefährdung.
 4. Wie 3., aber Rollstuhl etwa 20 cm nach hinten verschoben. Vollbremsung aus 30 km/h.
 - Der Rollstuhl kippt leicht nach links (aus Sicht des Rollstuhlfahrers) und dreht sich dann mit dem Vorderteil auf die Klappsitze zu. Endlage schräg vor den Sitzen.
 - Dummy bleibt im Stuhl sitzen, verrutscht aber.
 - Anprall von Knien und Füßen an die Klappsitze, Anprall mit Schultern an gepolsterte Fläche oberhalb der Sitze, wieder Kopfanprall an Querstange.
 - Keine Fremdgefährdung.
 5. Wie 4., aber Rollstuhl ca. 20 cm von Seitenwand weg verschoben. Ausweichmanöver: zuerst Links-, dann Rechts-, und wieder Linkskurve, gleichzeitig Vollbremsung. Zu Beginn des Manövers 30 km/h



Bild 7: oben: Ausgangsposition, leichtes Rutschen nach vorn (aus Sicht des Rollstuhlfahrers), Kippen nach hinten mit Kopfanprall. Unten: nach Zurückkippen Rutschen nach vorn. Gewichtsverlagerung auf linkes Rad, rechtes Rad hebt ab, Rotation um Auflagepunkt des linken Rades, Sturz in Sitzbänke.

- Bei der Linkskurve leichtes Wackeln, rutscht 10 cm nach rechts. Bei Rechtskurve Kippen nach links (nach hinten aus Sicht des Rollstuhlfahrers), Anprall an linker Seitenwand. Gleichzeitig mit dem Zurück-Kippen Linkskurve, starkes Rutschen nach rechts und gleichzeitig (wegen Bremsung) Drehung nach vorn. Der Rollstuhl bewegt sich im Mittelgang nach vorn, der Dummy fällt vornüber und nach links zwischen zwei Sitzbänke.
- Dummy fällt vom Rollstuhl, (zufällig) kein Anprall an Teile des Fahrzeuginnenraums.
- Fremdgefährdung von im Mittelgang stehenden und auf den Sitzbänken sitzenden Passagieren. Anprall von Rollstuhlteilen, aber auch Kollision Rollstuhlfahrer-übriger Passagier möglich.

	Titel: Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr	Version, Datum: V1.0, 16/DEC/2003	
	Autor: mhm/fw	Vis.:	Seiten: 38

6. Position wie 2 (Blickrichtung Rollstuhlfahrer nach hinten). Ausweichmanöver wie 5.
 - Leichtes Wackeln und Drehen des Rollstuhles. Bei Bremsung Kippen nach hinten.
 - Kopfanprall an Querstange wie 2.
 - Keine Fremdgefährdung.
7. Position wie 6. Befahren eines Wendekreises im Gegenuhrzeigersinn (Linkskurve) mit hoher Geschwindigkeit (beim Einfahren ca. 30 km/h).
 - Rollstuhl neigt zuerst sich etwas zu seiner linken Seite. Dann beginnt er sich zu seiner linken Seite abzdrehen. Sein rechtes Rad wird vom Boden abgehoben, er dreht sich über sein linkes Rad ca. 90° und bewegt sich auf die Haltestange neben der Eingangstür zu.
 - Heftiger Anprall mit dem rechten Knie an die Haltestange.
 - Fremdgefährdung von im Eingangsbereich stehenden Passagieren, durch Kollision Rollstuhl-Passagier.
8. Rollstuhl B, Position wie 1. Manöver wie 7.

