

Verifizierung der fahrzeugtechnischen Betrachtungen in den Funktionalen 'Anforderungsprofilen für einen behindertengerechten Busverkehr'

Auftraggeber

Bundesamt für Verkehr BAV
Herr Hanspeter Oprecht
Sektion Schienennetz
Mobilitätsfragen
3003 Bern



Projektleiter und Autor

Soltermann Engineering Consulting SEC
Roland Soltermann
2533 Evilard

Evilard, März 2006

A handwritten signature in black ink, reading "R. Soltermann", is enclosed within a light grey rectangular box.

Soltermann Engineering Consulting SEC



Zusammenfassung

Für die Funktionalen 'Anforderungsprofilen für einen behindertengerechten Busverkehr' wurden die Luftfederung, die Reifen und die Karosserie verifiziert: Für den Einstieg vom Bordstein zum Bus ist die Einstiegshöhe mit den Möglichkeiten der elektronischen Niveauregelung und die Spaltbreite mit dem Abstand der Karosserie zu den Reifenflanken wichtig.

Wichtigste Einflüsse auf die Einstiegshöhe:

- Der Einfluss einer unebenen Bushaltestelle ist gross, ca. $\pm 10\text{mm}$
- Das Kneelingmass ist beim Absenken ca. $\pm 4\text{mm}$, beim Anheben des unbeladenen Busses infolge Übersteuern der Regelung jedoch ca. $\pm 9\text{mm}$
- Zwischen den Bussen ergeben sich Unterschiede durch die Einstellung der Luftfederregelung, bedingt auch durch die Fahrdynamik aufgrund der unterschiedlichen Achsgeometrie, jedoch auch infolge der Regelgenauigkeit. Dies mit einem grossen Einfluss auf die Einstiegshöhe von leider ca. $\pm 20\text{mm}$
- Sofern an der Bushaltestelle die Einstiegshöhe bei Beladungs-Änderung nicht geregelt wird, z.B. bei abgeschaltetem Bus, ist die Absenkung ebenfalls gross, ca. 24mm
- Die Einfederung der Reifen durch Beladung der Busse ist mit ca. 12mm gross. Beladungsänderungen zwischen Haltestellen sind jedoch eher gering (einzig am Hauptbahnhof oder im Zentrum der Stadt bedeutend)
- Der Reifenverschleiss hat mit der Profiltiefe 19mm einen grossen Einfluss auf die Einstiegshöhe. Mit dem Wechseln der Reifen zwischen den Achsen aufgrund der Jahreszeit (Sommer/Winter) ist dieser ca. $\pm 6\text{mm}$

Elektronische Luftfederregelung: Die Fahrzeughersteller sollten grösseres Augenmerk auf die von ihnen ausgewiesene Einstiegshöhe richten, diese auch im praktischen Betrieb einzuhalten mithelfen. Mit der Elektronik ist dies einfacher möglich. Die Einstell- und Regelgenauigkeit ist ca. $\pm 5\text{mm}$.

Mechanische Luftfederregelung: Die meisten Busse haben noch mechanische Luftfederungen, welche ungenauer sind im Einfluss auf die Einstiegshöhe und weniger Einstellmöglichkeiten bieten für sinnvolle Funktionen im Betrieb. Die Einstell- und Regelgenauigkeit ist ca. $\pm 10\text{mm}$.

Grösste Einflüsse auf die Einstiegshöhe

Einstellung Einstiegshöhe und Absenkmass des Kneeling:

- Die mechanische Luftfederregelung bietet weniger Einstell- und Korrekturmöglichkeiten als die elektronische Luftfederregelung
- Die Einstellung durch die Bushersteller wird nicht konsequent eingehalten
- Für die Nachstellung der Einstiegshöhe nach Reparatur/Ersatz fehlt das Verständnis (oder die Zeit)

Bautoleranzen der Bushaltestelle:

- Durch die „schlechte“ Geradlinigkeit der Bushaltestellenplattformen ergeben sich ebenfalls grosse Unterschiede in der Einstiegshöhe

Reifen: Durch widersprüchliche Vorgaben und Aufgummierung entstehen Fehler in der Interpretation. Die Reifenbreite ist durch den Abnutzungsgrad der Reifenflanke unterschiedlich.

Karosserie: Durch die gegenüber den Vorschriften effektiv geringeren Busbreiten ergeben sich Korrekturen beim Abstand der Radkomponenten zur Karosserie.

Längen: Es erfolgten geringe Korrekturen und Ergänzungen durch unterschiedliche Anordnung der Sitzreihen in den Bussen und durch die zusätzlich mögliche Buslänge 18.75m für Gelenkbusse

Front der Busse: Bei den Bussen gibt es unterschiedliche, zusätzlich angebrachte Schutzeinrichtungen unter der Karosserie, dies v.a. an der Frontunterkante

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Ausgangslage..... | 5 |
| 2 | Auftrag | 5 |
| 3 | Vorgehen..... | 5 |
| 4 | Ergebnisse des vorangehenden Projektes | 6 |
| 4.1 | Einflüsse der Betriebsbedingungen der Busse | 6 |
| 4.2 | Toleranzen am Fahrzeug und im Strassenbau..... | 7 |
| 5 | Einführung in die Technik der Luftfederung..... | 7 |
| 5.1 | Niveauregelung (Geregelte Federungssysteme) | 7 |
| 5.2 | Elektronically Controlled Air Suspension ECAS | 8 |
| 5.3 | Vorgaben..... | 9 |
| 6 | Messungen | 10 |
| 7 | Testmessung | 11 |
| 8 | Einflüsse bei den Messungen | 11 |
| 8.1 | Einfluss unebener Hallenboden..... | 11 |
| 8.2 | Einfluss Kneelingbewegung bei leerem Bus..... | 12 |
| 8.3 | Einfluss Fahrt auf unebener Strasse | 15 |
| 8.4 | Einfluss unebene Haltestellen | 16 |
| 8.5 | Eindrückung Luftfederbalg..... | 17 |
| 8.6 | Eindrückung Reifen | 20 |
| 8.7 | Fertigungstoleranzen im Fahrwerk resp. Blasbälge..... | 21 |
| 8.8 | Reifendurchmesser, statischer Radius und Luftdruck | 22 |
| 8.9 | Reifenverschleiss | 23 |
| 8.10 | Zusammenfassung der Einflüsse bei den Messungen | 24 |
| 8.11 | Kommentare zu den Einflüssen auf die Einstiegshöhe..... | 25 |
| 8.12 | Korrekturwerte der Einstiegshöhe im Depot und auf der Linie..... | 26 |
| 8.13 | Korrekturen Einstiegshöhe 12m-Busse im Depot | 28 |
| 8.14 | Korrekturen Einstiegshöhe 18m-Busse im Depot: | 29 |
| 9 | Messungen im Depot: Einstiegshöhe..... | 30 |
| 9.1 | Korrigierte Einstiegshöhe der 12m-Busse im Depot: | 33 |
| 9.2 | Korrigierte Einstiegshöhe der 18m-Busse im Depot: | 34 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 10 | Messungen auf der Linie: Einstiegshöhe..... | 35 |
| 10.1 | Einstiegshöhe der 12m-Busse auf der Linie | 35 |
| 10.2 | Einstiegshöhe der 18m-Busse auf der Linie | 37 |
| 11 | Interpretation der Messungen Einstiegshöhe..... | 42 |
| 11.1 | Vergleich mit dem 1. Projekt..... | 44 |
| 11.2 | Grösste Einflüsse auf die Einstiegshöhe | 45 |
| 12 | Messungen im Depot: Reifen | 47 |
| 12.1 | Reifen der 12m-Busse im Depot..... | 47 |
| 12.2 | Reifen der 18m-Busse im Depot..... | 48 |
| 13 | Messungen im Depot: Karosserie..... | 49 |
| 13.1 | Abstand zu Karosserie 12m-Busse | 49 |
| 13.2 | Abstand zu Karosserie 18m-Busse | 50 |
| 13.3 | Messungen im Depot: Längen..... | 50 |
| 13.4 | Front der Busse und Balg beim Gelenkbus sowie Karosserie-Unterkante | 52 |
| 14 | Abbildungs- und Tabellenverzeichnis..... | 55 |
| 15 | Detailliertes Inhaltsverzeichnis der BEILAGE..... | 56 |

1 Ausgangslage

Das Bundesamt für Verkehr verfolgt mit den Funktionalen 'Anforderungsprofilen für einen behindertengerechten Busverkehr' auch das Ziel:

Behindertengerechte Gestaltung von Bushaltestellen bezüglich einer optimalen Haltestellenanfahrt durch Busse und Trolleybusse

Dazu wurden vom Dynamic Test Center DTC AG, 2537 Vauffelin, R. Soltermann und seinem Team Engineering Services EnS ein Projekt durchgeführt mit

Fahrzeugtechnischen Betrachtungen zu Normentwurf für rollstuhlgerechte Bushaltestellen¹

2 Auftrag

Die SEC, Roland Soltermann², erhält den Auftrag, basierend auf den Erkenntnissen des o.g. Berichtes, diese fahrzeugtechnischen Betrachtungen zu verifizieren.

Die Projektteilnehmer sind:

BAV, Herr Hanspeter Oprecht³

BOEV, Herr Anton Scheidegger⁴

mit Unterstützung vieler öffentlicher Verkehrsunternehmen in der Schweiz

3 Vorgehen

Die Funktionalen 'Anforderungsprofilen für einen behindertengerechten Busverkehr' gehen von einer möglichst günstigen Anfahrt der Busse an den Bordstein einer Bushaltestelle aus. Für diese wurden im oben genannten Projekt Kriterien ermittelt, welche hier in der Praxis geprüft werden.

Deshalb werden für die meisten Erstinverkehrssetzungen der Busse in der Schweiz ab ca. dem Jahre 2000, also Busse mit 12 und 18m Länge die folgenden technischen Systeme betrachtet:

Luftfederung

- Einstiegskantenhöhe ohne und mit „Kneeling“, ohne und mit Passagieren
- Einstellung „Kneeling“

Reifen

- Bereifungs-Typ mit Abmessungen im innerstädtischen und Überland-Verkehr
- Reifendruck und deren Einstellbereich

Karosserie

- Bodenfreiheit der Überhänge / Faltenbalg
- seitlicher Karosserieüberhang über Aussenkante der Reifenflanke bei allen Achsen

¹ Der Bericht ist weiterhin auf der Homepage des Bundesamtes für Verkehr zugänglich: www.bav.admin.ch

² Soltermann Engineering Consulting SEC

Roland Soltermann, Dipl. Maschineningenieur HTL / ETH, 2533 Evilard, soltermann@aol.com

³ Bundesamt für Verkehr BAV

Hanspeter Oprecht, Sektion Schienennetz, Mobilitätsfragen, 3003 Bern, hanspeter.oprecht@bav.admin.ch

⁴ BOEV Schweizerische Fachstelle Behinderte und öffentlicher Verkehr

Anton Scheidegger, Froburgstrasse 4, 4601 Olten, anton.scheidegger@boev.ch

Dazu sind zusätzlich diejenigen Kriterien einzubeziehen, welche als detaillierte Auflistung der „Betrachtungspunkte, Karosseriedaten und Bauteile“ in der Beilage 1 aufgeführt sind.

4 Ergebnisse des vorangehenden Projektes

Wie bereits erwähnt, wurde vom Dynamic Test Center DTC AG, 2537 Vauffelin, R. Soltermann und Team EnS ein Projekt durchgeführt mit „Fahrzeugtechnischen Betrachtungen zu Normentwurf für rollstuhlgerechte Bushalttestellen“.

4.1 Einflüsse der Betriebsbedingungen der Busse

Im Kapitel 10 dieses Berichtes wurden die Einflüsse der Betriebsbedingungen der Busse betrachtet. Die Ergebnisse der Betrachtungen (ohne Nick- und Wankbewegungen des Busses) werden hier zusammengefasst.

4.1.1 Aufbausenkung durch Beladung:

| | | |
|---|---------------------|---------------|
| Statische Radiusänderung der Reifen: | Leerer Bus | Beladener Bus |
| Abhängig von Beladung | 0 (zu Null gesetzt) | 8 mm |

| | | |
|--|-------------|---------------|
| Hysterese der Blasbälge: | Leerer Bus | Beladener Bus |
| Kurzfristige Änderungen durch Fahrbahnunebenheiten | 2 mm | 0 mm |

4.1.2 Reifenverschleiss

| | | |
|---|--------------|--|
| Reifenverschleiss (Radiusänderung): | Neuer Reifen | Verschlissener Reifen (reduzierter Radius) |
| Langsam über Lebensdauer der Reifen abnehmend | 0 | 20 mm |

4.1.3 Durchbiegung des Aufbaus bei Belastung:

Die Biegelinie des Aufbaus infolge Belastung kann ± 15 mm von der neutralen Linie abweichen. In der Mitte der Achsen und für die halbe Belastung wird dieser Wert um die Hälfte auf ± 7.5 mm reduziert.

4.1.4 Luftdrucktoleranz in den Reifen:

Es muss von einem ungefähren Fehler in der Höhe der Radachsen von geschätzten **3 mm** ausgegangen werden, dies bei voller Beladung und linear reduziert auf den leeren Bus.

4.1.5 Einstellung Kneeling:

Die Einstellung der aufbauhöhenbestimmenden Luftfederbälge kann korrigiert werden. Die Toleranz der Steuerventile beträgt ± 5 mm.

4.2 Toleranzen am Fahrzeug und im Strassenbau

Dazu wurden im Kapitel 11 desselben Berichtes auch die Toleranzen am Fahrzeug und im Strassenbau abgeschätzt. Auch diese Ergebnisse sollen hier nochmals gekürzt wiedergegeben werden.

4.2.1 Fertigungstoleranzen des Aufbaus:

In der Geradheit der Unterkante des Chassis zwischen den Achsen eines geschweissten Buschassis dürfte der Fehler ca. $\pm 5\text{mm}$ sein.

In der Breite dürfte bei den Achsen die Toleranz bei $\pm 1\text{mm}$ und bei der Karosserie resp. bei der Fahrzeugbreite bei $\pm 2.5\text{mm}$ liegen. Dazu kommt eine Einbautoleranz der Achsen gegenüber der Karosserie, welche ca. $\pm 1\text{mm}$ in der Höhe und Breite beträgt (geschätzte Werte).

4.2.2 Herstelltoleranz der Reifenquerschnittes:

Der auf den Reifenquerschnitt bezogene Fehler ist bei $\pm 3\%$ als Konstruktionstoleranz beachtliche $\pm 6\text{ mm}$ als Unterschied im Aussenradius des Reifens. Hier wird angenommen, dass der Fehler auf den statischen Radius etwas geringer ist, nämlich geschätzte $\pm 4\text{mm}$

4.2.3 Bautoleranzen der Bushaltestelle:

Anschlaghöhe der Bordsteinkante ± 3 bis 4 mm

5 Einführung in die Technik der Luftfederung

5.1 Niveauregelung (Geregelte Federungssysteme)

Als Einführung in die Niveauregelung wird hier aus dem BOSCH-Taschenbuch zitiert ⁵:

Bei weichen Aufbaufedern (Fahrkomfort) treten z.B. bei Beladung grosse Federwege auf. Um ein zu starkes Absinken zu vermeiden, werden zusätzlich Luftfedern (oder hydropneumatische Federn) eingesetzt.

Das Gasvolumen wird zur Federung genutzt. Die Niveaulage wird mechanisch an Fahrwerksteilen abgegriffen. Luft wird durch Ventile direkt in die Federn geleitet bzw. daraus abgelassen oder es werden elektronische Niveauregler zwischengeschaltet, die Magnetventile ansteuern.

Vorteile des elektronischen Systems:

- beliebig einstellbare Niveaulage (z.B. Kneeling)
- geringer Energieverbrauch durch Vermeiden der Regelzyklen bei Bremsen, Beschleunigen oder Kurvenfahrt
- Anheben des Fahrzeugaufbau bei schlechten Wegstrecken

Übernimmt die Gasfeder die Federungsaufgabe alleine (also ohne Stahlfeder), nennt man dies ein volltragendes System. Die Regelung kann an allen Achsen erfolgen, insbesondere für langwellige Schwingungen und lenkungsbedingte Rollbewegungen. Dies erfordert ein elektronisches Steuergerät, welches auch die Regelzeiten überwacht und Systemfehler erkennt.

Mit dem Einbau der Regelung auf einzelne Räder, resp. Federbeinachsen ist ein Querkraftausgleich oder eben ein „Kneeling“,⁶ möglich.

⁵ BOSCH: Kraftfahrzeugtechnisches Taschenbuch (24. Auflage, April 2002)

⁶ knee [engl.]: Knie. In herkömmlichen Wörterbüchern nicht ersichtlich. Als Kurz-Bezeichnung durch die Interessengruppen des öffentlichen Verkehrs (öV's) gewählt für das Absenken der Busse für besseren Einstieg.

5.2 Elektronically Controlled Air Suspension ECAS

Systembeschreibung der elektronischen Niveauregelung ENR aus der Service-Dokumentation „CITARO“ von Mercedes Benz:

Die ENR dient der automatischen Niveauregulierung von luftgefederten Omnibussen. Drei Sensoren erfassen kontinuierlich das Fahrzeugniveau. Zwei Sensoren befinden sich rechts und links im Radlauf der Hinterachse. Der dritte Sensor ist im rechten Radlauf der Vorderachse angeordnet.

Ein Sensor, der in der Zuleitung der Luftfederbälge der nicht abzusenkenen Seite der Hinterachse angeordnet ist, erfaßt den Druck in den Bälgen und bestimmt dadurch den einzusteuernenden Druck (in die Luftfederbälge) für die Reifendruckkompensation bei belastetem Fahrzeug.

Die Fahrzeuggeschwindigkeit wird bei der Niveauregulierung berücksichtigt. Ein Nachregeln während der Fahrt ($v = > 0$ km/h) bei einer dynamischen Achslastverlagerung erfolgt nur dann, wenn die in einem Zeitraum von 60 Sekunden ermittelten und von der Steuerelektronik gefilterten Sensorsignale ununterbrochen vom Sollniveau abweichen. Bei einer statischen Achslastveränderung ($v = 0$ km/h) erfolgt nach Ablauf einer über Parameter einstellbaren Regelverzögerung eine Höhenkorrektur.

Diese Höhenverstellung findet nur an dem Balg statt, an dem nach Ablauf der eingestellten Regelverzögerung eine Abweichung vom Sollniveau vorhanden ist (Einzel-Niveauregelung).

Bei betätigter Betriebsbremse wird jede Regelung unterbrochen, es sei denn, mindestens eine Tür ist geöffnet (optional einstellbar).

Die Schalter für die Bedienung der Absenk- bzw. Anhebeeinrichtung sind am standardisierten Fahrerarbeitsplatz angeordnet. Die Schalterinformationen werden eingelesen und über den J-Knoten mittels CAN-Bus zum ENR-Steuergerät übertragen. Das ENR-Steuergerät ist im E-Fach hinter dem Fahrerarbeitsplatz angeordnet.

Die einseitige Absenkung (Kneeling) wird über einen Schalter (Taster) auf der Instrumententafel eingeleitet. Es besteht darüber hinaus die Möglichkeit, ein automatisches Absenken vorzuwählen (optional). Über einen separaten Schalter (Taster), der ebenfalls auf der Instrumententafel angeordnet ist, kann unter Berücksichtigung des Vorder- und Hinterachsschalters (innerhalb der FPS) das Fahrzeug insgesamt - oder auch achsweise, je nach Ausführung - angehoben bzw. abgesenkt werden.

Beim Betätigen der Taster für Hebe-, Senk- oder Kneelingvorgänge werden die Türstellungen (geöffnet/geschlossen) berücksichtigt. Öffnet sich während des manuellen Kneelings vor der Ausgabe des Türfreigabesignals eine Tür, so stoppt der Kneelingvorgang und das Fahrzeug geht in sein Normal-Niveau zurück (Reversierung). Eine Reversierung erfolgt nur wenn 70% des Kneelingweges nicht erreicht sind (über 70% keine Reversierung). Eingeleitete Regelvorgänge können ebenfalls durch einen Stoptaster (nur bei automatischem Kneeling) unterbrochen werden. Dieser Taster ist auf der Instrumententafel angeordnet.

Kneeling (automatisch oder manuell) kann nur gestartet werden, wenn die Fahrzeuggeschwindigkeit $v = < 5$ km/h und wenn vorher mindestens einmal das Normalniveau aktives Sollniveau gewesen ist. Die Senk-, Hebe- oder Kneelingfunktion des Fahrzeuges kann nur bei ausreichendem Vorratsdruck (min. 6,5 bar) ausgeführt werden (Vorratsdruckschalter).

Bei den Regelvorgängen kann in Abhängigkeit des Abstandes zum Sollniveau der Rohrquerschnitt der Luftzufuhrleitungen durch eine Hauptstromdrossel auf einen kleineren bzw. größeren Querschnitt geschaltet werden, wodurch eine ruhigere Regelung möglich wird.

Warnungen und Störungen werden über das Anzeigegerät (Display) am Fahrerarbeitsplatz angezeigt.