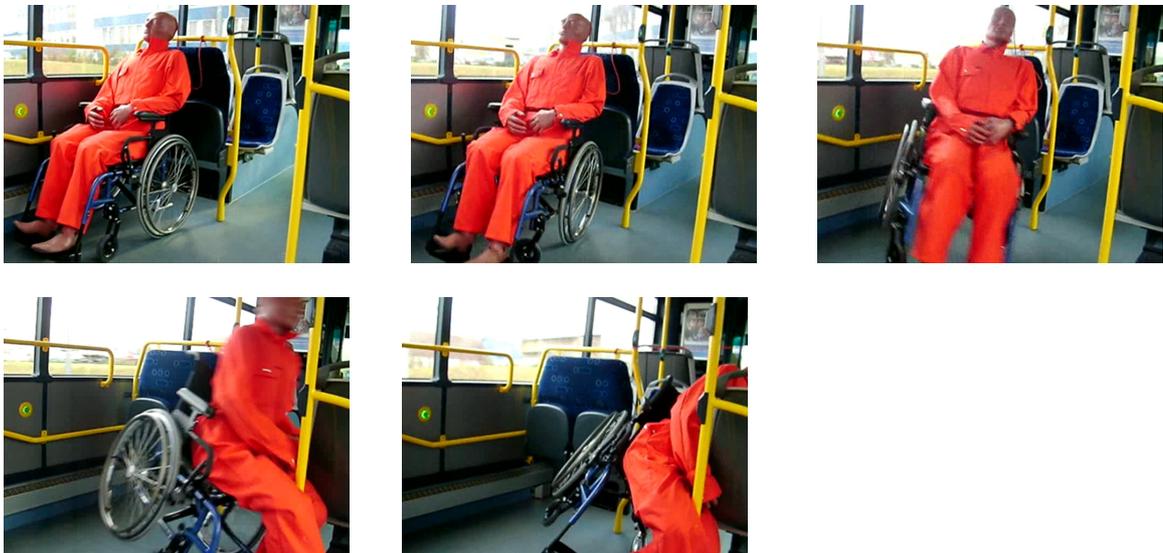


Bild 8: oben: Ausgangsposition, Gewichtsverlagerung auf das linke Rad (aus Sicht des Rollstuhlfahrers), Drehung. Unten: Rutschen, Kollision mit Haltestange und Sturz auf Sitzbank

- Gleicher Bewegungsablauf wie 7, obwohl der Rollstuhl an den Klappsitzen ansteht. Früheres Abdrehen als bei 7, höhere Anprallgeschwindigkeit an die Haltestange als mit Rollstuhl A.
 - Haltestange gerät zwischen die Beine, Anprall mit dem linken Knie an die vorne befindliche Sitzbank. Dummy fällt aus dem Rollstuhl auf die Sitzbank.
 - Fremdgefährdung von stehenden und sitzenden Passagieren.
9. Rollstuhl B, Position wie 1, Manöver wie 1.
 - Gleicher Bewegungsablauf wie 1.
 - Kopfanprall wie 1.

	Titel: Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr	Version, Datum: V1.0, 16/DEC/2003	
	Autor: mhm/fw	Vis.:	Seiten: 38

10. Rollstuhl B, Position in Fahrtrichtung vor der am hinteren Ende des Eingangsbereiches befindlichen Sitzreihe. Vollbremsung wie 1.



Bild 9: links Ausgangsposition, rechts Rollstuhl in Bewegung nach Vollbremsung. Die Räder drehen sich. Der Dummy behält seine Position auf dem Rollstuhl bei.

- Rollstuhl beginnt nach vorn zu rollen (Bremsen blockieren die Räder nicht vollständig).
 - Starker Anprall an die Klappsitze mit den Unterschenkeln.
 - Durch die Sicherung mit dem Seil am Kopf des Dummys entstand ein im Realfall wohl so nicht auftretendes Kippen nach hinten. Deswegen sind die Anprallstellen nicht realistisch.
 - Fremdgefährdung von stehenden Passagieren.
11. Rollstuhl B, Position in der Mitte des Eingangsbereiches, Blickrichtung nach vorn. Manöver: Anfahren mit maximaler Beschleunigung.
- Rollstuhl beginnt sofort langsam nach hinten zu kippen. Die Kippbewegung konnte durch Abstützen des Kopfes mit einer Hand problemlos gestoppt werden.
 - Freies Kippen nach hinten hätte zu heftigem Kopfanprall am Boden oder an der hinten befindlichen Sitzbank geführt. Wir haben das Kippen abgefangen, um Schäden am Bus und am Dummy zu vermeiden.
 - Eher geringe Fremdgefährdung (auch eine sitzende Person könnte mit wenig Kraft den Rollstuhl am Kippen hindern).

9.3. Resultate

- Kippen nach hinten kann sehr schnell passieren. Diese Bewegung muss unbedingt verhindert werden. Der Rollstuhlfahrer muss in jedem Fall möglichst nahe rückwärts an eine Wand oder an eine Rückenlehne fahren.
- Leichtes Neigen nach einer Seite führt effektiv, wegen der frei drehenden Vorderräder, zu einer 1-Punkt-Auflage. Je nach Lateralpunkt dreht der Rollstuhl schneller oder langsamer zur Seite ab. Dieses Kipp-Drehen kann auch in der vorgeschriebenen Idealposition (Blick rückwärts, in der Ecke Seitenwand-Klappsitze) bei einem Ausweichmanöver oder bei zu schnell gefahrenen Linkskurven vorkommen. Ein aktiver Rollstuhlfahrer könnte diese Bewegung ohne weiteres durch Festhalten an der seitlichen, längs montierten Haltestange verhindern.
- Bei unseren Versuchen, ohne simuliertes ‚Festhalten‘, hätte eine Sitzposition quer zur Fahrtrichtung, linke Rollstuhlseite an den Klappsitzen und mit dem Rücken an der Seitenwand anliegend, zu den geringsten Bewegungen ohne signifikante Eigen- oder Fremdgefährdung geführt.