Die ENR-Elektronik kann durch Weginformationen der Sensoren nur das Niveau zwischen Fahrzeugaufbau und Fahrzeugachse ausregeln. Je nach Anzahl der Fahrgäste im Fahrzeug erhöht sich das Fahrzeuggesamtgewicht. Die Bereifung des Fahrzeuges wird mehr oder weniger zusammengedrückt und dadurch verändert sich der Abstand zur Fahrbahn. Um die unterschiedliche Eindrückung der Bereifung des Fahrzeuges zu kompensieren, ist es möglich, in Abhängigkeit des Balgdruckes das gewünschte Sollniveau um einen druckabhängigen Niveaueausgleich zu korrigieren. Dadurch wird der Abstand des Fahrzeuges zur Straße (Einstiegshöhe) konstant gehalten.

Über zu programmierende Parameter wird der ENR-Elektronik mitgeteilt, ab welchem minimalen Balgdruck die Kompensation einsetzt und bis zu welchem maximalen Balgdruck sie zulässig ist. Bei maximalem Balgdruck ist die maximale Kompensation wirksam.

5.3 Vorgaben

5.3.1 Einbau der Niveauregelung

Die verschiedenen Busanbieter bauen unterschiedliche Achsen ein wie Starrachse, resp. Faustachse, Portalachse usw. oder an der Vorderachse bereits auch eine Einzelradaufhängung. Dazu sind die Motoren an unterschiedlichen Orten eingebaut. Meistens sind diese auf der linken Seite im Heck eingebaut und bei den Gelenkbussen im Anhänger. Beim 18m-Bus Van Hool AG 300 wirkt der Antrieb als Ausnahme auf die 2. Achse und der Motor ist im Zugfahrzeug eingebaut. Der Einfluss des Gewichtes der Antriebe auf die Ausgleicheung des Niveaus der Regelung ist relevant.

Für die unterschiedlichen Ausführungen und Anordnungen bietet mit ca. 80 % Marktanteil WABCO und 20 % KNORR Niveauregelungen an.

Die entsprechenden Komponenten werden also in unterschiedlichen Geometrie- und Kräfteverhältnissen der Mechanik eingebaut. Beilage 9 zeigt Hinweise, welche statischen Gegebenheiten z.B. der Kräfteverteilung zu Stabilisatoren der Achsen beachtet werden müssen. Um diesen Unterschieden gerecht zu werden, bietet die Elektronik der Luftfederung vielfältige Einstellmöglichkeiten.

5.3.2 Kalibrierung der Niveauregelung

Zur Kalibrierung stehen von WABCO umfassende Empfehlungen bereit (Beilage 9).

Zwei Aussagen aus der Praxis zeigen, dass den Busherstellern die Einstellung der Luftfederung zusammen mit den Dämpfern nicht immer zufriedenstellend gelingt. Obwohl diese hier zitierten Aussagen für Fahrten im höheren Geschwindigkeitsbereich (ausserorts) gelten, wurde von einem schlechten, im zweiten Falle von einem sogar gefährlichen Fahrverhalten gesprochen (Aufschaukeln des Anhängers eines Gelenkbusses auf der Autobahn).

Ist dies einer der Gründe, dass ein Kundendienst-/Serviceleiter von den hier einbezogenen, wichtigen Busherstellern die Parameterdaten nicht bekannt geben wollte? Diese Parameter können trotzdem in der Beilage 10 eingesehen werden.

Die mehrheitlich leeren oder mit geringer Beladung gemessenen Bussen beinhalten zudem eine systembedingte Streuungsgrösse in der Einstiegshöhe bei den Türen. Bei einem leeren Bus übersteuert die Niveauregelung beim Anheben mittels Kneeling über das Sollniveau (Beilage 9).

Es kommt hinzu, dass die Einstellung der Einstiegshöhen von den Busherstellern beim gleichen Bustyp nicht einheitlich eingehalten wird (vgl. Beilage 11). Die Einstiegshöhe wird dann allenfalls von den öffentlichen Verkehrsunternehmen über die Parameter korrigiert (vgl. die Korrekturen von Stadtbus Winterthur ebenfalls in der gleichen Beilage).

Beklagenswert ist zudem die Erkenntnis einzelner öV's (öffentlicher Verkehrsunternehmen), dass die externen Servicemonteur in ihren Bussen die Parameter in der Elektronik der Niveauregelung verändern, dies ohne zufriedenstellende Dokumentation der Veränderungen.

Weiter ist zu erwähnen, dass die Elektronik nach n-Grössen im Umfang der gewählten Mikrocontroller vorgegeben ist und die Verarbeitung in 2ⁿ unterschiedlichen Zuständen (dargestellt als „Counts“) ausgegeben wird. Diese Counts können nicht direkt in z.B. mm als Mass für die Einstiegshöhe dargestellt werden, d.h. die Interpretation der Parameter ist schwierig.

5.3.3 Korrektur der Einstiegshöhe

Der Kenntnisstand über die Einstellmöglichkeiten mit der Elektronik der Niveauregelung ist unterschiedlich:

- Öffentliche Verkehrsunternehmen, die bereits günstigere, d.h. höhere Bordsteine an den Bushaltestellen verbaut haben, sind eher sensibilisiert auf die Einstellmöglichkeiten der Niveauregelung. Diese korrigieren z.B. die Höhe der Unterkante der Karosseriefront und auch diejenige am Heck sehr genau auf ihre Bedürfnisse (Beispiel Winterthur und Zug, vgl. Beilage 11 und Beilage 12).
- Es gibt auch öffentliche Verkehrsunternehmen, bei denen die Einstellmöglichkeiten über die Parameter der Niveauregelung nicht genau bekannt sind. Es kann sein, dass in diesen Städten die Bordsteinhöhen gering sind und deshalb die Busse ausreichend Abstand zu den Bordsteinen haben.

Das öffentliche Verkehrsunternehmen in Genf wendet das Kneeling z.B. in den Volvo 7000 konsequent nicht ein. Dies nicht prioritär aus der Furcht vor Beschädigung ihrer Busse bei Haltestellen, sondern vielmehr aufgrund des Zeitverlustes im Fahrplan der Buslinien.

6 Messungen

In der 1. Phase wurde in einer **Testmessung** an 1-2 unterschiedlichen Bussen die Variabilität eines Markentyps in einem Fuhrpark ermittelt. Daraufhin sollten für die voraussichtlichen Einflüsse und die geschätzten Toleranzwerte deren Relevanz und Grenzen abgeklärt und die Betrachtungspunkte korrigierend ergänzt werden. Zudem sollte untersucht werden, ob und wie eine bestimmte Einstiegshöhe mit Einstellungen am Fahrzeug vorgegeben und erreicht werden kann (Beilage 0).

Die nachfolgenden, ausführlichen Messungen fanden in den **Depots/Werkstätten** und auf der **Linie** möglichst mit Beladung durch Fahrgäste statt. Beilage 0 zeigt die Messverfahren und -grössen und die Beilage 3 die eingesetzten Messmittel für die Messungen in den Depots/Werkstätten. Auf der Linie wurde zur Messung der Einstiegshöhen das ebenfalls bereits in den Depots eingesetzte Laser-Distanzmessgerät verwendet.

7 Testmessung

Bei zwei Mercedes-Benz O 530 G (Citaro-Gelenkbus) wurden die **Einstiegshöhen der unbeladenen Busse** ermittelt. Zusammen mit der Profiltiefe der Reifen wurde die Einstiegshöhe hochgerechnet, die die Busse mit neuen Reifen aufweisen könnten (Details vgl. **Beilage 0**):

| Testmessung in den Bieler Verkehrsbetrieben | Bus-Nr. | 141 | 148 |
|---|---------|---------------|---------------|
| | | Einstiegshöhe | Einstiegshöhe |
| 1. Türe im Zugfahrzeug | | | |
| EINSTIEGSHÖHE MIT NEUEN REIFEN, OHNE Kneeling | | 343 | 366 |
| EINSTIEGSHÖHE MIT NEUEN REIFEN, MIT Kneeling | | 281 | 306 |
| 2. Türe im Zugfahrzeug | | | |
| EINSTIEGSHÖHE MIT NEUEN REIFEN, OHNE Kneeling | | 374 | 394 |
| EINSTIEGSHÖHE MIT NEUEN REIFEN, MIT Kneeling | | 321 | 343 |

Mercedes-Benz gibt für diesen Bus an, dass **bei einem beladenen Bus die Einstiegshöhe an der ersten Türe 320 mm und bei den nachfolgenden 340 mm betrage.**

Die VDV empfiehlt für Stadtbusse mit Kneeling (VDV-Schrift 230, 09/2001 ⁷) im Kapitel 5.4.1 Absenkanlage ("Kneeling"): Zur Verbesserung der Einstiegsverhältnisse und Absenkung der Eintrittshöhe muss der Omnibus auf der rechten Fahrzeugseite so weit abgesenkt werden können, dass entweder **an einer Türe eine Einstiegshöhe von 250 mm oder an zwei Türen eine Einstiegshöhe von jeweils 270 mm erreicht wird.**

Die Ziele der 1. Phase wurden mit diesen Testmessungen noch nicht erreicht, jedoch die Brauchbarkeit der selbstentwickelten Messmittel (Schieblehren für die Reifen) erfolgreich geprüft.

Es fällt auf, dass zwischen Bussen gleichen Typs bereits in unbeladenem Zustand ein Unterschied bei der Einstiegshöhe von ca. 25mm besteht.

8 Einflüsse bei den Messungen

8.1 Einfluss unebener Hallenböden

In den Depots haben die Hallenböden relativ stark abfallende Platten hin zu Abflussrillen, damit das Wasser abfließen kann. Bei der Stadtbus Winterthur musste im Depot Grütze festgestellt werden, dass der Unterschied wegen dieser abfallenden Platten in der Einstiegshöhe bei ca. 20mm liegen kann, sofern man den Bus nur um ein paar Meter verschiebt (Details vgl. **Beilage 11**).

| Einstiegshöhe 1. Türe | | | |
|-----------------------|----------------|-----|---|
| mit Kneeling | unebener Boden | 293 | <i>Im Depot Bus ein paar Meter verschoben</i> 317 |

| Einstiegshöhe 2. Türe | | | |
|-----------------------|----------------|-----|---|
| mit Kneeling | unebener Boden | 347 | <i>Im Depot Bus ein paar Meter verschoben</i> 329 |

⁷ Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV), Köln

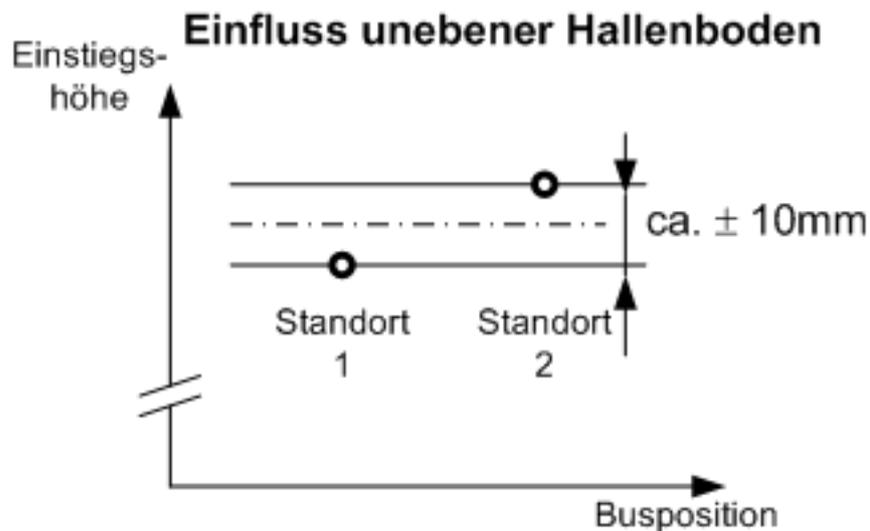


Abbildung 1: Einfluss unebener Hallenboden

8.2 Einfluss Kneelingbewegung bei leerem Bus

Für den hier betrachteten Bus Solaris Urbino 12, Bus-Nr. 203 der Stadtbus Winterthur sind die Parameter der ECAS-Regelung bekannt (Details vgl. Beilage 10 und Beilage 11).

Kneelingniveau Parameter 21 für 1WSA⁸ (Counts):

Differenz (Normalniveau1 – Kneelingniveau), um die die 1-Wegsensorachse beim Kneeling gesenkt werden darf: 35 Counts

Kneelingniveau Parameter 23 für 2WSA (Counts):

Differenz (Normalniveau1 – Kneelingniveau), um die die 2-Wegsensorachse beim Kneeling gesenkt werden darf: 35 Counts

Sollniveautoleranz Parameter 11 an der 1 WSA (hier Vorderachse):

Sollniveautoleranz 1-Wegsensorachse (≥ 3): 6 Counts

Sollniveautoleranz Parameter 13 an der 2 WSA (hier Hinterachse):

Sollniveautoleranz 2-Wegsensorachse (≥ 3): 5 Counts

Wie bereits in Kapitel 5.3 gezeigt wurde, können diese Werte schwer interpretiert werden, weil die Einbaubedingungen stark geometrieabhängig sind und nicht in mm-Massen ausgegeben werden.

Bei aufeinander folgenden Kneelinganhebungen liegt die Einstieghöhe in einem Variationsbereich von bis zu ca. Δ 14mm. Das Anhebemass des Kneelings kann um ca. 18mm unterschiedlich sein (vgl. nachfolgende Tabelle). Ähnliche Abweichungen zeigt auch Beilage 18. Der Grund liegt darin, dass bei einem unbeladenen Bus die Luftfederung beim Anheben zum Übersteuern neigt.

⁸ 1WSA, Achse mit einem Wegsensor (in der Regel die Vorderachse). 2WSA, Achse mit zwei Wegsensoren (in der Regel die Hinterachse)

In den Ausführungen der Luftregelung „Elektronically Controlled Air Suspension ECAS“ (*Beilage 9*) steht im Teil „Der Regelalgorithmus“ auch, dass bei einem unbeladenem Bus der Aufbau über das Sollniveau hinaus angehoben wird, weil dieses Übersteuern besonders bei einem leeren Fahrzeug mit dem großen Druckunterschied zwischen Vorratsdruck und Balgdruck zustande kommt. Dies weil die Luft sehr schnell in den Balg einströmt und hohe Hebegeschwindigkeiten entstehen.

| 1. Türe Einstiegshöhe | | Sollniveautoleranz Vorderachse 6 Counts | |
|--------------------------|----------|---|---------------------|
| 1. Messung OHNE Kneeling | im Depot | 364 | <i>Kneelinghöhe</i> |
| 2. Messung MIT Kneeling | im Depot | 311 | <i>AB: 53</i> |
| 3. Messung OHNE Kneeling | im Depot | 357 | <i>AUF: 46</i> |
| 4. Messung MIT Kneeling | im Depot | 307 | <i>AB: 50</i> |
| 5. Messung OHNE Kneeling | im Depot | 371 | <i>AUF: 64</i> |

| 2. Türe Einstiegshöhe | | Sollniveautoleranz Hinterachse 5 Counts | |
|--------------------------|----------|---|---------------------|
| 1. Messung OHNE Kneeling | im Depot | 368 | <i>Kneelinghöhe</i> |
| 2. Messung MIT Kneeling | im Depot | 307 | <i>AB: 61</i> |
| 3. Messung OHNE Kneeling | im Depot | 364 | <i>AUF: 57</i> |
| 4. Messung MIT Kneeling | im Depot | 307 | <i>AB: 57</i> |
| 5. Messung OHNE Kneeling | im Depot | 369 | <i>AUF: 62</i> |

Die Variation zwischen den Einstiegshöhen nach Absenkbewegung durch die Kneeling-Funktion ist kleiner, nämlich nur ca. $\Delta 4\text{mm}$. Das Absenkmass des Kneelings variiert ebenfalls um ca. 4mm .

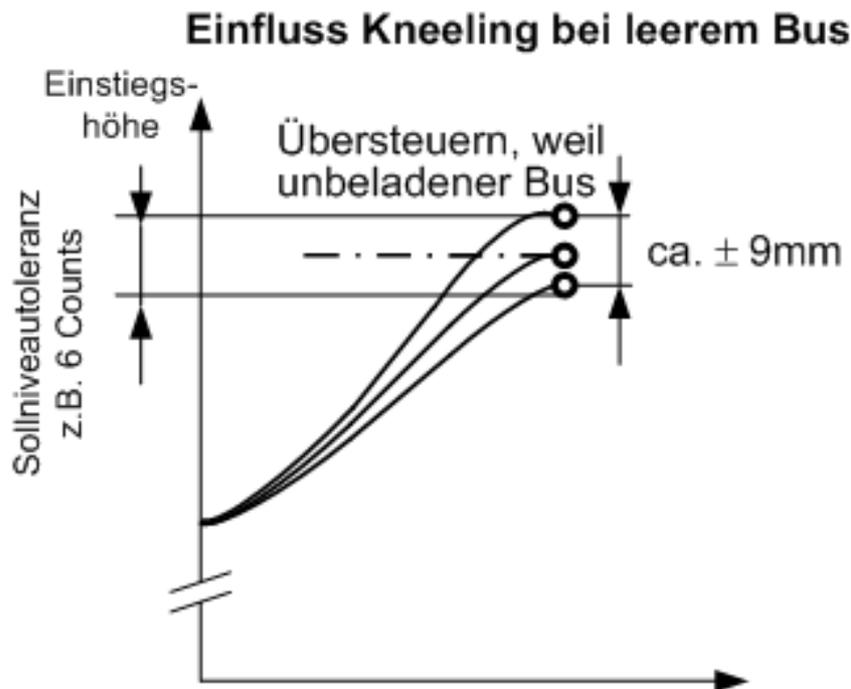


Abbildung 2: Einfluss Kneeling bei leerem Bus bei Anhebewegungen

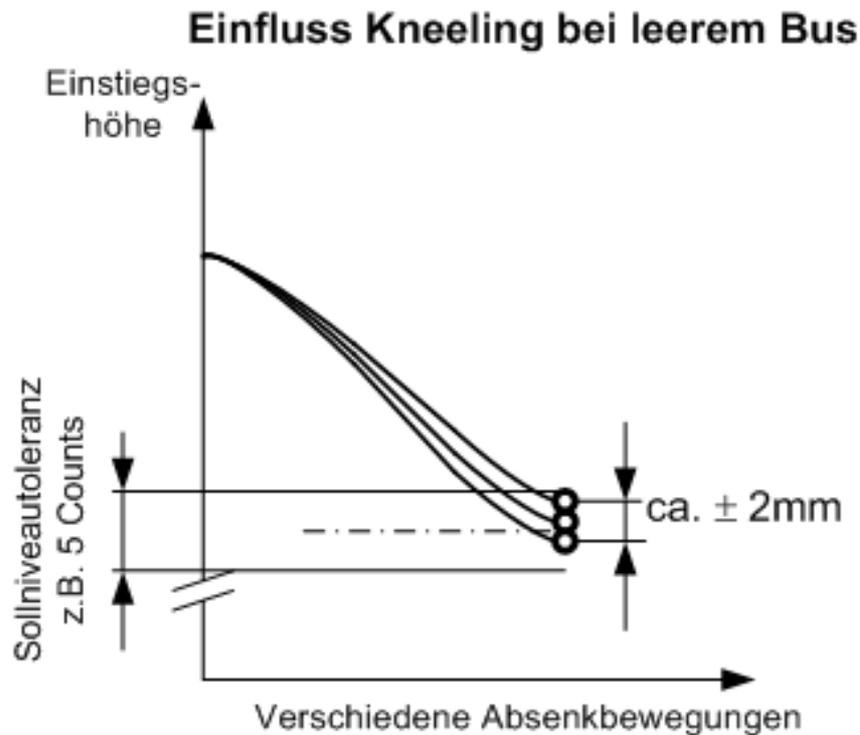


Abbildung 3: Einfluss Kneeling mit leerem Bus bei Absenkbewegungen

Die Anhebefunktion des Kneelings wurde hier an der Vorderachse ausgewiesen. Diese hat als Sollniveautoleranz⁹ 6 Counts in den ECAS-Parametern eingestellt. An der Hinterachse (vgl. Grafik oben) des Absenkens waren nur 5 Counts für das Absenken eingestellt. Dieser Unterschied zwischen den Counts kann geringfügig relevant sein, zeigt jedoch auch die Erschwernisse in deren Interpretation.

Es ist zu beachten, dass diese Überprüfung nur an einem Bus vorgenommen wurde.

Die Count-Einstellung an der Vorderachse ist mit 6 Counts eher gross. Bei der Einstellung mit geringeren Count-Werten für die Vorderachse müsste das Übersteuern etwas geringer sein, weil die Einstellung (≥ 3) empfohlen wird.

Diese Betrachtungen zeigen auch die schwierige Interpretation mit diesen „Counts“! Der unterschiedliche Einbau der Komponenten in den verschiedenen Bustypen trägt auch nicht bei zu einer einheitlichen, geradlinigen Interpretation.

Sofern der Bus (auch nur teilweise) beladen ist, wird dieses Übersteuern geringer ausfallen.