	Titel: Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr		Version, Datum: V1.0, 16/DEC/2003	
	Autor: mhm/fw	Vis.:	Seiten: 38	Seite: 26

- Die Position hinten am Eingangsbereich, mit Blick nach vorn, ist sehr gefährlich und sollte nicht zugelassen werden. Eigen- und Fremdgefährdung.
- Durch eine Sicherung z.B. mit einem Gewebiband hätten in unseren Versuchen sämtliche Gefährdungen vermieden werden können. Eine Reisslast von ca. 1kN (entsprechend 100 kg) würde völlig ausreichen. Das Band könnte z.B. die Armlehne des Rollstuhles mit einer Haltestange verbinden. Denkbar wären sogar Systeme mit Klettverschlüssen (nur mit Umlenk-Schnalle).

	Titel: Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr		Version, Datum: V1.0, 16/DEC/2003	
	Autor: mhm/fw	Vis.:	Seiten: 38	Seite: 27

10. Anforderungen, bezogen auf Verkehrsmittel

Wir können nun aus den angenommenen Lastfällen, den Stabilitätsbetrachtungen und den zu deren Validierung durchgeführten Versuchen die Anforderungen an die Sicherheitssysteme in den verschiedenen Verkehrsmitteln zusammen stellen.

10.1. Eisenbahn

Die anzunehmenden Lastfälle sind bei der Eisenbahn derart gering, dass eine Instabilität eines Hand- oder auch Elektro-Rollstuhles in Vorwärts- oder Seitwärtsrichtung nicht zu erwarten ist. Bei einem Handrollstuhl mit relativ weit hinten eingestelltem Lateralpunkt, oder in Extremfällen auch bei einem Elektro-Rollstuhl mit über der Hinterachse angeordneter Antriebseinheit, ist ein Kippen nach hinten allenfalls möglich, z.B. wenn der Rollstuhl quer zur Fahrtrichtung steht und die Bahn eine Weiche eher schnell befährt, oder bei Positionierung in oder entgegen der Fahrtrichtung bei Verzögerung oder Beschleunigung, wobei letzteres nur bei sehr instabil eingestellten Rollstühlen denkbar ist. Um ein Kippen nach hinten zu vermeiden, muss der Rollstuhlfahrer immer mit dem Rücken gegen eine Wand oder z.B. die Rückenlehne eines Sitzes abgestützt sein.

Ein aktiver Rollstuhlfahrer im Handrollstuhl könnte das Kippen auch durch Festhalten an einer Haltestange oder an einem Griff verhindern. Entsprechende Rollstuhlplätze, d.h. Plätze bei denen der Rollstuhlfahrer nicht mit dem Rücken gegen eine Wand sitzen kann, welche aber Haltevorrichtungen besitzen, müssten aber entsprechend gekennzeichnet sein.

Weitere Rückhaltevorrichtungen, z.B. Gurten, erachten wir als nicht prioritär.

Besondere Fälle im Glacier- oder Berninaexpress der RhB, wo erstens die Positionierung des Rollstuhlfahrers an einem Tischchen nicht optimal ist und zweitens eine allfällige Blockade des Zahnrades zu einer sehr hohen Verzögerung führen könnte, müssten im Detail studiert werden.

10.2. Tram

Die im Betrieb, einschliesslich Notmanöver, zu erwartenden Lastfälle bewegen sich in ähnlichen Grössenordnungen wie bei der Eisenbahn und sind ebenso dadurch lösbar, dass sich der Rollstuhlfahrer immer mit dem Rücken gegen eine Wand o.ä. abstützt. Falls das Tram jedoch mit einem PW oder Lieferwagen kollidiert, sind nur noch Positionen zulässig, bei welchen sich der Rollstuhlfahrer entweder mit der Rückenlehne (Blickrichtung nach hinten) oder mit der Seite des Rollstuhles dicht an die vordere Begrenzungswand des Rollstuhlplatzes anlehnt. Falls dies nicht der Fall ist, wird der Rollstuhl instabil werden und durch den Fahrgastraum rutschen, eventuell auch kippen.

Ob der Kollisionsfall in den entsprechenden Empfehlungen an die Rollstuhlfahrer mit berücksichtigt werden soll, ist letztlich eine Ermessensfrage; aus unserer Sicht wäre, auch um die Sache möglichst einfach zu halten, eine Position dicht an der Vorderwand¹³, am Besten mit Blick rückwärts, alternativ mit Blick seitwärts aber mit dem Rücken zur Seitenwand, zu empfehlen.

Bei Sondernutzungsflächen wie z.B. im VBZ-Cobratram oder der ‚Sänfte‘, welche über eine entsprechende Länge verfügen, sind auch zwei Rollstühle nebeneinander, mit Blick seitwärts und Rücken zur Seitenwand, akzeptabel. Die Rollstühle müssen aber nahe beieinander stehen (im Idealfall sich berühren), und der in Fahrtrichtung vordere muss nahe an der Vorderwand des Rollstuhlplatzes stehen. So würde im Kollisionsfall der hintere Rollstuhl durch den vorderen abgestützt. Bei den trotz allem mit 1.5 g nicht sehr hohen Belastungen würden zwar die beiden Rollstühle eventuell beschädigt, jedoch nicht kollabieren. Falls ein Elektro- und ein Handrollstuhl nebeneinander stehen, muss der Elektrorollstuhl in Fahrtrichtung des Trams vorne stehen.