⁹ Hinweis für Leser mit Interesse für Details: In der Grafik „Beispiel eines gepulsten Regelvorgangs“ in der **Beilage 9** wird die Sollniveautoleranz genannt als Sollwerttoleranz

8.3 Einfluss Fahrt auf unebener Strasse

Der Einfluss von Fahrbewegungen auf die Einstiegshöhe beträgt bei dem hier gemessenen 12m-Bus Solaris der Stadtbus Winterthur ca. $\Delta 6\text{mm}$ (Details vgl. *Beilage 11*):

| 1. Türe Einstiegshöhe | | | |
|--|--------------------|-----|--|
| 5. Messung OHNE Kneeling | im Depot | 371 | |
| Fahrt mit leerem Bus vom Depot Deutweg an Bahnhof Oberwinterthur | | | |
| 6. Messung OHNE Kneeling | B'hof O'winterthur | 379 | |

| 2. Türe Einstiegshöhe | | | |
|--|--------------------|-----|--|
| 5. Messung OHNE Kneeling | im Depot | 369 | |
| Fahrt mit leerem Bus vom Depot Deutweg an Bahnhof Oberwinterthur | | | |
| 6. Messung OHNE Kneeling | B'hof O'winterthur | 374 | |

Beilage 18 zeigt jedoch, dass dieser Einfluss nach einer nur kurzen Fahrt auch grösser sein kann (vgl. Beispiel 2 mit der Fahrt auf dem ebenen Gelände, gemessene Einstiegshöhe bei der Türe 2).

Das scharfe Abbremsen in diesem Beispiel sollte keinen Einfluss haben, da bei einer Bremsung logischerweise die Luftfederung nicht geregelt wird. Allerdings kam wahrscheinlich ein unebener Hallenboden hinzu kam

(vgl. *Kapitel 8.1*), so dass die Abweichungen grösser sind:

| Einstiegshöhe | 1. Türe | 2. Türe | 4. Türe | 5. Türe |
|---|---------|---------|---------|---------|
| ohne Kneeling | 348 | 347 | 330 | 335 |
| Kurze Fahrt auf Gelände (2. Rechtskurven) mit scharfer Abbremsung | | | | |
| ohne Kneeling | 340 | 329 | 317 | 317 |

Diese Abweichungen werden hier (neben dem Einfluss des Hallenbodens) dahingehend interpretiert, dass die Solltoleranzen der Regelung in den Bussen mit unterschiedlicher Anzahl Counts eingegeben werden und verschiedene Busfabrikate differente Einbaubedingungen des Wegsensors haben (vgl. *Kapitel 8.5*). Bei diesem Bus beträgt der Unterschied der Einstiegshöhe bei der 2. Türe **ca. 20mm**.

Es wird hier angenommen, dass ein Einfluss des Hallenbodens von ca. 10mm zu diesem hohen Unterschied führte. Deshalb verbleiben in der Einstiegshöhe Unterschiede zwischen dem hier zitierten Busfabrikat von ca. $\Delta 10\text{mm}$ gegenüber dem vorher aufgeführten Bus mit ca. $\Delta 6\text{mm}$

Einfluss Fahrt auf unebener Strasse

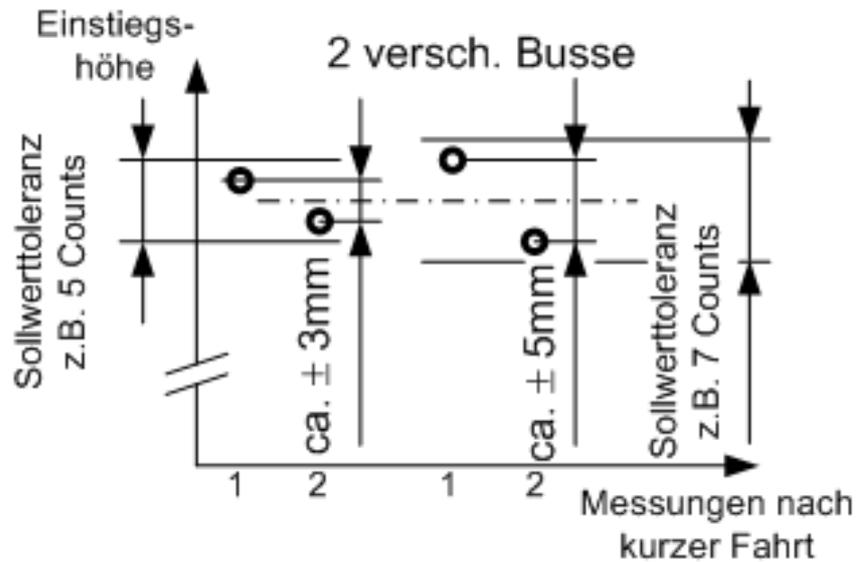


Abbildung 4: Einfluss Fahrt auf unebener Strasse

8.4 Einfluss unebene Haltestellen

Der Einfluss von unebenen Haltestellen auf die Einstiegshöhe kann bis ca. Δ 20mm betragen (Details vgl. ebenfalls Beilage 11):

| 1. Türe Einstiegshöhe | | |
|---|---------------|-----|
| 4. Messung MIT Kneeling | im Depot | 307 |
| Fahrt mit leerem Bus vom Depot Deutweg an Bahnhof Oberwinterthur | | |
| danach | | |
| Fahrt mit beinahe leerem Bus vom Bahnhof Oberwinterthur an Hauptbahnhof Winterthur (Linie 10) | | |
| 7. Messung MIT Kneeling | HB Winterthur | 310 |

| 2. Türe Einstiegshöhe | | |
|---|---------------|-----|
| 4. Messung MIT Kneeling | im Depot | 307 |
| Fahrt mit leerem Bus vom Depot Deutweg an Bahnhof Oberwinterthur | | |
| danach | | |
| Fahrt mit beinahe leerem Bus vom Bahnhof Oberwinterthur an Hauptbahnhof Winterthur (Linie 10) | | |
| 7. Messung MIT Kneeling | HB Winterthur | 326 |

Dies ist ungefähr der gleiche Wert, der auf der Linie mit den Volvo 7000 in Genf gemessen wurde (Details vgl. Beilage 13):

| | <i>Mittel</i> | <i>Mittel ohne gestrichene Extremwerte</i> | <i>Maximum ohne gestrichene Extremwerte</i> | <i>Minimum ohne gestrichene Extremwerte</i> | Diff. Maximum-Minimum (ohne gestrichene Extremwerte) |
|---|---------------|--|---|---|--|
| Bus Nr. 330 in Genf, viele Messungen (ohne Kneeling) | | | | | |
| Volvo 7000 | | | | | |
| OHNE Kneeling | | | | | |
| 1. Türe | 327 | 330 | 342 | 320 | 22 |
| 2. Türe | 363 | 363 | 375 | 349 | 26 |

| | <i>Mittel</i> | <i>Mittel ohne gestrichene Extremwerte</i> | <i>Maximum ohne gestrichene Extremwerte</i> | <i>Minimum ohne gestrichene Extremwerte</i> | Diff. Maximum-Minimum (ohne gestrichene Extremwerte) |
|---|---------------|--|---|---|--|
| Bus Nr. 323 in Genf, viele Messungen (ohne Kneeling) | | | | | |
| Volvo 7000 | | | | | |
| OHNE Kneeling | | | | | |
| 1. Türe | 330 | 330 | 335 | 325 | 10 |
| 2. Türe | 354 | 353 | 358 | 346 | 12 |

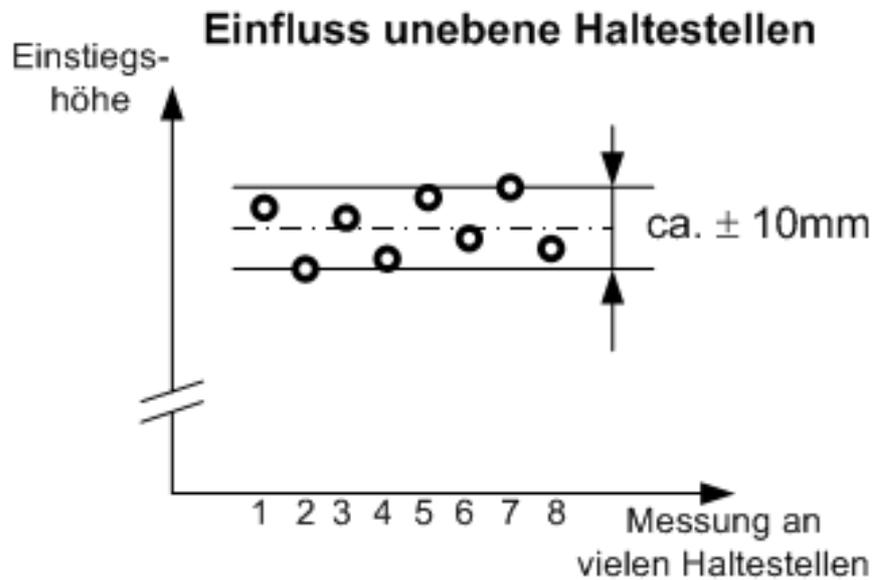


Abbildung 5: Einfluss unebene Haltestellen

Die Aussagen für folgende Werte werden im **Kapitel 9** näher erläutert:

| <i>Mittel</i> | <i>Mittel ohne gestrichene Extremwerte</i> | <i>Maximum ohne gestrichene Extremwerte</i> | <i>Minimum ohne gestrichene Extremwerte</i> | Diff. Maximum-Minimum (ohne gestrichene Extremwerte) |
|---------------|--|---|---|--|
| | | | | |

8.5 Eindrückung Luftfederbalg

Die Höhe der Karosserie resp. der Federweg in mm ist nicht linear vergleichbar mit den Counts, weil der Einbau des Wegsensors stark von der Geometrie abhängig ist und zudem eine Höhenänderung in eine Drehbewegung im Sensor umgewandelt wird. Nachfolgende Abbildung ist der Datei 815_205.pdf, Elektronische Niveauregelung (ECAS) entnommen (vgl. **Beilage 9**):

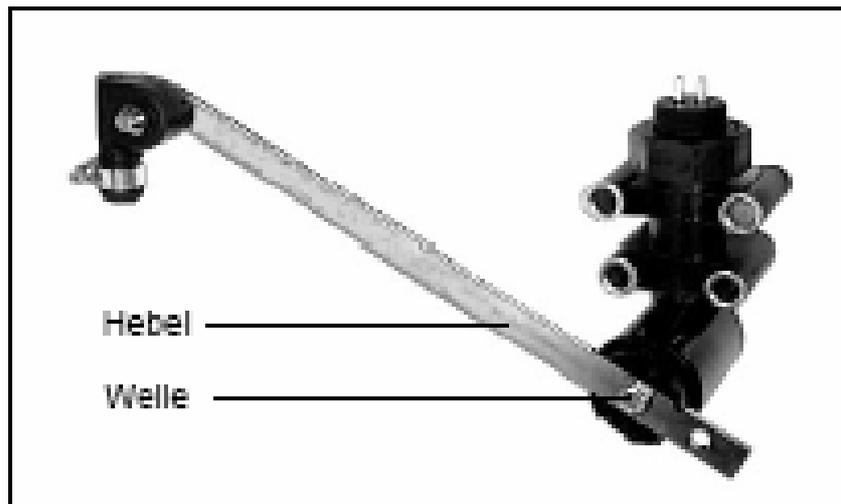


Abbildung 6: Wegsensor von WABCO

Die Werte für das Sollniveau sind: Parameter 11 = 6 Counts für die Toleranz des Sollniveaus an der 1WSA (Counts) und Parameter 13 = 5 Counts für die Toleranz des Sollniveaus an der 2WSA (Counts) (vgl. **Beilage 10**).

Da wie bereits erwähnt, die Count-Werte nicht direkt in mm umgerechnet werden können, sei hier angenommen, dass die Regel-Genauigkeit der Luftfederung bei einer Beladungs-Änderung bei geschätzten ± 5 mm liegen dürfte.

In der **Beilage 10** ist der ECAS-Parameter so eingestellt, dass dieser Solaris-Bus mit der Einstellung in Parameter 3 Bit 4 „keine Niveauregelung bei betätigter Bremse“ zulässt. Diese Bremse ist die Betriebsbremse (Fusspedal). Allerdings hat dieser Bus noch eine spezielle Haltestellenbremse, welche bei offener Türe mit etwas geringerem Druck den Bus gebremst hält. Es konnte nicht in Erfahrung gebracht werden, ob mit dieser Haltestellenbremse trotz obiger Einstellung die Einstiegs-höhe bei Beladungsänderungen durch Fahrgäste geregelt wird.

Sofern keine Regelung erfolgt, dürfte zwischen leerem und voll beladenem Bus die Einfederung maximal ca. 24mm betragen (vgl. „Aufbausenkung durch Beladung“ im **Kapitel 10** „Einflüsse der Betriebsbedingungen der Busse“ **im Bericht des vorangehenden Projektes**):

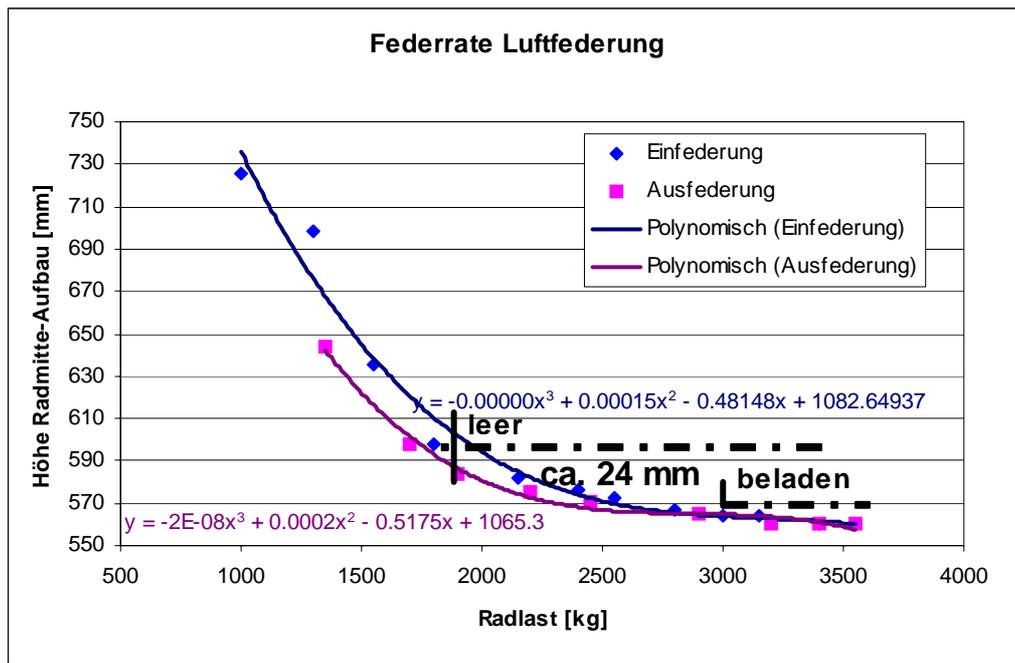


Abbildung 7: Federrate Luftfederung

Leider kann nicht abgeschätzt werden, wie viele Busse „keine Niveauregelung bei betätigter Bremse“ eingestellt haben und ob z.B. bei einer Bremsung mit einer speziellen Haltestellenbremse mit etwas geringerem Druck (bei offenen Türen) die Regelung trotzdem möglich ist.

Allerdings wird diese grosse Beladungsänderung von leer bis voll beladen an den Haltestellen selten erreicht. Nimmt man an, dass an einer vielfrequentierten Haltestelle der Bus ca. 50% beladen war und dass z.B. beim Hauptbahnhof einer Stadt alle Personen aussteigen, dürfte die Änderung der Einstiegshöhe ca. 10mm betragen.

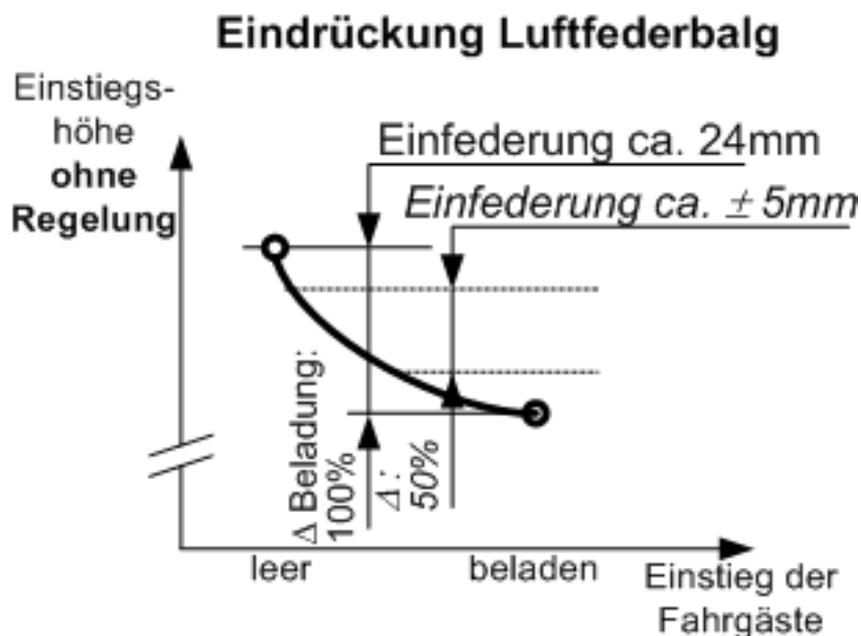


Abbildung 8: Eindrückung Luftfederbalg

8.6 Eindrückung Reifen

Bei der Beladung kommt noch die Reifeneindrückung dazu. Obwohl die Luftregelung mit einer Reifeneindrückkompensation erhältlich ist, wird hier angenommen, dass diese in den meisten Bussen nicht eingebaut ist.

Die Interpretation der Reifeneindrückung ist etwas problematisch. Die Messungen im Depot erfolgten immer mit leerem Bus und der Reifenverschleiss wurde berücksichtigt, so dass der statische Radius mit den Angaben der Normierungsbehörde für einen neuen Reifen mit Vollbeladung verglichen werden kann.

Zwischen den Vorgaben der Normierungsbehörde für Reifen und den Angaben der Reifenhersteller bestehen jedoch unterschiedliche Angaben für die Durchmesser und diese sind wegen dem Aufgummieren eher grösser als die Normvorgaben (vgl. Beilage 5).

Die Berechnung der Eindrückung ergab teilweise Fehler aufgrund dieser Unterschiede und ev. auch infolge Messfehler: In der Beilage 8 sind die ausführlichen Messungen aufgeführt und in Kapitel 12 zusammengefasst.

Reifen 12m-Busse:

| | <i>Mittel ohne gestrichene Extremwerte</i> |
|-------------------------------|--|
| Messpunkte Vorderachse | |
| Eindrückung leer->voll | 9 |
| Messpunkte Hinterachse | |
| Eindrückung leer->voll | 13 |

Reifen 18m-Busse:

| | <i>Mittel ohne gestrichene Extremwerte</i> |
|---|--|
| Messpunkte Vorderachse | |
| Eindrückung leer->voll | 7 |
| Messpunkte Hinterachse (Zugfahrzeug) | |
| Eindrückung leer->voll | 16 |

(Die Aussage der Werte „*Mittel ohne gestrichene Extremwerte*“ werden im Kapitel 9 näher erläutert.)

Für die Vorderachse gilt demnach eine ungefähre Eindrückung der Reifen durch 100%-Beladung von ca. 8mm und bei der 2. Achse von ca. 15mm, gemittelt ca. 12mm:

Eindrückung Reifen

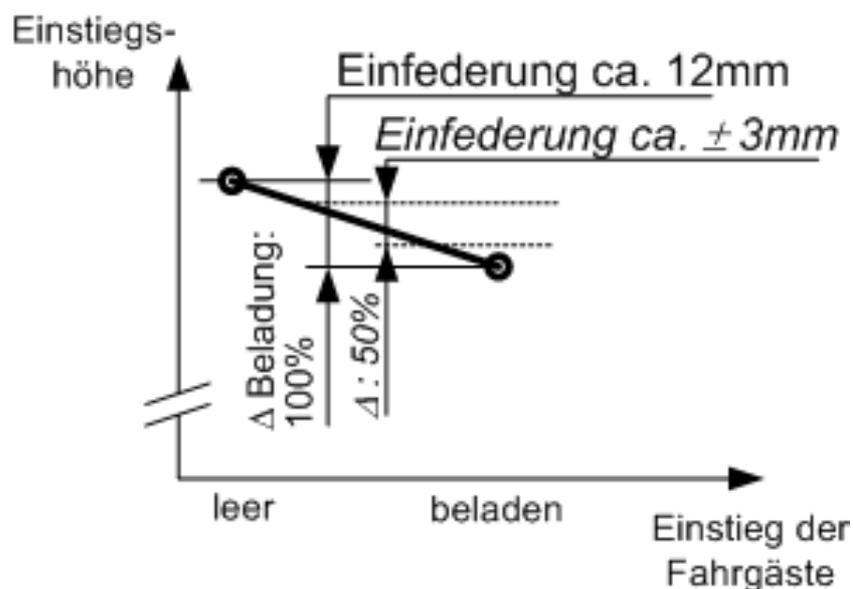


Abbildung 9: Eindrückung Reifen

Nimmt man an, dass die Beladung durch Fahrgäste auf der Linie meistens nur ca. 50% beträgt, reduziert sich die Reifeneindrückung um die Hälfte, also an der Vorderachse 4mm und bei der Hinterachse aufgerundet 8mm.

Mercedes-Benz nennt in ihrer Vertriebsdokumentation 15mm mit der optional in der Luftfederregelung erhältlichen Reifeneindrückkompensation. Zudem stehen obige Werte im Widerspruch zur Messung mit einem um 40% überladenen Bus, dies bei dem Weltrekordversuch mit einem 25m-Doppelgelenkbus, vgl. [Beilage 12](#). Dort wurde eine Reifeneindrückung an der 1. Achse von ca. 18.5mm und an der 2. Achse mit Doppelbereifung von ca. 11.5mm gemessen, also an der 1. Achse eine grössere Eindrückung. (Diese 2 Tatsachen sind der Grund für das aufrunden der Werte in obiger Messinterpretation.)

8.7 Fertigungstoleranzen im Fahrwerk resp. Blasbälge

Es konnten gegenüber dem 1. Projekt (vgl. [Kapitel 4](#)) für das Fahrwerk keine weitergehenden Erkenntnisse gewonnen werden.

Die im 1. Projekt von den Zürcher Verkehrsbetrieben genannte Beschwerde infolge grosser Fertigungstoleranzen der Luftfederbälge wurde nicht hinterfragt. Uns scheint, dass diese Toleranzen kein Problem sein können, weil ein Luftfederbalg in der Höhe und auch in seiner Breitenausdehnung sehr flexibel ist (vgl. [Beilage 12](#)), wahrscheinlich nicht mal eine hemmende Gewebeverstärkung im Gummimantel eingebettet hat.

Ein möglicher Einfluss auf die Federcharakteristik und den Verschleiss ist hier trotzdem noch zu erwähnen, nämlich die Hitze auf den Luftfederbalg hinten links im Bus in der Nähe des Motors.

8.8 Reifendurchmesser, statischer Radius und Luftdruck

Der in den betrachteten öffentlichen Verkehrunternehmen verwendete Reifen hat die Bezeichnung 275/70 R 22,5 148/145J (DIN 70020):

Reifennennbreite 275mm, Höhe : Breite 70%, Bauart Radial, Felgen-Nenndurchmesser 22,5 in Zoll.

Dieser Reifen hat einen maximalen Aussendurchmesser im Betrieb von 973mm. Hier wird von der Normierungsbehörde ETRTO¹⁰ genannt, dass dies der maximale Durchmesser infolge bleibenden Wachstums während des Betriebes ist (vgl. Details in Beilage 5)

Als Zwischenbemerkung sei hier noch erwähnt:

-Einzig im 18m-Bus Van Hool AG 300 ist an der Vorder- und gelenkten „Anhängers“-Achse ein Reifen Michelin X 315/60 R 22.5 im Einsatz (Details vgl. Beilage 8)

-Für den 18m-Bus Hess BGT wird in Luzern an der 1. Achse der Einsatz eines tragfähigeren Reifens geprüft, nämlich ein Reifen Pirelli 305/70 R 22.5

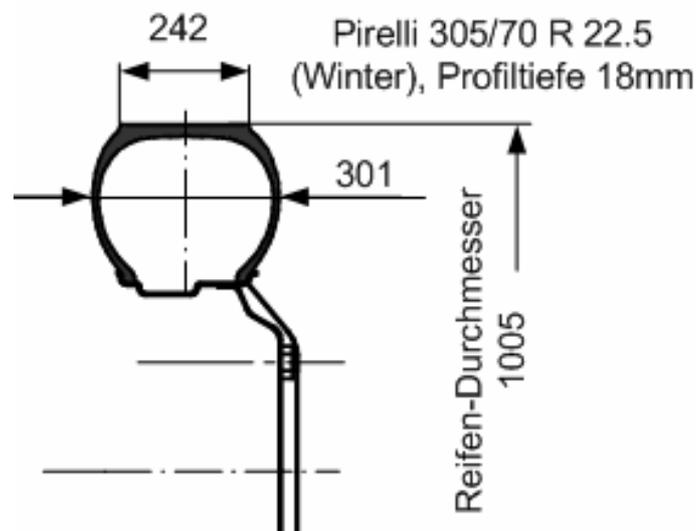


Abbildung 10: Reifen Pirelli 305/70 R 22.5

Nun wieder zu den Vorgaben der Normierungsbehörde ETRTO, zu deren Normierungsbemühungen hinzugefügt werden muss:

Die Messungen des Aussendurchmessers der Reifen zeigen teilweise einen um ca. 10mm grösseren Durchmesser. Diese Daten basieren auf einer Aufrechnung des bestehenden Reifendurchmesser mit dem Verschleiss nach ebenfalls gemessener Restprofiltiefe (vgl. Beilage 8)

Von einem öffentlichen Verkehrsunternehmen wissen wir, dass bis zu 90% der Reifen aufgummiert werden. Die Auskunftsperson der PNEU EGGER (ebenfalls Beilage 8) konnte (oder wollte) jedoch trotz kompetenter Grundlagenerklärung nicht bekräftigen, dass diese Unterschiede infolge ihrer Aufgummierung entstehen.

Beim statischen Radius in den Messungen in Beilage 5 wird ersichtlich, dass die Vorgaben der Normierungsbehörde mit den Messungen nicht vergleichbar sind, sondern den Werten der Reifenhersteller eher Glaubwürdigkeit geschenkt werden muss (vgl. Beilage 5)

¹⁰ ETRTO, European Tyre and Rim Technical Organisation in Brüssel (jährliche Ausgaben ihrer Normierungsschrift)

Der Reifenluftdruck hat auf den Durchmesser und auch auf den statischen Radius des Reifens (bei einem leeren Bus) keinen erkennbaren Einfluss:

Im Depot wurde bei einem Reifen der 1. Achse rechts vorne gleich nachfolgend $\pm 10\%$ Reifenluftdruck simuliert. Die Auswirkungen auf den Reifendurchmesser waren mit unseren Messmitteln nicht erkennbar und sind daher vernachlässigbar.

8.9 Reifenverschleiss

Sofern die Profiltiefe der Reifen gemessen werden kann, ist der Reifen auf den Durchmesser eines neuen Reifens aufsummierbar. In den Testmessungen wurde von einer Profiltiefe von 20mm ausgegangen. Die Messungen an neuen Reifen ergab dann eine Profiltiefe von 19mm. Sofern das Profil nachgeschnitten wird, ist die „verschleissbare“ Profiltiefe resp. Reifenlaufläche 19mm. Mit diesem Wert wurde in Beilage 8 die Einstiegshöhe bei den Bussen im Depot und in Beilage 13 auf der Linie korrigiert.

Bei den Messungen der Profiltiefe war jedoch nicht erkennbar, ob es Reifen mit nachgeschnittenem Profil waren. Es ist auch nicht bekannt, ob von den öV's die Profile nachgeschnitten werden. Es konnte jedoch in Erfahrung gebracht werden, dass die meisten Reifen aufgummiert werden.

Sofern der Reifen nicht nachgeschnitten wird, vermindert sich der Verschleiss resp. Profiltiefe um die vorgeschriebene Mindestprofiltiefe.

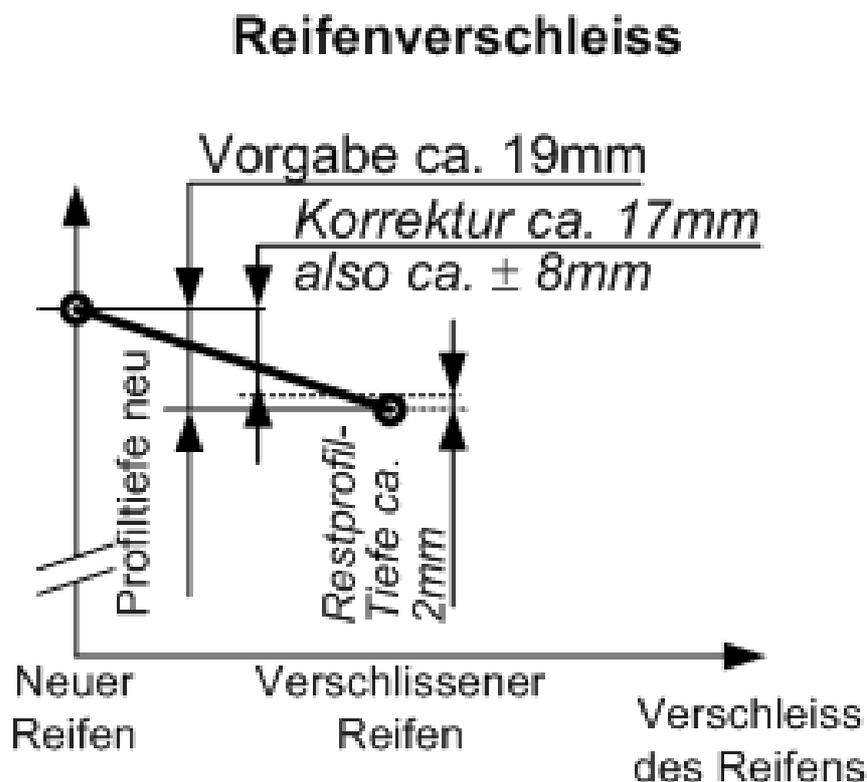


Abbildung 11: Reifenverschleiss

8.10 Zusammenfassung der Einflüsse bei den Messungen

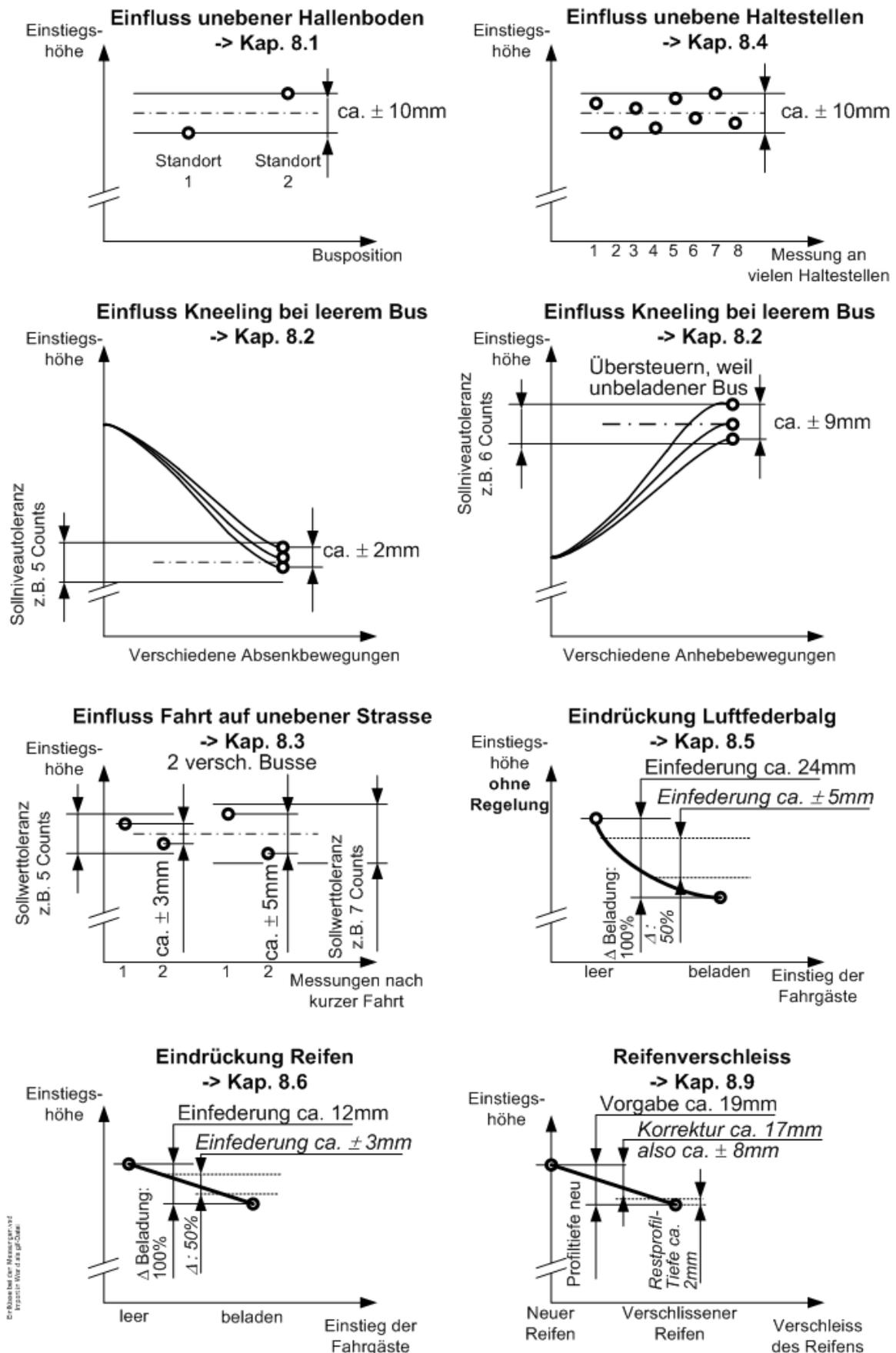
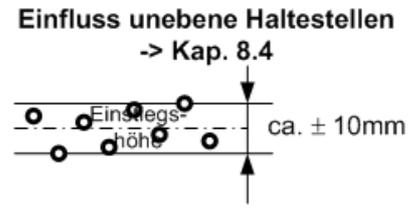
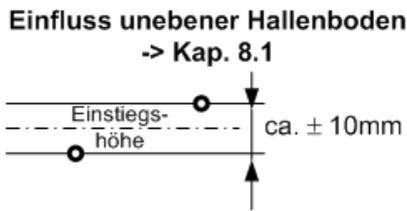


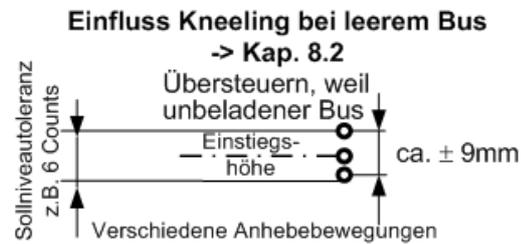
Abbildung 12: Zusammenfassung der Einflüsse bei den Messungen

8.11 Kommentare zu den Einflüssen auf die Einstiegshöhe

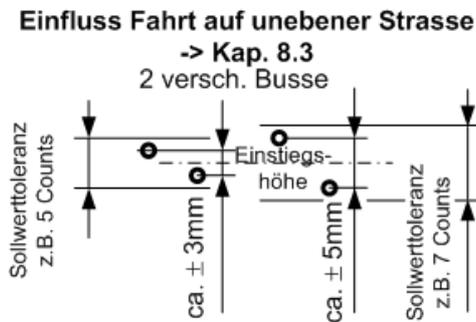
Der Einfluss eines unebenen Bodens ist gross, ca. $\pm 10\text{mm}$



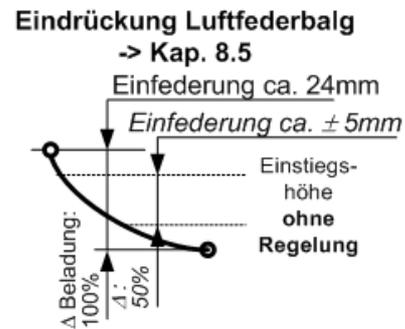
Das Kneelingmass ist beim Absenken ca. $\pm 4\text{mm}$, beim Anheben des unbeladenen Busses infolge Übersteuern der Regelung jedoch ca. $\pm 9\text{mm}$



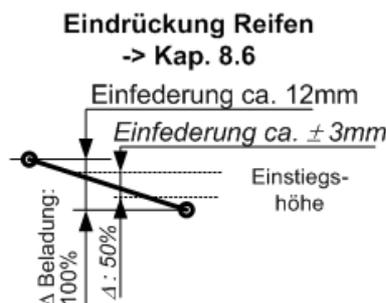
Zwischen 2 spontan gewählten Bussen ergeben sich Unterschiede in der Regelung (Achsgometrie und Parametereinstellungen)



Sofern an der Bushaltestelle die Einstiegshöhe bei Beladungsänderung nicht geregelt wird, ist die Absenkung ebenfalls gross



Die Einfederung der Reifen durch Beladung der Busse ist gross. Beladungsänderungen zwischen Haltestellen sind jedoch eher gering (einzig am HB)



Der Reifenverschleiss hat einen grossen Einfluss auf die Einstiegshöhe

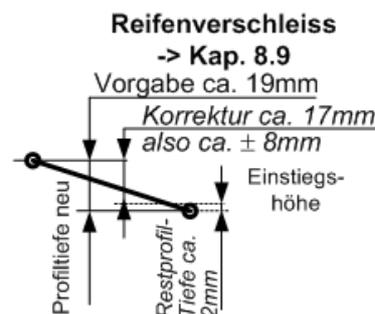


Abbildung 13: Kommentare zu den Einflüssen auf die Einstiegshöhe

8.12 Korrekturwerte der Einstiegshöhe im Depot und auf der Linie

Nachfolgend werden die Korrekturwerte für die Einstiegshöhe im Depot mit einer Beladungsänderung Δ 100% errechnet und mit angenommener Beladung Δ 50% auf der Linie verglichen.

Im Depot konnte die Profiltiefe gemessen werden, so dass der Reifen in den neuen Zustand hochgerechnet werden kann:

| | | |
|---|------------------------------|------------------------------|
| Korrekturen Einstiegshöhe: Korrekturwerte im Depot: Beladung Δ 100% (vgl. <u>Tabelle 1</u> und <u>Tabelle 2</u>) | 1. Achse | 2. und folgende Achsen |
| Korrektur neuer Reifen gegenüber verschlissenen Reifen effektiv möglich, da (Rest-) Profiltiefe gemessen werden konnte In der <u>Tabelle 1</u> und <u>Tabelle 2</u> als Verschleiss eff. bezeichnet | 19- Profiltiefe = _ _ _ _ | 19- Profiltiefe = _ _ _ _ |
| Korrektur Eindrückung Reifen bei Δ 100% Beladung: 1. Achse -8mm, 2. und nachfolgende Achsen -15mm In der <u>Tabelle 1</u> und <u>Tabelle 2</u> als Eindrückung 100% bezeichnet | -8 | -15 |
| Korrektur kein Übersteuern Δ 100% Beladung: angenommener Mittelwert -3mm In der <u>Tabelle 1</u> und <u>Tabelle 2</u> als Übersteuern 100% bezeichnet | -3 | -3 |
| <i>Korrektur bei den Achsen</i> | _ _ _ - 11 | _ _ _ - 18 |
| <i>ca. gleicher Einfluss auf die Einstiegshöhe der</i> | 1. Türe | 2. bis 5. Türe |

Abbildung 14: Korrekturwerte im Depot bei Beladung Δ 100% mit gemessener Profiltiefe

Die gemessenen Profilwerte der Reifen im Depot seien zur Ermittlung eines Mittelwertes noch kurz analysiert:

| | Diverse Messungen der Profiltiefe im Depot | | | | | | | | Mittel |
|-------------------------------|--|----|----|-----|------|----|-----|----|-----------|
| Profil 12m 1. Achse | 10 | 19 | 9 | 7 | 11.5 | 6 | 5.5 | | 10 |
| Profil 12m 2. Achse | 16 | 19 | 19 | 16 | 16 | 8 | 19 | | 16 |
| Profil 18m 1. Achse | 13.5 | 10 | 10 | 9 | 12.5 | 8 | 9 | 15 | 11 |
| Profil 18m 2. Achse | 19 | 8 | 10 | 10 | 14 | 18 | 11 | 10 | 13 |
| Profil 18m 3. Achse | 17 | 14 | 20 | 8.5 | 12 | 7 | 16 | 12 | 13 |
| <i>Mittel aller Messungen</i> | 12.5 | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------------------------------------|----|----|---|------|---|-----|----|-----------|
| Profil 12m 1. Achse | 10 | 19 | 9 | 7 | 11.5 | 6 | 5.5 | | 10 |
| Profil 18m 1. Achse | 13.5 | 10 | 10 | 9 | 12.5 | 8 | 9 | 15 | 11 |
| <i>Mittel aller Messungen</i> | 1. Achse 10.3, also ca. 10mm | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|-------------------------------|---|----|----|-----|----|----|----|----|-----------|
| Profil 12m 2. Achse | 16 | 19 | 19 | 16 | 16 | 8 | 19 | | 16 |
| Profil 18m 2. Achse | 19 | 8 | 10 | 10 | 14 | 18 | 11 | 10 | 13 |
| Profil 18m 3. Achse | 17 | 14 | 20 | 8.5 | 12 | 7 | 16 | 12 | 13 |
| <i>Mittel aller Messungen</i> | 2. und nachfolgende Achsen 13.9, also ca. 14mm | | | | | | | | |

Die Messungen fanden im Herbst: Man sieht hier, dass bereits neue Winterpneu auf den Achsen 2 und 3 montiert waren. Allgemein gilt zudem bei den öffentlichen Verkehrsunternehmen, dass die neuen Reifen an den hinteren Achsen montiert werden, welche dann im Sommer an der vorderen Achse ausgefahren werden.