Bei einer Frontalkollision mit Verzögerungen von 1.5 g würden die stehenden Passagiere mit Wahrscheinlichkeit stürzen und könnten eine Gefahr für die Rollstuhlfahrer darstellen; diese Gefahr lässt

¹³ Wir gehen immer davon aus, dass die Vorderwand entsprechend den im nächsten Abschnitt folgenden Empfehlungen gestaltet ist.

	Titel: Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr		Version, Datum: V1.0, 16/DEC/2003	
	Autor: mhm/fw	Vis.:	Seiten: 38	Seite: 28

sich jedoch aus unserer Sicht nicht vermeiden, ausser man verbietet die Mitfahrt von stehenden Passagieren.

10.3. Bus

Von allen Verkehrsmitteln, die wir hier diskutiert haben, treten beim Bus die grössten Lasten auf. Im normalen Fahrbetrieb bleibt ein ungesicherter Rollstuhl zwar ebenfalls stabil, falls, wie oben erwähnt, das Kippen nach hinten durch eine Abstützung verhindert wird. Bei Notmanövern wie z.B. Ausweichen links-rechts-links oder Vollbremsung gerät der Handrollstuhl jedoch ins Rutschen und erfährt eine Drehung, welche das Kippen ermöglicht.

Eine Sitzposition seitwärts mit dem Rücken zur Seitenwand, sehr nahe an der Vorderwand des Rollstuhlplatzes, bewirkte zwar in unseren Versuchen in keiner Situation einen vollständigen Stabilitätsverlust; es wurde jedoch klar, dass die Grenze mit den von uns gefahrenen Manövern erreicht war. Für aktive Rollstuhlfahrer wäre es unserer Ansicht nach möglich gewesen, in beinahe allen Situationen durch Festhalten die Instabilität zu verhindern. Für eher passive Fahrer muss eine zusätzliche Rückhaltung in seitlicher Richtung vorhanden sein. Diese muss keine grossen Kräfte aufnehmen können, eine Haltestange wie z.B. in Grossbritannien (siehe Kapitel 2) genügt vollauf. Falls diese Haltestange nicht angebracht werden kann, genügt auch z.B. ein am Rollstuhl und an der Seitenwand (Haltestange) befestigtes Gurtband.

Auch bei den im Vergleich zum Tram höheren Belastungen beim Frontalaufprall wäre eine Position mit dem Rücken zur Vorderwand des Rollstuhlbereiches, nahe an derselben (möglichst in direktem Kontakt) sehr wahrscheinlich geeignet, die Kollision ohne Stabilitätsverlust zu überstehen¹⁴. In jeder anderen Position käme es bei 3 g Beschleunigung in Vorwärtsrichtung zu unkontrollierten Bewegungen des Rollstuhles mit Eigen- und, vor allem beim Elektro-Rollstuhl, starker Fremdgefährdung.

Bei zwei in Seitwärtsposition nebeneinander stehenden Handrollstühlen wäre damit zu rechnen, dass der vorne stehende Rollstuhl durch das Gesamtgewicht des hinten stehenden stark beschädigt würde. Dabei wäre eine Gefährdung der beiden Rollstuhlfahrer sicherlich gegeben; eine Fremdgefährdung jedoch eher unwahrscheinlich. Auch hier muss darauf hingewiesen werden, dass bei einer Frontalkollision mit 3 g Verzögerung die stehenden, und auch die sitzenden Passagiere (ohne Gurt) einer erheblichen Verletzungsgefahr unterworfen werden. Im Hinblick auf die Grundannahme in diesem Bericht, dass ein Rollstuhlbenutzer nur Anspruch auf einen gleichen oder allenfalls bei Möglichkeit *leicht* höheren Schutz als die übrigen Passagiere beanspruchen kann, sollte diese Doppelpositionierung somit akzeptiert werden.

Wie unter 4.4. erwähnt sollte bei Fahrten über längere Strecken Vorrichtungen vorhanden sein, welche eine vorwärts gerichtete Rollstuhlposition ermöglichen. Dies ist nur durch spezielle Rückhaltevorrückungen (analog „Safetrans®“) möglich, und solche welche auch für die schweren Elektrorollstühle geeignet sind (z.B. <http://www.nmisafety.com/WhatsNew.htm> KING RIPS®). Letzteres System ist zur Zeit in Erprobung bei der Stiftung Behinderten-Transporte Zürich, BTZ.

¹⁴ Dies wäre mittels eines Tests noch zu verifizieren.