| | | |
|--|-----------------------------|-----------------------------|
| Korrekturen Einstiegshöhe: Korrekturwerte im Depot: Beladung Δ 100% | 1. Achse | 2. und folgende Achsen |
| Korrektur neuer Reifen gegenüber verschlissenen Reifen mit mittlerer Profiltiefe aus den Messungen in den Depots | 19- Profiltiefe 10mm = 9 | 19- Profiltiefe 14mm = 5 |
| Korrektur Eindrückung Reifen bei Δ 100% Beladung: 1. Achse -8mm, 2. und nachfolgende Achsen -15mm | -8 | -15 |
| Korrektur kein Übersteuern Δ 100% Beladung: angenommener Mittelwert -3mm | -3 | -3 |
| <i>Korrektur bei den Achsen</i> | -2 | -13 |
| <i>ca. gleicher Einfluss auf die Einstiegshöhe der</i> | <i>1. Türe</i> | <i>2. bis 5. Türe</i> |

Abbildung 15: Korrekturwerte im Depot bei Beladung Δ 100% mit mittlerer Profiltiefe 10 und 14mm

Obwohl in **Kapitel 8.9** von einem Verschleiss der Reifen von ca. 17mm ausgegangen wurde, sei hier der Verschleissmittelwert 8mm in Anlehnung an die Messungen der Profiltiefe in den Depots (vgl. oben) für die Messungen auf der Linie korrigiert. Die Messungen auf der Linie fanden im Sommer statt, so dass eher weniger neue Reifen montiert waren. Die Werte oben in den Depots werden etwas reduziert, also an der 1. Achse ca. **8mm** und an der 2. und den nachfolgenden Achsen **12mm**.

| | | |
|--|-----------------------------|-----------------------------|
| Korrekturen Einstiegshöhe: Korrekturwerte auf der Linie: Beladung Δ 50% | 1. Achse | 2. und folgende Achsen |
| Verschleiss eff.: Mittelwert 8mm | 19- Profiltiefe 8mm = 11 | 19- Profiltiefe 12mm = 7 |
| Korrektur Eindrückung Reifen bei Δ 50% Beladung: 1. Achse -4 mm, 2. und nachfolgende Achsen -8mm | -4 | -8 |
| Korrektur kein Übersteuern Δ 50% Beladung: angenommener Wert -1mm | -1 | -1 |
| <i>Korrektur bei den Achsen</i> | 6 | -2 |
| <i>ca. gleicher Einfluss auf die Einstiegshöhe der</i> | <i>1. Türe</i> | <i>2. bis 5. Türe</i> |

Abbildung 16: Korrekturwerte auf der Linie bei Beladung Δ 50% mit Profiltiefe 8 und 12mm

Sofern auch auf der Linie das Reifenprofil gemessen werden konnte, werden hier die Werte „Korrektur neuer Reifen“ aus der **Beilage 13** entnommen und mit den Werten „Korrektur Eindrückung Reifen“ und „Korrektur kein Übersteuern“ zur korrigierten Einstiegshöhe ergänzt:

| | | |
|--|----------------|------------------------|
| Korrekturen Einstiegshöhe: Korrekturwerte auf der Linie: Beladung Δ 50% | 1. Achse | 2. und folgende Achsen |
| Korrektur neuer Reifen (Wert aus Beilage 13 , sofern vorhanden) | --- | --- |
| Korrektur Eindrückung Reifen bei Δ 50% Beladung: 1. Achse -4 mm, 2. und nachfolgende Achsen -8mm | -4 | -8 |
| Korrektur kein Übersteuern Δ 50% Beladung: angenommener Wert -1mm | -1 | -1 |
| <i>Korrektur bei den Achsen</i> | --- - 5 | --- - 9 |
| <i>ca. gleicher Einfluss auf die Einstiegshöhe der</i> | <i>1. Türe</i> | <i>2. bis 5. Türe</i> |

Abbildung 17: Korrekturwerte auf der Linie bei Beladung Δ 50% mit effektiver Profiltiefe

8.13 Korrekturen Einstiegshöhe 12m-Busse im Depot

Da im Depot die Profiltiefen gemessen wurden (zwischen 5.5 bis 20mm), wird die Einstiegshöhe mit effektiven Werten korrigiert (vgl. **Abbildung 14**):

| Marke und Typ | MAN NL 313 | Merc.-Benz Citaro O 530 | Neoplan N 4516 | Scania HESS N 94 UB | Solaris Urbino | Van Hool A 330 | Volvo HESS B7L |
|---|------------|----------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1. Türe vor Vorderachse | | | | | | | |
| * OHNE Kneeling | 350 | 323 | 338 | 338 | 349 | 349 | 337 |
| * MIT Kneeling | 270 | 240 | 255 | 244 | 286 | 281 | 252 |
| Kneeling | 80 | 83 | 83 | 94 | 63 | 68 | 85 |
| Profiltiefe | 10 | 19 | 9 | 7 | 11.5 | 6 | 5.5 |
| Korrekturwerte im Depot: Beladung Δ 100% | | | | | | | |
| Verschleiss eff. | 9 | 0 | 10 | 12 | 7.5 | 13 | 13.5 |
| Eindrückung 100% -8 Übersteuern 100% -3 | | | | | | | |
| * OHNE Kneeling | 348 | 312 | 337 | 339 | 345.5 | 351 | 339.5 |
| * MIT Kneeling | 268 | 229 | 254 | 245 | 282.5 | 283 | 254.5 |

2. Türe vor Hinterachse

| | | | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|
| * OHNE Kneeling | 370 | 351 | 370 | 348 | 372 | 352 | 351 |
| * MIT Kneeling | 290 | 259 | 287 | 266 | 316 | 294 | 310 |
| Kneeling | 80 | 92 | 83 | 82 | 56 | 58 | 41 |
| Profiltiefe | 16 | 19 | 19 | 16 | 16 | 8 | 19 |
| Korrekturwerte im Depot: Beladung Δ 100% | | | | | | | |
| Verschleiss eff. | 3 | 0 | 0 | 3 | 3 | 11 | 0 |
| Eindrückung 100% -15 Übersteuern 100% -3 | | | | | | | |
| * OHNE Kneeling | 355 | 333 | 352 | 333 | 357 | 345 | 333 |
| * MIT Kneeling | 275 | 241 | 269 | 251 | 301 | 287 | 292 |

3. Türe nach Hinterachse

| | | | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|
| * OHNE Kneeling | 346 | 347 | 374 | | 374 | 325 | 366 |
| * MIT Kneeling | 274 | 247 | 292 | 307 | 322 | 272 | 364 |
| Kneeling | 72 | 100 | 82 | | 52 | 53 | 2 |
| Profiltiefe | 16 | 19 | 19 | 16 | 16 | 8 | 19 |
| Korrekturwerte im Depot: Beladung Δ 100% | | | | | | | |
| Verschleiss eff. | 3 | 0 | 0 | 3 | 3 | 11 | 0 |
| Eindrückung 100% -15 Übersteuern 100% -3 | | | | | | | |
| * OHNE Kneeling | 331 | 329 | 356 | | 359 | 318 | 348 |
| * MIT Kneeling | 259 | 229 | 274 | 292 | 307 | 265 | 346 |

* Einstiegshöhe

Tabelle 1: Korrektur der Einstiegshöhe der 12m-Busse im Depot bei Beladung Δ 100% mit gemessener Profiltiefe

8.14 Korrekturen Einstiegshöhe 18m-Busse im Depot:

Mit den gemessenen Profiltiefen wird die Einstiegshöhe auch hier korrigiert (vgl. **Abbildung 14**):

| Marke und Typ | HESS BGT.N2C | MAN NG 353 | MAN NL 363 | Merc.-Benz O 530 G | Neoplan N 4522 | Solaris Urbino | Van Hool AG 300 | Volvo 7000 | Volvo Hess B7LA |
|---|-----------------|------------|------------|-----------------------|-------------------|----------------|--------------------|------------|--------------------|
| 1. Türe vor Vorderachse | | | | | | | | | |
| * OHNE Kneeling | 317 | 361 | 293 | 299 | 348 | 368 | 306 | - | 330 |
| * MIT Kneeling | 248 | 245 | 228 | 221 | | 296 | 260 | - | 278 |
| Kneeling | 69 | 116 | 65 | 78 | | 72 | 46 | | 52 |
| Profiltiefe | 13.5 | 10 | 10 | 9 | | 12.5 | 8 | 9 | 15 |
| Korrekturwerte im Depot: Beladung Δ 100% | | | | | | | | | |
| Verschleiss eff. | 5.5 | 9 | 9 | 10 | | 6.5 | 11 | | 4 |
| Eindrückung 100% -8 Übersteuern 100% -3 | | | | | | | | | |
| * OHNE Kneeling | 311.5 | 359 | 291 | 298 | | 363.5 | 306 | | 323 |
| * MIT Kneeling | 242.5 | 243 | 226 | 220 | | 291.5 | 260 | | 271 |

2. Türe vor Hinterachse

| | | | | | | | | | |
|---|----------|-----------|----------|----------|-----|----------|----------|----|----------|
| * OHNE Kneeling | 349 | 365 | 376 | 338 | 347 | 353 | 351 | - | 360 |
| * MIT Kneeling | 278 | 290 | 305 | 282 | | 292 | 309 | - | 313 |
| Kneeling | 71 | 75 | 71 | 56 | | 61 | 42 | | 47 |
| Profiltiefe | 19 | 8 | 10 | 10 | | 14 | 18 | 11 | 10 |
| Korrekturwerte im Depot: Beladung Δ 100% | | | | | | | | | |
| Verschleiss eff. | 0 | 11 | 9 | 9 | | 5 | 1 | | 9 |
| Eindrückung 100% -15 Übersteuern 100% -3 | | | | | | | | | |
| * OHNE Kneeling | 331 | 358 | 367 | 329 | 329 | 340 | 334 | | 351 |
| * MIT Kneeling | 260 | 283 | 296 | 273 | | 279 | 292 | | 304 |

(Beim Gelenkbus gibt es keine 3. Türe zwischen der 2. Achse und dem Abdeckbalg des Gelenkes. Deshalb wird die nächste Türe im Anhänger als 4. Türe bezeichnet.)

4. Türe vor Anhängerachse im Gelenkbus

| | | | | | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|----|-----|
| * OHNE Kneeling | 333 | 360 | 365 | 330 | 330 | 350 | 321 | - | 367 |
| * MIT Kneeling | 264 | 287 | 283 | 280 | | 291 | 276 | - | 329 |
| Kneeling | 69 | 73 | 82 | 50 | | 59 | 45 | | 38 |
| Profiltiefe | 17 | 14 | 20 | 8.5 | | 12 | 7 | 16 | 12 |
| Korrekturwerte im Depot: Beladung Δ 100% | | | | | | | | | |
| Verschleiss eff. | 2 | 5 | -1 | 10.5 | | 7 | 12 | | 7 |
| Eindrückung 100% -15 Übersteuern 100% -3 | | | | | | | | | |
| * OHNE Kneeling | 317 | 347 | 346 | 322.5 | | 339 | 315 | | 356 |
| * MIT Kneeling | 248 | 274 | 264 | 272.5 | | 280 | 270 | | 318 |

5. Türe nach Anhängerachse im Gelenkbus

| | | | | | | | | | |
|---|----|-----|----|-------|-----|-----|-----|----|-----|
| * OHNE Kneeling | - | 352 | | 393 | 335 | 361 | 324 | - | 313 |
| * MIT Kneeling | - | 262 | | 335 | | 295 | 269 | - | 283 |
| Kneeling | | 90 | | 58 | | 66 | 55 | | 30 |
| Profiltiefe | 17 | 14 | 20 | 8.5 | | 12 | 7 | 16 | 12 |
| Korrekturwerte im Depot: Beladung Δ 100% | | | | | | | | | |
| Verschleiss eff. | 2 | 5 | -1 | 10.5 | | 7 | 12 | | 7 |
| Eindrückung 100% -15 Übersteuern 100% -3 | | | | | | | | | |
| * OHNE Kneeling | | 339 | | 385.5 | | 350 | 318 | | 302 |
| * MIT Kneeling | | 249 | | 327.5 | | 284 | 263 | | 272 |

* Einstiegshöhe

Tabelle 2: Korrektur der Einstiegshöhe der 18m-Busse im Depot bei Beladung Δ 100% mit gemessener Profiltiefe

9 Messungen im Depot: Einstiegshöhe

In der Beilage 8 sind die einzelnen Messresultate aus umfangreichen Messprotokollen bereits zusammengefasst, da die Wiedergabe dieser Protokolle in diesem Bericht Grenzen überschreiten würde.

Zur Auswertung wurden zudem der maximale und der minimale Wert gestrichen (vgl. Beilage 8). Die Spalten mit der Bemerkung „ohne gestrichene Extremwerte“ enthalten demnach diese Extreme nicht mehr. Diese pragmatische Vorgehensweise wurde anstelle umfassender statistischer Analysen gewählt. Damit werden die grössten Fehler durch unregelmässige Messgegebenheiten und Messungsfehler für die Messauswertung rausgenommen.

Das Schema sieht wie folgt aus:

| | | | | | |
|--|---------------|--|---|---|--|
| | <i>Mittel</i> | <i>Mittel ohne gestrichene Extremwerte</i> | <i>Maximum ohne gestrichene Extremwerte</i> | <i>Minimum ohne gestrichene Extremwerte</i> | Diff. Maximum-Minimum (ohne gestrichene Extremwerte) |
|--|---------------|--|---|---|--|

Mittel: Sofern mehrere Messungen durchgeführt werden konnten, kann eine Mittelung erfolgen. Bei wenigen Messungen ist eine Mittel nicht sinnvoll und die wenigen Messungen müssen eher vorsichtig interpretiert werden.

Mittel ohne gestrichene Extremwerte: Wie bereits gleich oben erwähnt, wird das Mittel wiedergegeben ohne den Maximal- und Minimalwert.

Maximum ohne gestrichene Extremwerte: Ohne den gelöschten Maximalwert aus den Messwerten wird der verbleibende höchste Messwert aufgeführt.

Minimum ohne gestrichene Extremwerte: Ohne den gelöschten tiefsten Messwert wird wiederum aus der Messreihe der tiefste Messwert dargestellt.

Diff. Maximum-Minimum (ohne gestrichene Extremwerte): Interessant ist auch die Spanne zwischen dem obersten und untersten Messresultat, dies ohne den obersten und untersten Wert, der ja vereinfacht angenommen auf einem Fehler am Messobjekt (dem Bus), in der Messumgebung oder Messung selber basieren könnte.

Die gewählte Auswertung der Messresultate wird v.a. in den Messungen auf der Linie schwierig einzuhalten sein, weil in diesen uneinheitliche resp. nichtvollständige Messergebnisse erzielt werden konnten.

Zum Beispiel wurde bei einer geringen Anzahl Messwerten an nur ca. 3 Bussen oder mit mehreren Bussen, bei denen für das gleiche Messkriterium nur ca. 3 Messungen möglich waren, das Mittel noch gebildet, jedoch keine Extremwerte gelöscht.

Wie stellt man nun die grosse Anzahl der Zahlen schnell erkennbar dar? Hier wurden die Farben gewählt, welche als Schriftfarben in der Word-Textverarbeitung zur Verfügung gestellt werden. Für Schriften sind dies (ohne die weiteren Farben anzuwählen) 8 x 5 Möglichkeiten (in 8 Spalten und 5 Zeilen). Aus diesem Auswahlfenster Schriftfarben in der WORD-Textverarbeitung wurden folgende Farben gewählt und mit den hier eingeführten „Farb-Nummern“ versehen:

| | | | | | | | |
|----|---|---|----|----|----|----|----|
| 17 | 2 | | 15 | | 14 | 13 | 16 |
| 7 | 1 | 8 | | 10 | 12 | | |
| 6 | | | 9 | | 11 | 4 | |
| 5 | | | | | | 3 | |
| | | | | | | | |

Diese Farben werden den gemessenen Werten der Einstiegshöhe zwischen 220 bis 390 mm Höhe wie folgt zugeordnet:

| Gewählte Farben aus den Auswahlfenster in der WORD-Textverarbeitung (vgl. gleich oben oder in Ihrer WORD-SW im Fenster Schriftfarbe): | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----|-----|-----|---|-----|---|--|-----|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| Einstiegshöhe (mm, von - bis): | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 220 | 230 | 240 | 250 | 260 | 270 | 280 | 290 | 300 | 310 | 320 | 330 | 340 | 350 | 360 | 370 | 380 |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 229 | 239 | 249 | 259 | 269 | 279 | 289 | 299 | 309 | 319 | 329 | 339 | 349 | 359 | 369 | 379 | 389 |
| Zusammenfassung für einfachere Interpretation: | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Einstiegshöhe 220-290 mm in den Farben gelb-violett-rot-braun | | | | | | | Einstiegshöhen 290-350 mm im Farbenbereich grün-blau | | | | | Einstiegshöhen 350-390 mm in dunklen Farben | | | | |
| Korrekte Einstiegshöhe 1. Türe OHNE Kneeling* | | | | | | | | | | 310 | 320 | | | | | |
| | | | | | | | | | | - | - | | | | | |
| Korrekte Einstiegshöhe 2. Türe OHNE Kneeling* | | | | | | | | | | 330 | 340 | | | | | |
| | | | | | | | | | | - | - | | | | | |
| | | | | | | | | | | 319 | 329 | | | | | |
| | | | | | | | | | | 339 | 349 | | | | | |
| | | 240 | 250 | Korrekte Einstiegshöhe 1. Türe MIT Kneeling** | | | | | | | | | | | | |
| | | - | - | | | | | | | | | | | | | |
| | | 249 | 259 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | 260 | 270 | Korrekte Einstiegshöhe 2. Türe MIT Kneeling** | | | | | | | | | | |
| | | | | - | - | | | | | | | | | | | |
| | | | | 269 | 279 | | | | | | | | | | | |

Tabelle 3: Korrekte Einstiegshöhen

* Im **Kapitel 7** mit den Testmessungen wurde schon die vom Marktführers Mercedes-Benz genannte Einstiegshöhe ihrer Busse (ohne Kneeling, allerdings beladen) wiedergegeben. Diese werden hier aufgrund der grossen Verbreitung ihrer Busse als Massstab genommen. Zudem zeigen die Angaben der anderen Bushersteller, dass bei ihnen an der Türe 1 ebenfalls eine Einstiegshöhe von 320mm und an der 2. Türe von 340mm gilt (vgl. **Beilage 4**):

Bei beladenem Bus sollte die Einstiegshöhe ohne Kneeling an der ersten Türe 320 mm und bei den nachfolgenden 340 mm betragen.

** Wie ebenfalls in diesem **Kapitel 7** erwähnt, gilt als Empfehlung des Verbandes Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) mit Kneeling:

Mit Kneeling sollte die Einstiegshöhe an einer Tür 250 mm oder an zwei Türen eine Einstiegshöhe von jeweils 270 mm sein.

9.1 Korrigierte Einstiegshöhe der 12m-Busse im Depot:

Hier werden die bereits im Kapitel 8.13 korrigierten Werte der Einstiegshöhe nochmals wiedergegeben und mit der korrekten Einstiegshöhe (Table 3) verglichen, indem diese bei Übereinstimmung blau und rot umrahmt werden:

| Marke und Typ | MAN NL 313 | Merc.-Benz Citaro O 530 | Neoplan N 4516 | Scania HESS N 94 UB | Solaris Urbino | Van Hool A 330 | Volvo HESS B7L |
|---------------------------------|------------|----------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1. Türe vor Vorderachse | | | | | | | |
| ** OHNE Kneeling | 348 | 312 | 337 | 339 | 345.5 | 351 | 339.5 |
| ** MIT Kneeling | 268 | 229 | 254 | 245 | 282.5 | 283 | 254.5 |
| Kneeling | 80 | 83 | 83 | 94 | 63 | 68 | 85 |
| 2. Türe vor Hinterachse | | | | | | | |
| ** OHNE Kneeling | 355 | 333 | 352 | 333 | 357 | 345 | 333 |
| ** MIT Kneeling | 275 | 241 | 269 | 251 | 301 | 287 | 292 |
| Kneeling | 80 | 92 | 83 | 82 | 56 | 58 | 41 |
| 3. Türe nach Hinterachse | | | | | | | |
| ** OHNE Kneeling | 331 | 329 | 356 | | 359 | 318 | 348 |
| ** MIT Kneeling | 259 | 229 | 274 | 292 | 307 | 265 | 346 |
| Kneeling | 72 | 100 | 82 | | 52 | 53 | 2 |

** Einstiegshöhe korrigiert

Messauswertung:

| | <i>Mittel</i> | <i>Mittel ohne gestrichene Extremwerte</i> | <i>Maximum ohne gestrichene Extremwerte</i> | <i>Minimum ohne gestrichene Extremwerte</i> | Diff. Maximum-Minimum (ohne gestrichene Extremwerte) |
|--------------------------------|---------------|--|---|---|--|
| 1. Türe vor Vorderachse | | | | | |
| ** OHNE Kneeling | 339 | 342 | 348 | 337 | 11 |
| ** MIT Kneeling | 259 | 261 | 282.5 | 245 | 38 |
| Kneeling | 79 | 80 | 85 | 68 | 17 |
| 2. Türe vor Hinterachse | | | | | |
| ** OHNE Kneeling | 344 | 344 | 355 | 333 | 22 |
| ** MIT Kneeling | 274 | 275 | 292 | 269 | 23 |
| Kneeling | 70 | 72 | 83 | 56 | 27 |
| 3 Türe nach Hinterachse | | | | | |
| ** OHNE Kneeling | 340 | 341 | 356 | 329 | 27 |
| ** MIT Kneeling | 282 | 279 | 307 | 259 | 48 |
| Kneeling | 60 | 68 | 82 | 52 | 30 |

** Einstiegshöhe korrigiert

Nachfolgend werden für die 18m-Busse die korrigierten Werte aus dem Kapitel 8.14 wiederum in blauen und roten Rahmen als korrekte Einstiegshöhe (Table 3) markiert.

9.2 Korrigierte Einstiegshöhe der 18m-Busse im Depot:

| Marke und Typ | HESS BGT.N2C | MAN NG 353 | MAN NL 363 | Merc.-Benz O 530 G | Neoplan N 4522 | Solaris Urbino | Van Hool AG 300 | Volvo 7000 | Volvo Hess B7LA 6x2 |
|---------------------------------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------------|-------------------|-------------------|--------------------|------------|------------------------|
| 1. Türe vor Vorderachse | | | | | | | | | |
| ** OHNE Kneeling | 311.5 | 359 | 294 | 298 | | 363.5 | 306 | | 323 |
| ** MIT Kneeling | 242.5 | 243 | 226 | 220 | | 291.5 | 260 | | 271 |
| Kneeling | 69 | 116 | 65 | 78 | | 72 | 46 | | 52 |
| 2. Türe vor Hinterachse | | | | | | | | | |
| ** OHNE Kneeling | 331 | 358 | 367 | 329 | 329 | 340 | 334 | | 351 |
| ** MIT Kneeling | 260 | 283 | 296 | 273 | | 279 | 292 | | 304 |
| Kneeling | 71 | 75 | 71 | 56 | | 61 | 42 | | 47 |
| 4. Türe vor Achse im Anhänger | | | | | | | | | |
| ** OHNE Kneeling | 317 | 347 | 346 | 322.5 | | 339 | 315 | | 356 |
| ** MIT Kneeling | 248 | 274 | 264 | 272.5 | | 280 | 270 | | 318 |
| Kneeling | 69 | 73 | 82 | 50 | | 59 | 45 | | 38 |
| 5. Türe nach Achse im Anhänger | | | | | | | | | |
| ** OHNE Kneeling | | 339 | | 385.5 | | 350 | 318 | | 302 |
| ** MIT Kneeling | | 249 | | 327.5 | | 284 | 263 | | 272 |
| Kneeling | | 90 | | 58 | | 66 | 55 | | 30 |

| | <i>Mittel</i> | <i>Mittel ohne gestrichene Extremwerte</i> | <i>Maximum ohne gestrichene Extremwerte</i> | <i>Minimum ohne gestrichene Extremwerte</i> | <i>Diff. Max.-Min. (ohne gestrichene Extremwerte)</i> |
|---------------------------------------|---------------|--|---|---|---|
| 1. Türe vor Vorderachse | | | | | |
| ** OHNE Kneeling | 322 | 320 | 359 | 298 | 61 |
| ** MIT Kneeling | 251 | 249 | 271 | 226 | 45 |
| Kneeling | 71 | 67 | 78 | 52 | 26 |
| 2. Türe vor Hinterachse | | | | | |
| ** OHNE Kneeling | 342 | 341 | 358 | 329 | 29 |
| ** MIT Kneeling | 284 | 285 | 296 | 273 | 23 |
| Kneeling | 60 | 61 | 71 | 47 | 24 |
| 4. Türe vor Achse im Anhänger | | | | | |
| ** OHNE Kneeling | 335 | 334 | 347 | 317 | 30 |
| ** MIT Kneeling | 275 | 272 | 280 | 264 | 16 |
| Kneeling | 59 | 59 | 73 | 45 | 28 |
| 5. Türe nach Achse im Anhänger | | | | | |
| ** OHNE Kneeling | 339 | 336 | 350 | 318 | 32 |
| ** MIT Kneeling | 279 | 273 | 284 | 263 | 21 |
| Kneeling | 60 | 60 | 66 | 55 | 11 |

10 Messungen auf der Linie: Einstiegshöhe

Die Einstiegshöhe konnte auf der Linie bei den nachfolgend aufgeführten Bussen gemessen werden. Hier im Bericht sind nur die Einstiegshöhe bei der 1. und 2. Türe wiedergeben (Ausführliche Messzusammenfassung vgl. Beilage 13).

12m-Busse:

| | | | | |
|--------------|------------------|------------------|----------------|-------------------|
| MAN NL 313** | Merc.-Benz O 530 | Neoplan N 4516** | Scania N 94 UB | Solaris Urbino 12 |
|--------------|------------------|------------------|----------------|-------------------|

**baugleich

18m-Busse:

| | | | | | | | |
|------------|--------------------|-----------------|------------|-----------------|---------------|------------|-------------------|
| MAN NG 353 | Merc.-Benz O 530 G | Van Hool AG 300 | Volvo 7000 | Volvo HESS B7LA | Hess BGT-N2 C | MAN NG 363 | Solaris Urbino 18 |
|------------|--------------------|-----------------|------------|-----------------|---------------|------------|-------------------|

Das Ziel war, diese Busse auch mit Beladung einzubeziehen. Aufgrund der ein- und aussteigenden Gästen war die Messung jedoch schwierig und nur teilweise durchführbar. Dazu kommt, dass die Beladung durch Fahrgäste eher gering war. Entsprechend der wichtigen Funktion der elektronischen geregelten Luftfederung, nämlich die Belastung auszugleichen, sollte eigentlich auch kein Unterschied festgestellt werden können. Diese Messungen machen trotzdem Sinn, nämlich durch die grössere Menge der Messungen eine höhere Vertraulichkeit zu erhalten.

Zur Auswertung der gemessenen Einstiegshöhen wurden bei ausreichender Anzahl Messwerte - wie bereits im obigen Kapitel genannt - der maximale und der minimale Wert gestrichen.

Sofern die Profiltiefe nicht gemessen werden konnte, könnte man bei angenommener Profiltiefe an der 1. Achse von 8mm und an der 2. und nachfolgenden Achsen von 12mm eine Korrektur der Eindrückung der Reifen und eine Korrektur des Übersteuern vornehmen (vgl. Abbildung 16). Weil der Unterschied an der 1. Achse 6mm und an der 2. und nachfolgenden Achsen -2mm beträgt, wird hier auf die Korrektur verzichtet.

Sofern jedoch die Profiltiefe erfasst wurde, wird nachfolgend die Einstiegshöhe mit den Werten aus der Abbildung 17 vorgenommen.

10.1 Einstiegshöhe der 12m-Busse auf der Linie

MAN NL 313

| | STI (BE) | | | | <i>Mittel</i> |
|---------|---------------|----|-----|-----|-----------------|
| Bus-Nr. | 99 | 96 | 94 | 77 | 4 Busse in 1 öV |
| | MAN NL 313* | | | | MAN NL 313* |
| | OHNE Kneeling | | | | OHNE Kneeling |
| 1. Türe | 348 | | 310 | 343 | 334 |
| 2. Türe | 387 | | 339 | 362 | 363 |
| | MIT Kneeling | | | | MIT Kneeling |
| 1. Türe | 284 | | 266 | 257 | 269 |
| 2. Türe | 292 | | 286 | 285 | 288 |

Korrigierte Einstiegshöhe (Da die Profiltiefe gemessen werden konnte, wird die Einstiegshöhe gemäss **Abbildung 17** korrigiert):

| | STI (BE) | | | | <i>Mittel</i> |
|---------|---------------|-----|-----|-----|-----------------|
| Bus-Nr. | 99 | 96 | 94 | 77 | 4 Busse in 1 öV |
| | MAN NL 313* | | | | MAN NL 313* |
| | OHNE Kneeling | | | | OHNE Kneeling |
| 1. Türe | 350 | | 312 | 350 | 337 |
| 2. Türe | 379 | | 335 | 361 | 358 |
| | MIT Kneeling | | | | MIT Kneeling |
| 1. Türe | 286 | 325 | 268 | 264 | 273 |
| 2. Türe | 284 | 355 | 284 | 284 | 284 |

Mercedes.-Benz O 530

| | <i>Mittel</i> | <i>Mittel ohne gestrichene Extremwerte</i> | <i>Maximum ohne gestrichene Extremwerte</i> | <i>Minimum ohne gestrichene Extremwerte</i> | Diff. Max.-Min. (ohne gestrichene Extremwerte) |
|---------------------|---------------|--|---|---|--|
| 7 Busse in 2 öV | | | | | |
| Mercedes-Benz O 530 | | | | | |
| OHNE Kneeling | | | | | |
| 1. Türe | 318 | 317 | 322 | 305 | 17 |
| 2. Türe | 342 | 342 | 343 | 338 | 5 |
| MIT Kneeling | | | | | |
| 1. Türe | 235 | 235 | 238 | 230 | 8 |
| 2. Türe | 262 | 262 | 273 | 253 | 20 |

Neoplan N 4516

| | <i>Mittel</i> | <i>Mittel ohne gestrichene Extremwerte</i> | <i>Maximum ohne gestrichene Extremwerte</i> | <i>Minimum ohne gestrichene Extremwerte</i> | Diff. Max.-Min. (ohne gestrichene Extremwerte) |
|-----------------|---------------|--|---|---|--|
| 5 Busse in 1 öV | | | | | |
| Neoplan N 4516 | | | | | |
| OHNE Kneeling | | | | | |
| 1. Türe | 324 | 324 | 324 | 319 | 5 |
| 2. Türe | 350 | 349 | 353 | 346 | 7 |
| MIT Kneeling | | | | | |
| 1. Türe | 249 | 244 | 248 | 239 | 9 |
| 2. Türe | 275 | 273 | 277 | 268 | 9 |

Scania N 94 UB

| | ZVB (ZG) | | | VBL (LU) |
|-----------------------|----------|-----|-----|----------|
| Bus-Nr. | 121 | 120 | 123 | 57 |
| Scania N 94 UB | | | | |
| OHNE Kneeling | | | | |
| 1. Türe | 308 | 325 | 352 | 319 |
| 2. Türe | 349 | 340 | 365 | 340 |
| MIT Kneeling | | | | |
| 1. Türe | 252 | 277 | | 229 |
| 2. Türe | 282 | 298 | | 252 |

Solaris Urbino 12

| | WV (ZH) | | | | | <i>Mittel</i> |
|---------|-------------------|-----|-----|-----|-----|-------------------|
| Bus-Nr. | 284 | 207 | 203 | 209 | 289 | 5 Busse in 1 öV |
| | Solaris Urbino 12 | | | | | Solaris Urbino 12 |
| | OHNE Kneeling | | | | | OHNE Kneeling |
| 1. Türe | | | 340 | 359 | 361 | 353 |
| 2. Türe | | | 369 | 358 | 358 | 362 |
| | MIT Kneeling | | | | | MIT Kneeling |
| 1. Türe | 282 | 294 | 286 | 309 | 295 | 296 |
| 2. Türe | 290 | 289 | 312 | 304 | | 302 |

Korrigierte Einstiegshöhe (Die Profiltiefe wurde bei der Bus-Nr. 203 gemessen, deshalb wird die Einstiegshöhe gemäss **Abbildung 17** korrigiert):

| | WV (ZH) |
|---------|-------------------|
| Bus-Nr. | 203 |
| | Solaris Urbino 12 |
| | OHNE Kneeling |
| 1. Türe | 346 |
| 2. Türe | 373 |
| | MIT Kneeling |
| 1. Türe | 292 |
| 2. Türe | 316 |

10.2 Einstiegshöhe der 18m-Busse auf der Linie

MAN NG 353

| | <i>Mittel</i> | <i>Mittel ohne gestrichene Extremwerte</i> | <i>Maximum ohne gestrichene Extremwerte</i> | <i>Minimum ohne gestrichene Extremwerte</i> | Diff. Max.-Min. (ohne gestrichene Extremwerte) |
|------------------------|---------------|--|---|---|--|
| 5 Busse in 1 öV | | | | | |
| MAN NG 353 | | | | | |
| OHNE Kneeling | | | | | |
| 1. Türe | 350 | 349 | 353 | 346 | 7 |
| 2. Türe | 363 | 362 | 369 | 358 | 11 |
| MIT Kneeling | | | | | |
| 1. Türe | 284 | 286 | 291 | 277 | 14 |
| 2. Türe | 294 | 293 | 294 | 291 | 3 |

Korrigierte Einstiegshöhe

Da diese Busse alle an einer Endhaltestelle gemessen wurden, also ohne Beladung, wird hier eingesetzt:

1. Achse: **Korrektur neuer Reifen (Beilage 13)**, **Eindrückung 100% -8**, **Übersteuern 100% -3**

2. Achse: **Korrektur neuer Reifen (Beilage 13)**, **Eindrückung 100% -15**, **Übersteuern 100% -3**

| | | | | | | Mittel | Mittel ohne gestrichene Extremwerte | Maximum ohne gestrichene Extremwerte | Minimum ohne gestrichene Extremwerte | Diff. Maximum-Minimum (ohne gestrichene Extremwerte) |
|---------|---------------|-----|-----|-----|-----|-----------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--|
| | BVB (BS) | | | | | | | | | |
| Bus-Nr. | 787 | 780 | 755 | 774 | 785 | 5 Busse in 1 öV | | | | |
| | MAN NG 353 | | | | | MAN NG 353 | | | | |
| | OHNE Kneeling | | | | | OHNE Kneeling | | | | |
| 1. Türe | 337 | 358 | 342 | 346 | 343 | 345 | 344 | 346 | 342 | 4 |
| 2. Türe | 357 | 345 | 362 | 345 | 344 | 351 | 349 | 357 | 345 | 12 |
| | MIT Kneeling | | | | | MIT Kneeling | | | | |
| 1. Türe | 272 | 286 | 267 | 284 | 286 | 279 | 281 | 286 | 272 | 14 |
| 2. Türe | 281 | 281 | 291 | 278 | 278 | 282 | 280 | 281 | 278 | 3 |

Mercedes.-Benz O 530 G

| | Mittel | Mittel ohne gestrichene Extremwerte | Maximum ohne gestrichene Extremwerte | Minimum ohne gestrichene Extremwerte | Diff. Max.-Min. (ohne gestrichene Extremwerte) |
|--------------------|--------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--|
| 9 Busse in 3 öV | | | | | |
| Merc.-Benz O 530 G | | | | | |
| OHNE Kneeling | | | | | |
| 1. Türe | 312 | 313 | 330 | 295 | 35 |
| 2. Türe | 343 | 343 | 357 | 327 | 30 |
| MIT Kneeling | | | | | |
| 1. Türe | 237 | 238 | 246 | 223 | 23 |
| 2. Türe | 287 | 287 | 318 | 273 | 45 |

Korrigierte Einstiegshöhe (Die Profiltiefe wurde gemessen, deshalb wird die Einstiegshöhe gemäss **Abbildung 17** ebenfalls korrigiert):

| | | | | | | Mittel | Mittel ohne gestrichene Extremwerte | Maximum ohne gestrichene Extremwerte | Minimum ohne gestrichene Extremwerte | Diff. Maximum-Minimum (ohne gestrichene Extremwerte) |
|---------|--------------------|-----|-------|----------|-----|--------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--|
| | STI (BE) | | | VBL (LU) | | 5 Busse in 2 öV | | | | |
| Bus-Nr. | 74 | 76 | -> 76 | 132 | 135 | 5 Busse in 2 öV | | | | |
| | Merc. Benz O 530 G | | | | | Merc.-Benz O 530 G | | | | |
| | OHNE Kneeling | | | | | OHNE Kneeling | | | | |
| 1. Türe | 327 | 312 | 284 | 321 | 312 | 306 | 310 | 316 | 307 | 9 |
| 2. Türe | 350 | 346 | 323 | 353 | 333 | 332 | 334 | 341 | 324 | 17 |
| | MIT Kneeling | | | | | MIT Kneeling | | | | |
| 1. Türe | 255 | 268 | 248 | 246 | 218 | 242 | 245 | 250 | 241 | 9 |
| 2. Türe | 318 | 325 | 313 | 292 | 279 | 296 | 299 | 309 | 283 | 26 |

Van Hool AG 300

| | Mittel | Mittel ohne gestrichene Extremwerte | Maximum ohne gestrichene Extremwerte | Minimum ohne gestrichene Extremwerte | Diff. Max.-Min. (ohne gestrichene Extremwerte) |
|-----------------|--------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--|
| 6 Busse in 1 öV | | | | | |
| Van Hool AG 300 | | | | | |
| OHNE Kneeling | | | | | |
| 1. Türe | 319 | 320 | 327 | 312 | 15 |
| 2. Türe | 340 | 338 | 343 | 335 | 8 |

Volvo 7000

An 2 Bussen wurden Messungen der Einstiegshöhe an nachfolgenden Haltestellen auf ihrer Linie durchgeführt (immer ohne Kneeling):

| | Mittel | Mittel ohne gestrichene Extremwerte | Maximum ohne gestrichene Extremwerte | Minimum ohne gestrichene Extremwerte | Diff. Max.-Min. (ohne gestrichene Extremwerte) |
|--|--------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Bus Nr. 330 in Genf, viele Messungen (ohne Kneeling) | | | | | |
| Volvo 7000 | | | | | |
| OHNE Kneeling | | | | | |
| 1. Türe | 327 | 330 | 342 | 320 | 22 |
| 2. Türe | 363 | 363 | 375 | 352 | 23 |

| | <i>Mittel</i> | <i>Mittel ohne gestrichene Extremwerte</i> | <i>Maximum ohne gestrichene Extremwerte</i> | <i>Minimum ohne gestrichene Extremwerte</i> | Diff. Max.-Min. (ohne gestrichene Extremwerte) |
|---|---------------|--|---|---|--|
| Bus Nr. 323 in Genf, viele Messungen (ohne Kneeling) | | | | | |
| Volvo 7000 | | | | | |
| OHNE Kneeling | | | | | |
| 1. Türe | 330 | 330 | 335 | 325 | 10 |
| 2. Türe | 354 | 353 | 358 | 346 | 12 |

Volvo HESS B7LA

| | VBSH (SH) | | | <i>Mittel</i> |
|---------|-----------------|-----|-----|-----------------|
| Bus-Nr. | 16 | 11 | 8 | 3 Busse in 1 öV |
| | Volvo HESS B7LA | | | Volvo HESS B7LA |
| | OHNE Kneeling | | | OHNE Kneeling |
| 1. Türe | | 342 | | |
| 2. Türe | | 330 | | |
| | MIT Kneeling | | | MIT Kneeling |
| 1. Türe | 258 | 267 | 227 | 251 |
| 2. Türe | 274 | 275 | 277 | 275 |

Zusätzlich wurden Messungen am Volvo HESS B7LA in Bern durchgeführt:

| | <i>Mittel</i> | <i>Mittel ohne gestrichene Extremwerte</i> | <i>Maximum ohne gestrichene Extremwerte</i> | <i>Minimum ohne gestrichene Extremwerte</i> | Diff. Max.-Min. (ohne gestrichene Extremwerte) |
|------------------------|---------------|--|---|---|--|
| 3 Busse in 1 öV | | | | | |
| Volvo HESS B7LA | | | | | |
| OHNE Kneeling | | | | | |
| 2. Türe | 371 | 373 | 376 | 368 | 4 |
| MIT Kneeling | | | | | |
| 2. Türe | 322 | 324 | | | |

Hess BGT-N2 C

| | TPG (GE) | |
|---------------|----------|--------|
| Bus-Nr. | 731 | -> 731 |
| Hess BGT-N2 C | | |
| OHNE Kneeling | | |
| 1. Türe | 283 | 316 |
| 2. Türe | 322 | 308 |

MAN NG 363

| | STI (BE) | |
|---------------|----------|-----|
| Bus-Nr. | 102 | 105 |
| MAN NG 363 | | |
| OHNE Kneeling | | |
| 1. Türe | 331 | 309 |
| 2. Türe | 360 | 362 |
| MIT Kneeling | | |
| 1. Türe | 261 | 234 |
| 2. Türe | 298 | 282 |

Solaris Urbino 18

| | VW (ZH) |
|--------------------|---------|
| Bus-Nr. | 331 |
| Solaris Urbino 18m | |
| OHNE Kneeling | |
| 1. Türe | 343 |
| 2. Türe | 352 |
| MIT Kneeling | |
| 1. Türe | 286 |
| 2. Türe | 294 |

11 Interpretation der Messungen Einstiegshöhe

In **Kapitel 9** wurde gezeigt:

Bei beladenem Bus sollte die Einstiegshöhe ohne Kneeling an der ersten Türe 320 mm und bei den nachfolgenden 340 mm betragen.

Beilage 4 zeigt die Werte der Hersteller für die Einstiegshöhe bei beladenem Bus (mit neuen Reifen):

| Marke und Typ | Abstand Boden zu Karosserieunterkante | Einstiegshöhe Tür #1 | Einstiegshöhe Tür #2 |
|-----------------------|---------------------------------------|----------------------|----------------------|
| 12m-Busse | | | |
| MAN NL 313** | 280 | 320 | 340 |
| Merc.-Benz O 530 | 273 | 320 | 340 |
| Neoplan N 4516** | 280 | 320 | 340 |
| Scania N 94 UB | 275 | 327 | 327 |
| Solaris Urbino 12 | | 320 | |
| Volvo HESS B7L | | 327 | 327 |
| 18m-Busse | | | |
| MAN NG 353 | 280 | 320 | 340 |
| Merc.-Benz O 530 G | 273 | 320 | 340 |
| Van Hool AG 300 | | 330 | 330 |
| Volvo 7000 | 275 | 320 | 340 |
| Volvo HESS B7LA | | 327 | 327 |
| Neoplan N 6121 Bimode | | | |

Die Höhe des Aufbaus im Zusammenspiel mit der Geometrie und Massen resp. Kräfte sind in der Luftfederregelung zusammen mit der Dämpfung so aufeinander abzustimmen, dass ein ausgewogener und sicherer Fahrdynamikzustand entsteht. Dies ist zwar eine nicht allzu einfache Aufgabe, sollte jedoch von den Busherstellern angestrebt werden hin zu den von ihnen angegebenen Einstiegshöhen.