	Titel: Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr		Version, Datum: V1.0, 16/DEC/2003	
	Autor: mhm/fw	Vis.:	Seiten: 38	Seite: 29

11. Anforderungen, bezogen auf die Gestaltung der Rollstuhlplätze

Aufgrund der von uns gefahrenen Versuche, als auch aufgrund theoretischer Überlegungen und Diskussionen mit Beteiligten, können wir die Anforderungen an einen Rollstuhlplatz, vor allem an dessen Vorderwand, in einem Fahrzeug des öffentlichen Nahverkehrs wie folgt zusammenfassen. Der Vollständigkeit halber haben wir auch einige Anforderungen, welche bereits z.B. in Pflichtenheften der Verkehrsbetriebe etc. festgeschrieben sind, eingefügt.

- Polsterung im Bereich eines möglichen Kopfanpralles:
 - Metallrohre und Kanten, z.B. von Sitzlehnen, müssen in diesen Bereichen gepolstert sein; die in anderen Bereichen im öffentlichen Verkehr üblichen Kunststoffrohre stellen bei einem Anprall keine besondere Gefährdung dar.
 - Ein Kopfanprall an einen flachen Bereich, z.B. Scheibe oder Seitenwand, ist unter den getroffenen Lastannahmen akzeptabel, auch wenn dieser Bereich nicht gepolstert ist; der seitliche Kopfanprall wird durch die Schulter verhindert oder reduziert.
- Rückenpolsterung:
 - Eine Rückenpolsterung ist aus Sicherheitsgründen nicht zwingend notwendig; wie auch beim Kopfanprall dürfen aber keine vorstehenden Kanten oder nicht in einer Ebene liegende Flächen vorhanden sein.
 - Die meisten Rollstühle verfügen über eine Rückenlehne, welche die Komfort-Anforderungen erfüllt. Demnach ist nicht unbedingt fahrzeugseitige eine dicke Polsterung notwendig. Ausserdem ist die Positionierung eines solchen Polsters heikel, weil der Rollstuhlfahrer entweder durch das Polster im Rollstuhl nach vorne gedrückt wird, oder gar keinen Kontakt zum Polster erreicht, weil der Rollstuhl nicht nahe genug daran heran gefahren werden kann.
 - Beim Frontalaufprall wird der rückwärts gerichtete Rollstuhlfahrer in Fahrtrichtung etwas kippen; die Rückenpolsterung bzw. –Abstützung muss diesen Kippvorgang aufhalten können. Auch muss die Polsterung bis über Kopfhöhe reichen, also ca. 135 cm ab Boden (Kopfstütze, Schutz der Halswirbelsäule).
- Abstützung des Rollstuhles:
 - Die Abstützung muss so dimensioniert sein, dass sie Lasten von ca. 5 – 10 kN aufnehmen kann, ohne vollständig zu kollabieren oder auszureissen.
 - Sie soll sich unter der Grenzlaster nach Möglichkeit plastisch verformen (ca. 20 cm). Falls keine Verformung erfolgen kann, liegen die auszuhaltenden Lasten entsprechend höher.
 - Die Abstützung muss tief genug angreifen können, um die Räder oder den Batterie-Kasten eines Elektro-Rollstuhles sicher zu stützen. Die Unterkante der Abstützung sollte nicht höher als 15 – 20 cm liegen.
 - Es muss entweder eine zweite Abstützung auf Höhe der Handrollstuhl-Hinterachse angebracht werden, oder die Abstützung hat die Form einer Wand, welche beide Rollstuhlarten abdeckt. Die Oberkante des Teiles für die Rollstuhl-abstützung sollte nicht tiefer als 30 – 40 cm sein.
 - Bezüglich den Bussen mit vorwärts gerichteter Position verweisen wir auf 4.4 und 10.3. (Spezielle Rückhaltevorrichtungen (analog „Safetrans®“ bzw. KING RIPS®).
- Breite, Position:
 - Die oben erwähnten Abstützungen müssen über die gesamte Breite des Rollstuhlplatzes reichen, und eine Ebene bilden. Konkave oder anders als rechtwinklig zur Seitenwand angebrachte Abstützungen sind nicht zulässig.

	Titel: Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr		Version, Datum: V1.0, 16/DEC/2003	
	Autor: mhm/fw	Vis.:	Seiten: 38	Seite: 30

- Haltemöglichkeiten:
 - An der Fahrzeug-Seitenwand sowie an der Vorderwand des Rollstuhlplatzes sollten Festhaltemöglichkeiten für aktive Rollstuhlfahrer vorhanden sein, welche ca. die selben Belastungen wie auch Haltestangen für die übrigen Passagiere aushalten können.
 - Für eher passive Rollstuhlfahrer sollte der Rollstuhlplatz gegen die Fahrzeugmitte hin seitlich eine (nicht zu lange) Haltestange aufweisen, welche das Abdrehen und Rutschen bei seitlichen Beschleunigungen verhindert. Falls dies nicht möglich ist¹⁵, sollte der passive Rollstuhlfahrer die Möglichkeit haben, seinen Rollstuhl seitlich z.B. mit einem Gurtband an der Haltestange zu sichern. Die Manövrierfähigkeit ist zu gewährleisten
 - Falls Sicherheitsgurten oder Sicherungsbänder etc. mit Automatik-Rollsystemen ausgerüstet sind, muss sichergestellt werden, dass die Automatik das Band auch bei niedrigen Beschleunigungen (deutlich unter 1 g) in allen Richtungen zuverlässig blockiert.
- Information:
 - Durch Piktogramme o.ä. muss der Rollstuhlfahrer informiert werden, welches der für ihn sicherste Platz ist und welche Position er einnehmen muss.
 - Unsichere Positionen/Plätze sollten z.B. durch durchgestrichene Piktogramme als solche erkennbar sein.

¹⁵ Viele Verkehrsbetriebe lehnen diese Stange ab, weil sie die Nutzung der Fläche für andere Zwecke (Kinderwagen, Gepäck, Fahrräder etc) einschränkt).

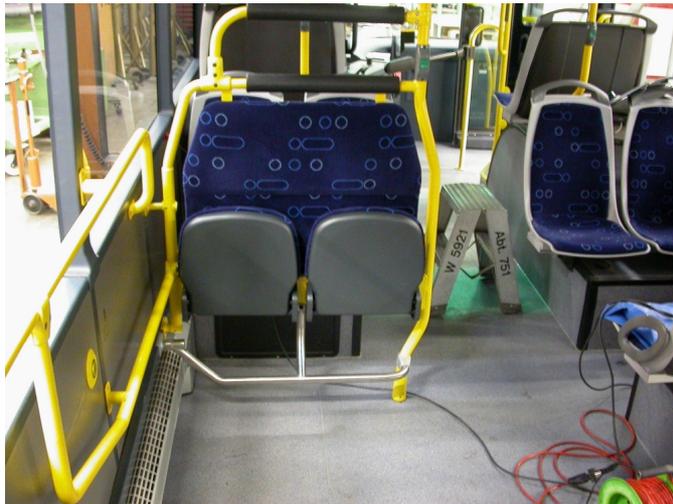
	Titel: Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr	Version, Datum: V1.0, 16/DEC/2003	
	Autor: mhm/fw	Vis.:	Seiten: 38

12. Diskussion der vorgefundenen Rollstuhlplätze

Wir haben im Rahmen dieser Arbeit diverse Rollstuhlplätze in Bussen und Trams inspiziert, wobei die Fahrzeuge der VBZ, von Bernmobil, und der Post betrachtet wurden. Einige dieser Plätze können von uns als gut bezeichnet werden, bei anderen wären unserer Ansicht nach Nacharbeiten notwendig. Eine Sicherung gegen seitliches Rutschen mit Abdrehen fanden wir fast nirgends vor. Wir diskutieren in der Folge einige dieser Plätze hinsichtlich ihrer (aus unserer Sicht) Vor- und Nachteile.

12.1. VBZ-Neoplan, neueres Modell

Ähnlich der von uns im Fahrversuch getesteten Anordnung. In der Länge sehr viel Platz. Gute Kompromisse zwischen verschiedenen Nutzungsarten.



- + Abstützung der Räder sowohl für Elektro- wie auch Handrollstuhl.
- + Rückenpolsterung und Abstützung bei Vollbremsung oder Frontalkollision.
- + Polsterung bei Kopfanprall an Vorderwand (allerdings in der Breite nicht ganz ausreichend, Anprall z.B. Verbindungsmuffe zwischen oberer und unterer Haltestange möglich).
- + Haltestangen seitlich vorhanden (allerdings etwas hoch).
- + Viel Platz z.B. auch für zwei Rollstuhlfahrer nebeneinander (quer zur Fahrtrichtung).
- Kein Kopfanprallschutz an Seitenwand (bei Position quer zur Fahrtrichtung).
- Keine Information zur optimalen Position.

12.2. VBZ, ältere Modelle

Diese Plätze weisen diverse Nachteile auf.

- + Haltestangen seitlich
- + Information (Piktogramm rechts)
- + Ebene Abstützfläche für Rücken
- Platz zu schmal
- Rad-Abstützfläche für Handrollstuhl (Radkasten) Oberkante zu niedrig, in der Breite zu schmal. Ev. wird nur ein Rad gestützt, was bei Vollbremsung und Frontalkollision zu gefährlichem Abdrehen führt.
- Nirgends Polsterung/Kanten-Entschärfung in den Kopfanprallbereichen.