An den Bushaltestellen stehen die Busse still, müssen keiner Fahrdynamik gerecht werden. Allenfalls kommen im abgesenkten Zustand mittels Kneeling Kräfte auf die Achsgeometrie, die beachtet werden müssen. Ansonsten ist die Einstellung der Einstiegshöhe mit Kneeling durch die Parameter der Luftfederregelung frei einstellbar. Diese sollte nach Empfehlung des Verbandes Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) mit Kneeling betragen (vgl. ebenfalls **Kapitel 9**):

Mit Kneeling sollte die Einstiegshöhe an einer Tür 250 mm oder an zwei Türen eine Einstiegshöhe von jeweils 270 mm sein.

Für die Messungen der Einstiegshöhe wurden in **Kapitel 8** die Einflüsse analysiert. Infolge dieser Einflüsse wurde das Betrachtungsfenster der optimalen Einstiegshöhe auf eine Spanne ± 10 mm erweitert:

| | |
|---|-----------|
| Korrekte Einstiegshöhe 1. Türe OHNE Kneeling* | |
| | 310 - 329 |
| Korrekte Einstiegshöhe 2. Türe OHNE Kneeling* | |
| | 330 - 349 |
| Korrekte Einstiegshöhe 1. Türe MIT Kneeling** | |
| | 240 - 259 |
| Korrekte Einstiegshöhe 2. Türe MIT Kneeling** | |
| | 260 - 279 |

Bei der Auswertung in Kapitel 9 und Kapitel 10 wurden die Einstiegshöhen korrigiert, sofern es aufgrund bekannter Einflüsse möglich war. In diesen Kapiteln ist auch ersichtlich, wie gross sich diese Einflüsse auf die Einstiegshöhe auswirken.

Mit elektronischer Luftfederregelung

Ohne jede einzelne Auswertetabelle der Einstiegshöhe in diesen beiden Kapiteln noch zusätzlich zu kommentieren, muss folgendes erwähnt werden:

Die Fahrzeughersteller sollten grösseres Augenmerk auf die von ihnen ausgewiesene Einstiegshöhe richten, diese auch im praktischen Betrieb einzuhalten mithelfen.

Diese Aussage basiert auf der Einsicht in die genauen Einstellmöglichkeiten der elektronischen Luftfederregelung von z.B. WABCO. Mit diesen ist es relativ einfach möglich, die Einstiegshöhe den Wünschen resp. Vorgaben entsprechend einzustellen.

Ohne elektronische Luftfederregelung

Wir gestehen: Etwas geblendet von den Möglichkeiten der Einstellbarkeit und Vielfältigkeit der elektronischen Luftfederregelung wurde angenommen, dass Bushersteller ab ca. dem Jahre 2000 diese elektronischen Hilfen in ihrer Luftfederung einsetzen. Mercedes-Benz ermöglichte ab ca. dem Jahre 2000 die elektronische Kneeling-Absenkung und verbindet die elektronischen Möglichkeiten heute zu einem umfassenden Gesamtsystem, welche die Luftfeder-Elektronik als Teilsystem einbezieht.

Tatsache ist jedoch, dass nach Auskunft von Herrn Gisler der Firma HESS in Bellach in den Zwischenjahren die Busse meistens mit herkömmlichen, mechanischen Luftfederungen angeboten wurden, erst zukünftig mit elektronischen Systemen ausgerüstet werden.

Dilemma in der Interpretation der Messergebnisse sowie deren Auswertung:

Im Kapitel 8 wurden die Einflüsse der Luftregelung mit den Möglichkeiten der Elektronik ermittelt.

Der nächste Schritt wäre nun also zu ergründen, welche der betrachteten Busse elektronische oder noch mechanische Luftfederungen haben. Dies um die teils grossen Abweichungen in der Einstiegshöhe zuzuordnen.

Der hier gewählte Weg ist einfacher und soll im nachfolgenden Kapitel die Brücke schlagen zu den Erkenntnissen im 1. Projekt ¹¹.

¹¹ Fahrzeugtechnischen Betrachtungen zu Normentwurf für rollstuhlgerechte Bushaltestellen, Dynamic Test Center DTC, R. Soltermann

11.1 Vergleich mit dem 1. Projekt

Im o.g. 1. Projekt wurde von einer Empfehlung für die ideale Einstellung der Höhe der Unterkante von ca. 277 mm der Karosserie ausgegangen. Diese Empfehlung kann nun weitergehend kommentiert werden:

Aufbausenkung durch Beladung:

Die Annahme im 1. Projekt ging von einer Änderung des statischen Radius' von 8mm aus. Kapitel 8.6 zeigt höhere Werte, obwohl die Ermittlung der Reifeneindrückung etwas problematisch war:

| | 1. Projekt | Vorliegendes Projekt/Bericht |
|-------------------------------------|------------|---|
| Aufbausenkung durch Beladung | 8mm | 8mm an der 1. Achse, jedoch bis 15mm an der 2. Achse. |

Im 1. Projekt wurde auch die Hysterese der Blasbälge der Luftfederbälge mit 2mm einbezogen. Dieser Wert wurde nicht weiter untersucht und ist klein.

| | 1. Projekt | Vorliegendes Projekt/Bericht |
|-------------------------|------------|------------------------------|
| Hysterese der Blasbälge | 2mm | belanglos klein |

Reifenverschleiss:

Der Reifenverschleiss mit ca.19- 20mm kann übernommen werden, obwohl durch Aufgummieren der Reifen die Laufflächenhöhe nicht exakt ermittelt werden kann resp. sich Fehler in der Interpretation ergeben.

Durchbiegung des Aufbaus bei Belastung:

Die Biegelinie des Aufbaus in der Mitte der Achsen und für die halbe Belastung wurde auf ± 7.5 mm geschätzt und in diesem Nachfolgeprojekt nicht näher hinterfragt.

Luftdrucktoleranz in den Reifen:

Ursprünglich wurde von einem Fehler von 3mm ausgegangen. Sofern kein Schaden am Reifen den Luftdruck vermindert und die Einstelltoleranzen des Luftdruckes von ca. $\pm 10\%$ eingehalten werden, ist dieser Einfluss nicht erkennbar.

Fertigungstoleranzen des Aufbaus:

Die Erkenntnisse im Kapitel 4.2.1 bleiben bestehen, weil sie nicht näher analysiert wurden und nicht durch bessere Erkenntnisse korrigiert werden können:

- Geradheit des Chassis zwischen den Achsen eines geschweissten Buschassis ± 5 mm
- Toleranz bei der Breite der Achsen ± 1 mm
- Toleranz bei der Karosserie resp. bei der Fahrzeugbreite ± 2.5 mm
- Einbautoleranz der Achsen ca. ± 1 mm

Herstelltoleranz des Reifenquerschnittes:

Der auf den Reifenquerschnitt bezogene Fehler ist mit $\pm 3\%$ als Konstruktionstoleranz beachtliche ± 6 mm als Unterschied im Aussenradius des Reifens.

Im 1. Projekt wurde angenommen, dass der Fehler auf den statischen Radius etwas geringer ist, nämlich geschätzte ± 4 mm. Diese Annahme erwies sich als falsch, da zwischen unseren Messungen gegenüber den Normierungsbehörde ERTRO Fehler erkennbar wurden, die Angaben der Reifenhersteller besser sind. Dazu kommen für die Interpretation Fehlmasse durch die Firmen, welche die Reifen aufgummieren.

11.2 Grösste Einflüsse auf die Einstiegshöhe

Einstellung Einstiegshöhe und Absenkmass des Kneeling:

Die Einstellung der aufbauhöhenbestimmenden Luftfederbälge kann korrigiert werden. Die Toleranz der Steuerventile beträgt $\pm 5\text{mm}$. Dies war die ursprüngliche Aussage aus dem 1. Projekt.

Hier wird unterschieden zwischen einer herkömmlichen „mechanischen Luftfederregelung“ und einer „elektronischen Luftfederregelung“, die mit einem System ähnlich der in diesem Bericht näher betrachteten ECAS-Regelung von WABCO unterstützt wird:

| | mechanische Luftfederregelung | elektronische Luftfederregelung |
|---|---|--|
| Einbau durch Bushersteller | Abstimmung der Fahrwerkgeometrie für möglichst harmonische Fahrdynamik nahe an propagierter Einstiegshöhe | |
| Einstellung durch Bushersteller | Bushersteller übernehmen Vorgaben der öV's oder bestimmen als Vorgabe die technischen Masswerte selbst | |
| Voreinstellung der Luftfederregelung | Ca. $\pm 5\text{mm}$ am „Stängeli“ zwischen Busaufbau und Fahrwerk | Starre Verbindung |
| Kalibrierung | Mit obiger Einstellung am „Stängeli“ | Feinfühlige Möglichkeiten unter Einbezug von Richtlinien der elektronischen Logik (geschulte Mitarbeiter nötig!) |
| Regelgenauigkeit | geschätzte ca. $\pm 10\text{mm}$ | Geschätzte ca. $\pm 5\text{mm}$ |
| Einstellbarkeit der Einstiegshöhe | Mechanisch orientiert, Prüfung mit Messung in mm am Bus notwendig | Abstrakte elektronische Eingaben, Prüfung zusätzlich mit Messung in mm am Bus notwendig |
| Nachstellung der Einstiegshöhe nach Reparatur oder Ersatz | Nachprüfung mit Messung in mm am Bus | |

Geschätzte Werte für die Regelgenauigkeit: Es konnten keine Aussagen über die Regelgenauigkeit ermittelt werden. Deshalb wird angenommen, dass die mechanische Luftfederregelung etwas ungenauer sein dürfte als die elektronische.

Für folgende Aussagen muss nicht unterschieden werden zwischen mechanischer und elektronischer Luftfederregelung.

Die Bushersteller werden sagen, dass sie die Einstellung genau vornimmt:

| | |
|---------------------------------|--|
| Einstellung durch Bushersteller | Bushersteller übernehmen Vorgaben der öV's oder bestimmen als Vorgabe die technischen Masswerte selbst |
|---------------------------------|--|

Wir haben jedoch bemerkt, dass dies teilweise nicht stimmt und in den Werkstätten der öffentlichen Verkehrunternehmen die Einstiegshöhe korrigiert werden musste (Beilage 11).

Am wichtigsten ist das Verständnis für eine möglichst richtige Einstiegshöhe. Dies erfordert jedoch eine neue Einstellung der massgebenden Elemente, sofern die Nachprüfung eine unterschiedliche Einstiegshöhe ergibt:

| | |
|---|----------------------------------|
| Nachstellung der Einstiegshöhe nach Reparatur oder Ersatz | Prüfung mit Messung in mm am Bus |
|---|----------------------------------|

Wir glauben, dass nur so die grossen Unterschiede in der Einstiegshöhe verbessert werden können. Allerdings gibt es neben den hier aufgeführten und diskutierten Einflüssen ein weiteres, wichtiges Kriterium mit einem grossen Einfluss. Dies sind die Bautoleranzen der Bushaltestelle.

Bautoleranzen der Bushaltestelle:

Anschlaghöhe der Bordsteinkante ± 3 bis 4 mm.

Diese Angabe aus dem 1. Projekt dürfte weiterhin richtig sein. In den Messungen kam jedoch ein viel grösserer Einfluss auf die Einstiegshöhe hinzu, nämlich die Geradlinigkeit der Bushalteplattform: Die Messungen der Einstiegshöhe ohne Kneeling an nachfolgenden Bushaltestellen ergaben bei einer Belastung von ca. 0 – 50% Fahrgästen Unterschiede in der Einstiegshöhe bis 20mm.

Es kann angenommen werden, dass zwischen den Bushaltestellen normalverteilte Unterschiede in der Geradlinigkeit bestehen und durch die grosse Anzahl Messungen die Abweichung der Luftfederung unberücksichtigt bleiben kann.

Die Messungen an aufeinanderfolgenden Bushaltestellen mit einem Bus Volvo 7000, Bus Nr. 330 in Genf, ergaben folgende Einstiegshöhen (immer ohne Kneeling) (**Beilage 13**):

| | | | | | | | | | | | | |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1. Türe | 285 | 341 | 326 | 325 | 326 | 342 | 332 | 342 | 320 | 330 | 328 | |
| 2. Türe | 361 | 383 | 346 | 352 | 365 | 375 | 370 | 362 | 362 | 366 | 349 | 368 |

Streicht man den maximalen und minimalen Wert (um mögliche Messfehler auszuschliessen), verbleiben folgende Einstiegshöhen:

| | | | | | | | | | | | | |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1. Türe | - | 341 | 326 | 325 | 326 | - | 332 | 342 | 320 | 330 | 328 | |
| 2. Türe | 361 | - | - | 352 | 365 | 375 | 370 | 362 | 362 | 366 | 349 | 368 |

| | Mittelwert | Standardabweichung | Varianz | Maximalwert | Minimalwert | Max-Min |
|---------|------------|--------------------|---------|-------------|-------------|---------|
| 1. Türe | 330 | 7.3 | 53 | 342 | 320 | 22 |
| 2. Türe | 363 | 7.8 | 65 | 375 | 349 | 26 |

Mit 95% Sicherheit liegen die Bushaltestellen auf dieser Linie in Genf in einem Bereich ‚Mittelwert ± 2 *Standardabweichung‘, also bei der 1. Türe zwischen 345 und 315mm und an der 2. Türe zwischen 379 und 347mm.

Diese gegenüber **Kapitel 8.4** etwas genauere Betrachtung zeigt also Unterschiede der Einstiegshöhe an der 1. Türe von ± 14.6 mm und an der 2. Türe ± 15.6 mm

68% der Bushaltestellen liegen innerhalb ‚Mittelwert \pm Standardabweichung‘, also bei der 1. Türe ± 7.3 mm (zwischen 337 und 323mm) und an der 2. Türe ± 7.8 mm (zwischen 371 und 355mm).

Der zweite gemessene Bus mit vielen Messungen auf seiner Linie (gleiche Beilage) ergab geringere Unterschiede. Allerdings wurden mit diesem auch eine kleinere Anzahl Messungen der Einstiegshöhe aufgenommen.

12 Messungen im Depot: Reifen

Im Depot wurden die Reifen gemessen und mit den Vorgaben der Normierungsbehörde für Reifen oder mit den Angaben der Reifenhersteller verglichen. Bereits im **Kapitel 8.6** wurde darauf hingewiesen, dass die Interpretation der Reifeneindrückung problematisch ist. Mit dem effektiven Reifendurchmesser und der Profiltiefe ergaben sich hochgerechnet Werte für neue Reifen, die im Durchmesser teilweise über den Vorgaben der Normierungsbehörde oder der Reifenhersteller waren (Details vgl. **Beilage 5** und **Beilage 8**). Die Ursache kann im Aufgummieren der Reifen liegen. Deshalb sind Werte in der untenstehenden Auswertung, welche schlicht nicht möglich sind, vgl. z.B. die mittlere Reifeneindrückung der 18m-Busse an der Vorderachse, welche als Eindrückung von leer zu voll beladen negativ ist (Minuszeichen heisst hier nach oben).

Bei den Messungen der Reifenbreite ergaben sich zudem Unterschiede, weil die Breite abhängig ist vom Abnutzungsgrad der Reifenflanke auf beiden Seiten des Reifens. Dies kann auch Auswirkungen haben auf die Messwerte der Abplattung.

Ob die mittlere halbe Abplattung an der 2. Achse der Gelenkbusse nur die Hälfte der übrigen Abplattungswerte durch höheren Luftdruck zustande kam, ist nicht bekannt. Es könnte durchaus sein, dass dieser Luftdruck an dieser Achse wegen höher zu erwartende Belastung grösser vorgeschrieben wird.

12.1 Reifen der 12m-Busse im Depot

Wiederum die gleichen betrachteten 12m-Busse:

| | | | | | | |
|--------------|----------------------------|------------------|---------------------|--------------------|----------------|----------------|
| MAN NL 313** | Mercedes-Benz Citaro O 530 | Neoplan N 4516** | Scania HESS N 94 UB | Solaris Urbino 12m | Van Hool A 330 | Volvo HESS B7L |
|--------------|----------------------------|------------------|---------------------|--------------------|----------------|----------------|

Reifen 12m-Busse:

| | <i>Mittel</i> | <i>Mittel ohne gestrichene Extremwerte</i> |
|-------------------------------|---------------|--|
| Messpunkte Vorderachse | | |
| Reifendurchmesser neu | 977 | 977 |
| Eindrückung leer->voll | 9 | 9 |
| Reifenbreite neu | 275 | 274 |
| halbe Abplattung | 8 | 8 |
| Messpunkte Hinterachse | | |
| Reifendurchmesser neu | 977 | 978 |
| Eindrückung leer->voll | 13 | 13 |
| Reifenbreite neu | 274 | 274 |
| halbe Abplattung | 8 | 8 |

12.2 Reifen der 18m-Busse im Depot

Bei den **18m-Bussen** wurden dieselben wie in den oberen Kapiteln betrachtet:

| | | | | | | | |
|---------------|---------------------------|--------------------|------------|-----------------------|-------------------|---------------|----------------------|
| MAN NG 353 | Merc.- Benz O 530 G | Van Hool AG 300 | Volvo 7000 | Volvo HESS B7LA | Hess BGT- N2 C | MAN NG 363 | Solaris Urbino 18 |
|---------------|---------------------------|--------------------|------------|-----------------------|-------------------|---------------|----------------------|

Reifen 18m-Busse:

| | <i>Mittel</i> | <i>Mittel ohne gestrichene Extremwerte</i> |
|---|---------------|--|
| Messpunkte Vorderachse | | |
| Reifendurchmesser neu | 976 | 975 |
| Eindrückung leer->voll | -2 | 7 |
| Reifenbreite neu | 279 | 274 |
| halbe Abplattung | 9 | 10 |
| Messpunkte Hinterachse (Zugfahrzeug) | | |
| Reifendurchmesser neu | 972 | 972 |
| Eindrückung leer->voll | 14 | 16 |
| Reifenbreite neu | 275 | 275 |
| halbe Abplattung | 4 | 4 |
| Messpunkte Achse im Anhänger, <u>Gelenkbus</u> | | |
| Reifendurchmesser neu | 974 | 972 |
| Eindrückung leer->voll | 7 | 6 |
| Reifenbreite neu | 277 | 272 |
| halbe Abplattung | 8 | 8 |

Es ist bekannt, dass innerorts und meistens auch über Land ein Reifen 275/70 R 22.5 verwendet wird.

Einzig Van Hool setzt einen speziellen Reifentyp an der Vorder- und „Anhänger“-Achse ein:

Van Hool New AG 300 (18m) mit einem Reifen Michelin X 315/60 R 22.5, in der ersten Achse sowieso und in der letzten Achse auch nicht doppelbereift, jedoch auch „gelenkt“.

13 Messungen im Depot: Karosserie

Im Depot wurde auch der Abstand der Radkomponenten zur Karosserie aufgenommen. Die Messpunkte sind in der Beilage 2 beschrieben und die Messwerte sind in der Beilage 8 aufgeführt.

In der gleichen Beilage 8 sind auch die Längenmasse der Busse eingetragen, so dass nachfolgend die Daten aus dem früheren Projekt (Beilage 4) ergänzt werden können.

13.1 Abstand zu Karosserie 12m-Busse

| Marke und Typ | | | | | | | |
|---------------|------------|-------------------------|----------------|---------------------|----------------|--------------------|----------------|
| | MAN NL 313 | Merc.-Benz Citaro O 530 | Neoplan N 4516 | Scania HESS N 94 UB | Solaris Urbino | Van Hool A 330 CNG | Volvo HESS B7L |

| Messpunkte Vorderachse | | | | | | | |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|
| Karosserie | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Radkasten-Scheuerleiste | -21 | -10 | -10 | -22 | | -7 | -18 |
| Laufflächeseite | 64 | 77 | 64 | 93 | 63 | 78 | 85 |
| Innerer Verschleissring | 49 | 65 | 55 | 83 | 53 | 70 | 71 |
| Felge | 64 | 83 | 76 | 101 | 70 | 87 | 89 |
| Radkappe (Schutzring) | 5 | -2 | 17 | 28 | 13 | 6 | 4 |

| Messpunkte Hinterachse | | | | | | | |
|-------------------------|-----|----|----|----|----|----|-----|
| Karosserie | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Radkasten-Scheuerleiste | -15 | -9 | | | | -8 | -22 |
| Laufflächeseite | 29 | 44 | 31 | 81 | 34 | 34 | 42 |
| Innerer Verschleissring | 15 | 33 | | 62 | 19 | 18 | 27 |
| Felge | 29 | 51 | 24 | 80 | 37 | 31 | 36 |
| Radkappe (Schutzring) | -10 | | | | 16 | | 16 |

Die halbe Abplattung der Reifen liegt bei ca. 8mm (vgl. Messungen Reifen). Das heisst, dass die Reifen unten um ca. 16mm breiter sind.