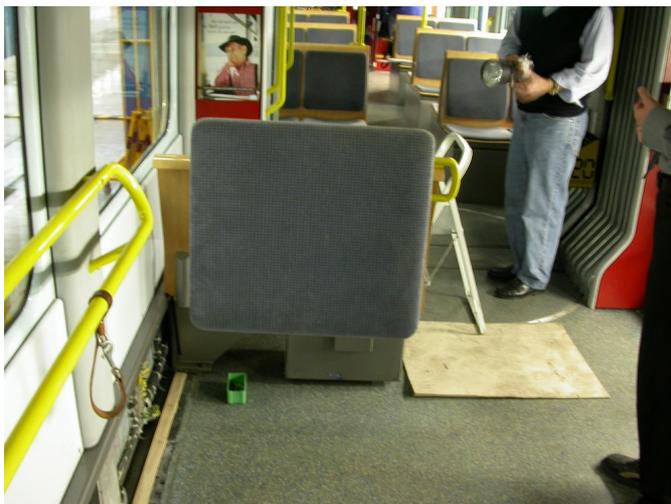
	Titel: Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr	Version, Datum: V1.0, 16/DEC/2003	
	Autor: mhm/fw	Vis.:	Seiten: 38

- Keine Kopfstütze.
- Hinteres Piktogramm (links) gibt eine falsche Position an. Diese Position frei stehend mit Blick nach hinten ist sehr gefährlich, wegen Kippen nach hinten bereits bei etwas ruppigem Bremsen bzw. Rollen in Fahrtrichtung und Anprall an Rückenstütze. Das Piktogramm sollte durchgestrichen werden, um eine gefährliche Position zu kennzeichnen.
- Rad-Abstützung weiter vorn als Rücken-Abstützung: der Unterschied (ca. 10 cm) ist nicht optimal, kann aber noch toleriert werden.



12.3. VBZ, Cobra Tram

Breite, ebene, gepolsterte Fläche. Sehr einfache Lösung für Position in Querrichtung, sonst aber nur knapp genügend. Die Abstützung reicht aber nicht tief genug für Elektro-Rollstühle und nicht hoch genug (keine Abstützung des Kopfes). Die Tragkraft bei Frontalkollision ist für den Extremfall (Rollstuhl mit Insasse 250 kg) schätzungsweise zu tief.



Ansicht von hinten



Ansicht von rechts

	Titel: Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr	Version, Datum: V1.0, 16/DEC/2003
	Autor: mhm/fw	Vis.:

- + Ebene Fläche, gut gepolstert, keine Probleme mit Kopf- oder Rückenprall.
- + Seitliche Haltestangen.
- Abstützung für Elektro-Rollstühle fehlt.
- Abstützung sollte noch einige cm näher gegen Seitenwand verschoben werden.
- Keine Kopfstütze.
- Keine Polsterung der Haltestangen.

12.4. Post-Busse (Volvo)

Rollstuhlplatz für die neueren Postauto-Busse. Erfüllt praktisch alle Anforderungen. Unsere Meinung nach die beste uns bekannte Lösung. Es wäre sogar ein Beckengurt am Klappsitz vorhanden, dieser ist aber für Rollstuhlfahrer nicht erreichbar.

- + Bei Vorderwand alle Elemente in einer Ebene.
- + Fast lückenlose Abstützung, Stabilität mit Sicherheit ausreichend.
- + Keine Probleme mit Kopfanprall (die obere Querstange ist zu hoch um Probleme zu bereiten).
- + Halteschleife mit Gurtschloss zur seitlichen Sicherung (längs verschiebbar). Wird ev. durch Haltestange ersetzt.
- Keine Information.



	Titel: Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr	Version, Datum: V1.0, 16/DEC/2003	
	Autor: mhm/fw	Vis.:	Seiten: 38

12.5. Bernmobil-Tram

Sehr einfache Realisierung im Combino-Tram. Wohl nur für Fahrten in Querrichtung geeignet. Abstützung gegen vorn nur durch Sitzbank bzw. deren Verankerung. Abstützung relativ kräftig, weil sie gleichzeitig als frei tragender Balken als Sitzbank wirken muss. Auf den ersten Blick besteht eine Gefahr, dass bei Frontalkollisionen der Rollstuhlfahrer mit den Köpfen der vorne sitzenden Passagiere kollidiert. Dies ist aber unwahrscheinlich, da sich letztere während der Kollision ebenfalls nach vorne bewegen.



- + Information vorhanden.
- + Abstützung für Rollstuhl (Räder) fraglich geeignet, stark genug für Tram-Lastfälle.
- Keine Polsterung der Sitzbank-Rücklehnen
- Bei Frontalkollision sind Oberkörper, Kopf und Halswirbelsäule (keine Kopfabstützung) des Rollstuhlfahrers schlecht geschützt.
- Im Extremfall (aus falscher Position bei Frontalkollision rutschender Elektro-Rollstuhl 250 kg) würden die Rückenlehnen der vorne befindlichen Sitze wohl kollabieren.

	Titel: Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr	Version, Datum: V1.0, 16/DEC/2003	
	Autor: mhm/fw	Vis.:	Seiten: 38

12.6. Bernmobil, ältere Trams



„Bügelbrett-Prinzip“, wird von Rollstuhlfahrern aus verschiedenen Gründen abgelehnt. Dieses Beispiel beurteilen wir jedoch nicht als untauglich, weil das Rückenpolster nicht sehr weit von der Vorderwand absteht. Der Rollstuhl prallt an die Vorderwand an, bevor der Fahrer vollständig an die Rückenlehne anprallt. Die Vorderwand bietet eine ausreichende Abstützung für alle Tram-Lastfälle. Nur für Position mit Blick nach hinten geeignet.

- + Abstützung für Elektro- und Handrollstuhl geeignet, Stabilität auch für Rutschen aus falscher Position genügend.
- + Polsterung für den gesamten Oberkörper vorhanden.
- + Information vorhanden.
- „Bügelbrett“ Prinzip ungünstig; z.B. bei hinten am Rollstuhl angehängtem Gepäck könnte der Fahrer im Rollstuhl nach vorn geschoben werden (Handrollstuhl).

12.7. Karosserie Hess, Bellach (Ortsbusse in verschiedenen Gemeinden)

Ein weiteres „Bügelbrett-Prinzip“. Diese Lösung bewerten wir als deutlich schlechter als das voran gegangene Beispiel. Die Rückenlehne ragt weit aus der Abstützfläche hinaus. Die einzelne Querstange unten ist für Elektro-Rollstühle knapp zu hoch und für Handrollstühle etwas zu tief. Die Rückhaltewirkung dürfte dennoch zumindest teilweise gegeben sein, die Stabilität schätzen wir als zu schwach ein für den Extremfall Frontalkollision und schwerer Elektro-Rollstuhl. Nur für Fahrtrichtung mit Blick nach hinten geeignet.

	Titel: Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr	Version, Datum: V1.0, 16/DEC/2003	
	Autor: mhm/fw	Vis.:	Seiten: 38



- + Information vorhanden.
- + Polsterung für Kopf und Oberkörper gewährleistet.
- Krafteinleitung bei Frontalkollision zuerst über Rücken des Rollstuhlfahrers, erst dann über Räder oder Batteriekasten des Rollstuhls.
- Auch ohne Gepäck könnte der Rollstuhlfahrer im Rollstuhl nach vorne geschoben werden (bei Frontalkollision).
- Abstützung für Extremfall zu schwach (Abschätzung).

12.8. Weiteres ‚Bügelbrett‘

Diese Lösung ist noch einmal deutlich schlechter als das voran gegangene Beispiel. Es besteht überhaupt keine Abstützung der Rollstuhl-Räder. Das Piktogramm ist zudem noch falsch: Wenn sich der Rollstuhlfahrer so positioniert wie angegeben, wird er bei der Frontalkollision zunächst rutschen und dann auf das Rückenpolster anprallen, während der Rollstuhl (vor allem ein Elektro-Modell) unter ihm wegrutscht und die auf der Sitzbank hinten im Bild sitzenden Passagiere gefährdet.

Es sind im Bild zwar Sicherheitsgurte sichtbar; deren Funktion ist aber unklar. Gegen ein Abdrehen und Wegrutschen wie bei unseren Versuchen helfen sie sicher nicht viel. Selbst wenn die Rollgurt-Automatik bei den tiefen Beschleunigungen blockieren würde (?), wird der Rollstuhl sicher eine erhebliche Distanz zurück legen können. Durch die Rückhaltewirkung der Gurte wird dann ein Kippen nach hinten erfolgen. (Vgl. Versuch 8, ca. beim dritten Bild).

	Titel: Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr	Version, Datum: V1.0, 16/DEC/2003	
	Autor: mhm/fw	Vis.:	Seiten: 38



12.9. ‚Bügelbrett‘ mit Sicherung gegen Abdrehen



Einziges Beispiel mit Haltestange zur Sicherung gegen Abdrehen (nach EU-Richtlinie). Andere Vor- und Nachteile wie oben, vor allem fehlende Abstützung des Rollstuhles in Fahrtrichtung und schwieriges Manövrieren wegen relativ langer Stange.

	Titel: Sicherheitsanforderungen für den Transport von Reisenden mit Rollstühlen im öffentlichen Verkehr	Version, Datum: V1.0, 16/DEC/2003	
	Autor: mhm/fw	Vis.:	Seiten: 38

12.10. Weiteres Bügelbrett

Wiederum einseitige Abstützung durch Radkasten. Platz zu schmal. Stabilität bei Anprall Frontalkollision fraglich. Kein Schutz vor Abdrehen der Vorderräder bei Links-Kurvenfahrt. Position des Piktogramms etwas zu weit vorne (Idealposition: Kontakt mit Brett).