Diese halbe Abplattung kann bei obigen Messungen beim Abstand des inneren Verschleissringes zur Karosserie abgezogen werden.

13.2 Abstand zu Karosserie 18m-Busse

| Marke und Typ | | | | | | | | | |
|---------------|--------------|------------|------------|---------------------------|----------------|----------------|---------------------|------------|-----------------|
| | HESS BGT.N2C | MAN NG 353 | MAN NL 363 | Merc.-Benz Citaro O 530 G | Neoplan N 4522 | Solaris Urbino | Van Hool New AG 300 | Volvo 7000 | Volvo Hess B7LA |

Messpunkte Vorderachse

| | | | | | | | | | |
|-------------------------|-----|-----|-----|----|-----|----|----|----|-----|
| Karosserie | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Radkasten-Scheuerleiste | -16 | -8 | -16 | -5 | -12 | | -7 | -9 | -18 |
| Laufflächeseite | 105 | 62 | 63 | 84 | 61 | 60 | 64 | 96 | 103 |
| Innerer Verschleissring | 87 | 45 | 44 | 72 | 49 | 50 | 52 | 81 | 84 |
| Felge | 101 | 57 | 59 | 90 | 68 | 65 | 67 | 96 | 99 |
| Radkappe (Schutzring) | 15 | -26 | -2 | 5 | 12 | 9 | 9 | 19 | 15 |

Messpunkte Hinterachse (Zugfahrzeug)

| | | | | | | | | | |
|-------------------------|-----|----|-----|----|-----|----|----|----|-----|
| Karosserie | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Radkasten-Scheuerleiste | -22 | -8 | -15 | -7 | -16 | | -5 | -8 | -19 |
| Laufflächeseite | 74 | 36 | 30 | 49 | | 34 | 28 | 34 | 69 |
| Innerer Verschleissring | 50 | 19 | 13 | 32 | 3 | 26 | 11 | 20 | 42 |
| Felge | 68 | 36 | 32 | 54 | | 43 | 26 | 38 | 59 |
| Radkappe (Schutzring) | | 9 | -9 | | | 24 | | | |

Messpunkte Achse im Anhänger, Gelenkbus

| | | | | | | | | | |
|-------------------------|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|-----|
| Karosserie | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Radkasten-Scheuerleiste | -20 | -10 | -14 | -8 | -6 | | -9 | -8 | -20 |
| Laufflächeseite | 70 | 41 | 28 | 54 | | 44 | 66 | 39 | 63 |
| Innerer Verschleissring | 49 | 21 | 19 | 39 | 10 | 28 | 54 | 25 | 38 |
| Felge | 66 | 36 | 37 | 52 | | 37 | 70 | 42 | 57 |
| Radkappe (Schutzring) | | 15 | -12 | | | | 10 | | |

Diese halbe Abplattung von ca. 8mm kann wiederum beim Abstand des Verschleissringes zur Karosserie abgezogen werden.

13.3 Messungen im Depot: Längen

Die Tabelle aus dem 1. Projekt kann ergänzt werden mit den zusätzlich einbezogenen Bussen, der „neuen“ Fahrzeuglänge für Gelenkbusse 18,75 m (vgl. **Beilage 14**) und kleinen Korrekturen (Details vgl. am Ende der **Beilage 8**).

| Marke und Typ | Anzahl zwischen 2000-2004 | Gesamtlänge | Radstand | Radstand Anhängerrachse | Vorderer Überhang | hinterer Überhang | Position Tür #1 | Position Tür #2 | Position Tür #3 | Abstand Front zu 1. Türe | Abstand 1. Türe zu 2. Türe | Abstand 1. Türe zu 3. Türe im Anhänger |
|---|---------------------------|--------------|-------------|-------------------------|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------------|----------------------------|--|
| 12m-Busse | | | | | | | | | | | | |
| MAN NL 313** | 60 | 11950 | 5875 | | 2700 | 3375 | 1650 | 4250 | | 1050 | -5900 | |
| | | | | | | | | 2810 | | | -4423 | |
| Merc.-Benz O 530 | 262 | 11950 | 5845 | | 2705 | 3400 | 1600 | 4220 | | 1105 | -5820 | |
| Neoplan N 4516** | 41 | 11950 | 5875 | | 2700 | 3375 | 1650 | 4250 | | 1050 | -5900 | |
| | | | | | | | | 2815 | | | -4418 | |
| Scania N 94 UB | 28 | 11995 | 5875 | | 2731 | 3389 | 1610 | 3520 | | | -5130 | |
| Solaris Urbino 12 | 32 | 12000 | 5900 | | 2700 | 3400 | 1580 | 3590 | | 1120 | -5170 | |
| Volvo HESS B7L | 28 | 11965 | 5845 | | 2750 | 3370 | 1610 | 2860 | | 1140 | -4470 | |
| Van Hool A 330 CNG | 22 | 11995 | 5790 | | 2715 | 3490 | 1640 | 3400 | | 1075 | -5040 | |
| 18m-Busse | | | | | | | | | | | | |
| MAN NG 353 | 29 | 17950 | 5105 | 6770 | 2700 | 3375 | 1650 | 3550 | 10250 | 1050 | -5200 | -11900 |
| Merc-Benz O 530 G | 153 | 17940 | 5845 | 5990 | 2705 | 3400 | 1600 | 4220 | 10180 | 1105 | -5820 | -11780 |
| Van Hool AG 300 | 32 | 17985 | 5790 | 7150 | 2715 | 2330 | 1700 | 3300 | 10800 | 1015 | -5000 | -12500 |
| Volvo 7000 | 90 | 17944 | 5190 | 6755 | 2665 | 3334 | 1585 | 2715 | 9485 | 1080 | -4300 | -11070 |
| Volvo HESS B7LA | 25 | 17989 | 5230 | 6660 | 2700 | 3399 | 1610 | 2860 | 9480 | 1090 | -4470 | -11090 |
| | | | 5817 | 6100 | | | | | | | | |
| Van Hool AG 300 | 32 | 17985 | 5790 | 7150 | 2715 | 2330 | 1700 | 3300 | 10800 | 1015 | -5000 | -12500 |
| Van Hool AG 300 (Zeichnung) | | 18735 | 5790 | 7550 | 2715 | 2680 | 1515 | 3450 | 11595 | 1200 | -4965 | -13110 |
| Neoplan N 4522 | 20 | 18720 | 5875 | 6770 | 2700 | 3375 | 1620 | 4300 | 11045 | 1080 | -5920 | -12665 |
| Solaris Urbino | 20 | 18000 | 5130 | 6770 | 2700 | 3400 | 1600 | 2815 | 10173 | 1100 | -4415 | -11773 |
| MAN NL 363 | 20 | 17956 | 5078 | 6807 | 2725 | 3346 | 1623 | 3554 | 10307 | 1102 | -5177 | -11930 |
| HESS BGT.N2C | 34 | 17922 | 5858 | 5959 | 2700 | 3405 | 1584 | 2755 | 10204 | 1116 | -4339 | -11788 |
| Erklärung: (alle Masse in mm bis zur Mitte der Türen) | | | | | | | | | | | | |
| Position Tür #1: Abstand Vorderachse-vordere Tür | | | | | | | | | | | | |
| Position Tür #2: Abstand Vorderachse-mittlere Tür | | | | | | | | | | | | |
| Position Tür #3: Abstand Vorderachse -Türe vor der Achse des Anhängers | | | | | | | | | | | | |
| Radstand Anhängerrachse: Abstand zwischen 2. Achse im Zugfahrzeug und Achse im Anhänger | | | | | | | | | | | | |
| Vorderer Überhang: Abstand zwischen Front und Vorderachse | | | | | | | | | | | | |
| Hinterer Überhang: Abstand zwischen Heck und Hinterachse | | | | | | | | | | | | |

13.4 Front der Busse und Balg beim Gelenkbus sowie Karosserie-Unterkante

Bei den Bussen gibt es unterschiedliche Schutzeinrichtungen unter der Karosserie, dies v.a. an der Frontunterkante (Details mit Fotos vgl. Beilage 15):

| 12m-Busse | Anzahl zwischen 2000 bis Ende 2005 | Öffentlicher Verkehrs-betrieb | VERSCHLEISSSCHUTZ |
|--------------------|------------------------------------|-------------------------------|---|
| MAN NL 313** | 60 | STI (BE) | FRONT Trapezklotz |
| Merc.-Benz O 530 | 262 | VBL (LU) | FRONT - |
| Neoplan N 4516** | 41 | VBZ (ZH) | FRONT Trapezklotz , HECK Abdeckblech |
| Scania N 94 UB | 28 | ZVB (ZG) | FRONT - , HECK Abdeckblech |
| Solaris Urbino 12 | 32 | WV (ZH) | FRONT halbrunder Klotz , HECK halbrunder Klotz |
| Volvo HESS B7L | 28 | VBRF (ZH) | FRONT Verschleissplatte |
| Van Hool A 330 CNG | 22 | TL (VD) | FRONT - |

** baugleich

| 18m-Busse | Anzahl zwischen 2000 bis Ende 2005 | Öffentlicher Verkehrs-betrieb | VERSCHLEISSSCHUTZ |
|--------------------|------------------------------------|-------------------------------|---|
| MAN NG 353 | 29 | BVB (BS) | FRONT - , HECK Abdeckblech |
| Merc.-Benz O 530 G | 153 | VBL (LU) | FRONT - |
| Van Hool AG 300 | 32 | TL (VD) | FRONT - |
| Volvo 7000 | 90 | TPG (GE) | FRONT Abdeckblech (beschädigt) |
| Volvo HESS B7LA | 25 | SVB (BE) | FRONT Verschleissplatte |
| Hess BGT-N2 C | 34 | TPG (GE) | FRONT - |
| MAN NG 363 | 20 | STI (BE) | FRONT Trapezklotz |
| Neoplan 4522 | Ca. 20 | VBZ (ZH) | FRONT Trapezklotz |
| Solaris Urbino 18 | Ca. 20 | WV (ZH) | FRONT halbrunder Klotz , HECK halbrunder Klotz |

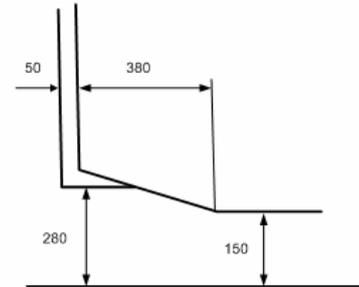
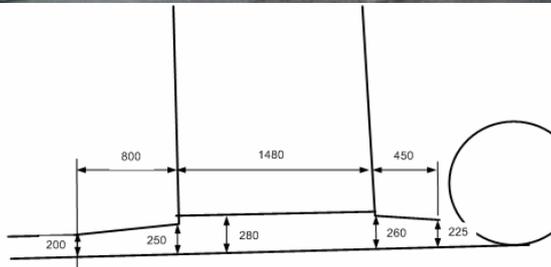
Die Abdeckbälge sind sich in den Abmessungen ähnlich und scheinen nach Auskunft eines Buschauffeurs nicht gefährdet zu sein, dies bei den heutigen Bordsteinhöhen.

Die bereits im 1. Projekt erwähnten Beispiele eines weit nach unten reichenden Balg beim Mercedes-Benz Citaro O 530 G und der hochgezogene Balg beim Van Hool AG 300 können hier näher illustriert werden (Details vgl. Beilage 16):

Depot Mercedes-Benz Citaro O 530 G Luzern 25.11.05, Bus-Nr. 128:



Depot Van Hool AG 300 Lausanne 15.11.05, Bus-Nr. 563:



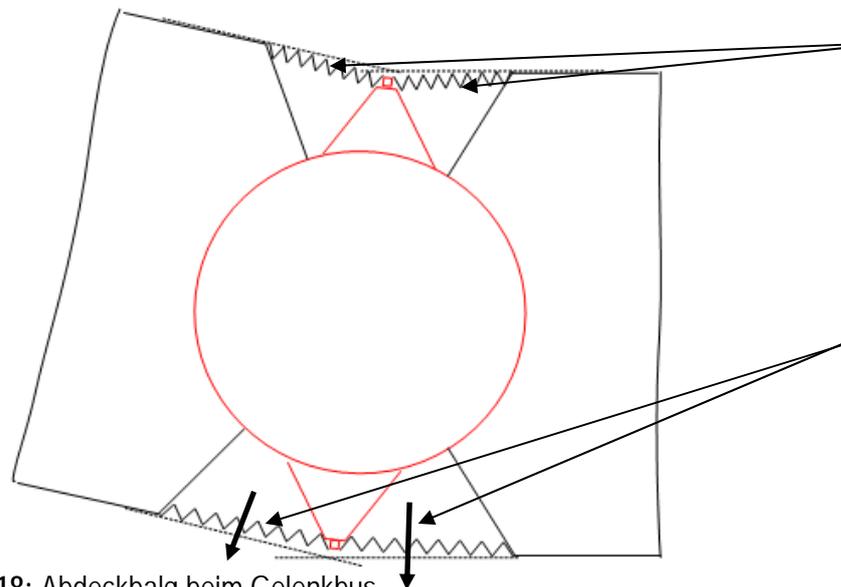
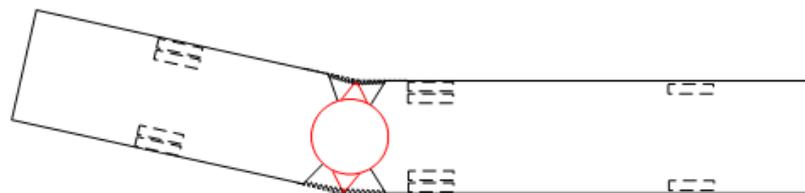
(Obige Massskizzen sind in der **Beilage 16** vergrössert wiedergegeben.)

Aus dem Ersatzteilkatalog des Volvo 7000 wird ersichtlich, dass über der Anhängerkupplung eine drehbare Platte aufgelegt ist mit einem starren Rahmen für die Fixierung des Abdeckbalges. Sofern der Gelenkbus eine Kurve fährt, zieht sich dieser günstigerweise nach innen zurück.

Allerdings scheint die Stauchung des Balges im kurveninneren Bereich auf der äusseren Seite den Balg nach aussen zu drücken:



Beispielfoto aus einem Prospekt



Stauchung des Balges im kurveninneren Bereich

Aufgrund der Stauchung Verschiebung des Balges nach aussen

Abbildung 18: Abdeckbalg beim Gelenkbus

14 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Einfluss unebener Hallenboden | 12 |
| Abbildung 2: Einfluss Kneeling bei leerem Bus bei Anhebewegungen | 13 |
| Abbildung 3: Einfluss Kneeling mit leerem Bus bei Absenkbewegungen..... | 14 |
| Abbildung 4: Einfluss Fahrt auf unebener Strasse | 16 |
| Abbildung 5: Einfluss unebene Haltestellen | 17 |
| Abbildung 6: Wegsensor von WABCO..... | 18 |
| Abbildung 7: Federrate Luftfederung | 19 |
| Abbildung 8: Eindrückung Luftfederbalg | 19 |
| Abbildung 9: Eindrückung Reifen..... | 21 |
| Abbildung 10: Reifen Pirelli 305/70 R 22.5 | 22 |
| Abbildung 11: Reifenverschleiss..... | 23 |
| Abbildung 12: Zusammenfassung der Einflüsse bei den Messungen..... | 24 |
| Abbildung 13: Kommentare zu den Einflüssen auf die Einstiegshöhe | 25 |
| Abbildung 14: Korrekturwerte im Depot bei Beladung Δ 100% mit gemessener Profiltiefe | 26 |
| Abbildung 15: Korrekturwerte im Depot bei Beladung Δ 100% mit mittl. Profiltiefe 10 und 14mm.... | 27 |
| Abbildung 16: Korrekturwerte auf der Linie bei Beladung Δ 50% mit Profiltiefe 8 und 12mm..... | 27 |
| Abbildung 17: Korrekturwerte auf der Linie bei Beladung Δ 50% mit effektiver Profiltiefe | 27 |
| Abbildung 18: Abdeckbalg beim Gelenkbus..... | 54 |
| | |
| Tabelle 1: Korrektur der Einstiegshöhe der 12m-Busse im Depot bei Beladung Δ 100%..... | 28 |
| Tabelle 2: Korrektur der Einstiegshöhe der 18m-Busse im Depot bei Beladung Δ 100%..... | 30 |
| Tabelle 3: Korrekte Einstiegshöhen | 32 |

15 Detailliertes Inhaltsverzeichnis der BEILAGE

| | SEITE |
|--|-----------|
| 0 Testmessungen 1. Phase | 2 |
| Messungen Einstiegshöhe unbeladener Bus: | 2 |
| Einstiegshöhen mit neuen Reifen, jedoch noch leerem Bus: | 4 |
| Erkenntnisse zu den Einstiegshöhen: | 5 |
| Variationen der Einstiegshöhe: | 6 |
| Statische Radiusänderung infolge Beladung: | 7 |
| Reifenbreite und Abplattung: | 8 |
| Abstände der Radkomponenten zur Karosserie auf vertikaler Skala: | 9 |
| Abstände der Radkomponenten zur Karosserie auf horizontaler Skala: | 10 |
| Einzelne Abstandsmessungen: | 11 |
| Vergleich der Abstandsmessungen: | 15 |
| Interpretation: | 16 |
| 1 Betrachtungspunkte, Karosseriedaten und Bauteile | 17 |
| Praxiserfahrungen der Toleranzen und Einflüsse: | 17 |
| 2 Messungen | 18 |
| 3 Messmittel | 22 |
| 4 Daten aus früherem Projekt | 26 |
| 5 Reifen und Felgen | 28 |
| Abmessungen für Reifen 275/70 R 22,5 148/145J (DIN 70020): | 29 |
| Messung neuer Reifen Pirelli 275/70 R 22,5 auf Felge im Pneu-lager: | 30 |
| Messung neuer Reifen 275/70 R 22,5 am Fahrzeug: | 30 |
| Messpunkte Hinterachse (Zugfahrzeug) Michelin X XZU 275/70 R 22.5: | 31 |
| Vergleich neuer Reifen am Fahrzeug: | 32 |
| Profiltiefe und Nachschneiden: | 32 |
| Beispiel für Reifenkennzeichnung: | 34 |
| Bleibendes Wachstum während des Betriebes: | 34 |
| 6 Messungen in den Depots/Werkstätten | 35 |
| Adressen öffentliche Verkehrsbetriebe für Messungen in den Depots/Werkstätten: | 36 |
| 7 Messtermine | 38 |
| 8 Messprotokolle (Messungen in den Depots/Werkstätten) | 39 |
| Einstiegshöhe 12m-Busse: | 40 |
| Einstiegshöhe 18m-Busse: | 42 |
| Reifen 12m-Busse: | 43 |
| Reifen 18m-Busse: | 46 |
| Abstand zu Karosserie 12m-Busse: | 50 |
| Abstand zu Karosserie 18m-Busse: | 54 |
| Längen 12m-Busse und 18m-Busse: | 57 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| | Korrigierte Tabellen aus Beilage 4: | 59 |
| | Busbreiten 12m-Busse und 18m-Busse | 60 |
| 9 | WABCO http://www.wabco-auto.com/intl/de/ | 62 |
| | Das Kalibrieren: | 65 |
| | Der Regelalgorithmus: | 67 |
| 10 | WABCO ECAS-Parameter | 71 |
| | Niveaus: | 82 |
| | Geschwindigkeiten: | 88 |
| | Regelung: | 89 |
| | Zeiten: | 91 |
| | Drücke: | 93 |
| | ECAS-Printscreens: | 96 |
| 11 | Notizen zu 12m-Bus Solaris | 102 |
| 12 | Aufbausenkung durch Beladung | 106 |
| | Analyse der vertikalen Bewegungen: | 106 |
| | Reifeneindrückung Hess-Doppelgelenkbus 25mm bei Weltrekordversuch: | 109 |
| | Kneelingbewegung: | 110 |
| | Kneeling-Einstellungen: | 112 |
| 13 | Messungen auf der Linie | 113 |
| | Einstiegshöhe 12m-Busse: | 114 |
| | Einstiegshöhe 18m-Busse: | 119 |
| 14 | Auszug aus Verkehrsregelverordnung 741.11 | 128 |
| | Gelenkbusse mit einer Gesamtlänge von 18,75 m: | 128 |
| 15 | Karosserie | 129 |
| | Übersicht Verschleisschutz an Karosserie-Unterkante: | 129 |
| | Ohne Verschleisschutz unter Vorderkante: | 130 |
| | Trapezklotz unter Vorderkante: | 134 |
| | Verschleissplatte unter Vorderkante: | 138 |
| | Halbrunder Klotz unter Vorderkante: | 139 |
| | Abdeckblech: | 141 |
| 16 | Abdeckbalg Gelenkbus | 145 |
| 17 | Unterkante Karosserie | 153 |
| | Unterkante Karosserie 12m-Busse: | 155 |
| | Unterkante Karosserie 18m-Busse: | 157 |
| | Unterkante Karosserie 12m-Busse (Bereinigte Daten): | 159 |
| | Unterkante Karosserie 18m-Busse (Bereinigte Daten): | 160 |
| 18 | Unterschiedliche Einstiegshöhe | 167 |