

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 displayed on a light gray rectangular background.

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 Luftfedern, 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 abzusenkenden 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 Niveaue Ausgleich 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 Mikrokontroller 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

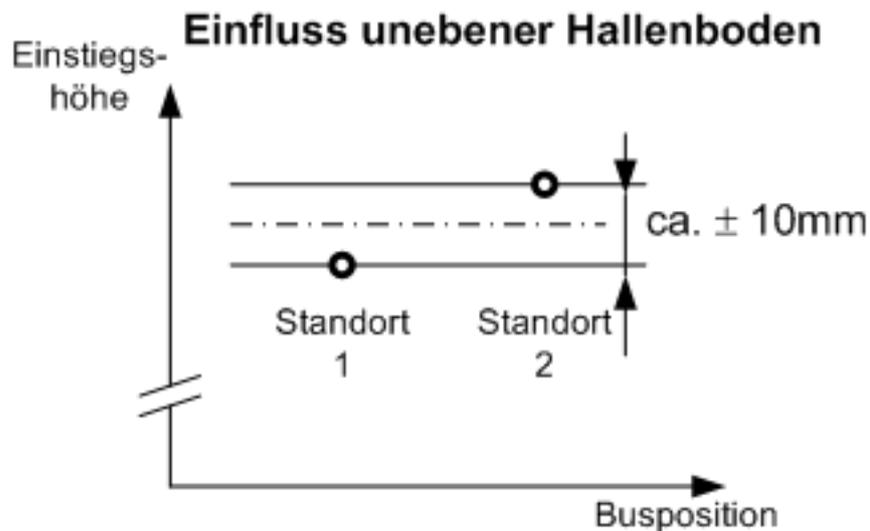


Abbildung 1: Einfluss unebener Hallenboden

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 .

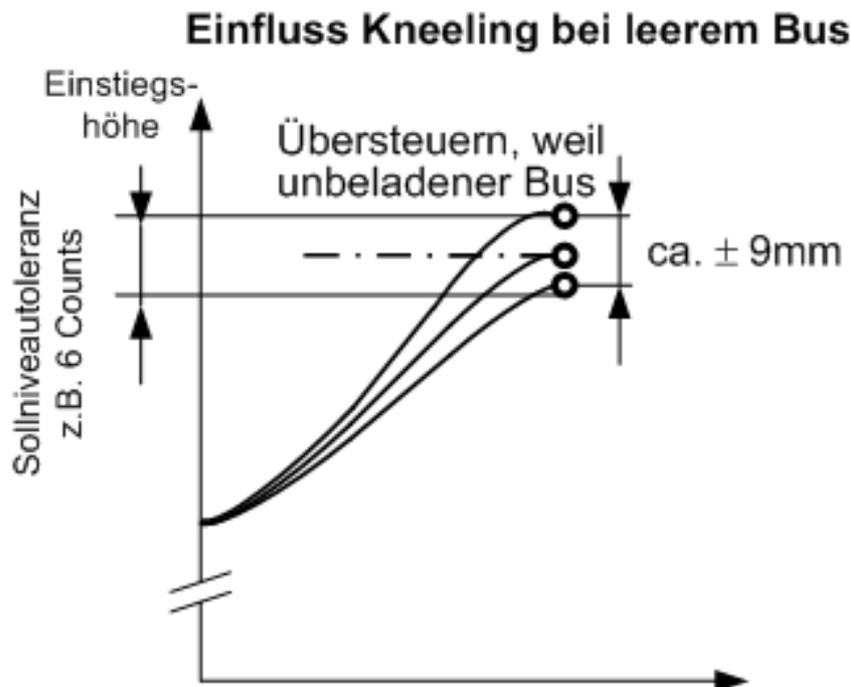


Abbildung 2: Einfluss Kneeling bei leerem Bus bei Anhebungsbewegungen

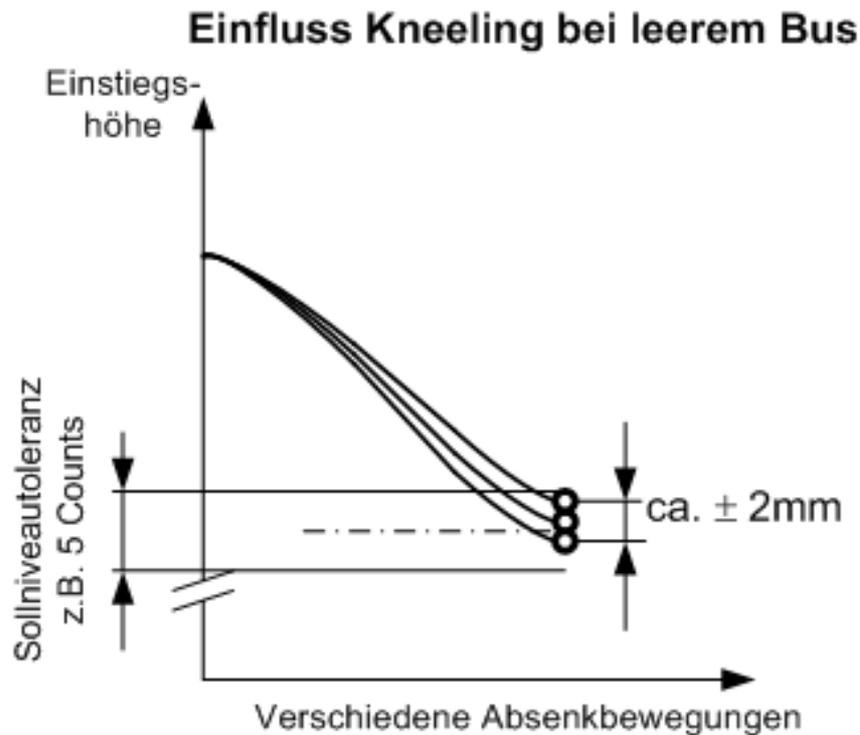


Abbildung 3: Einfluss Kneeling mit leerem Bus bei Absenkbewegungen

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

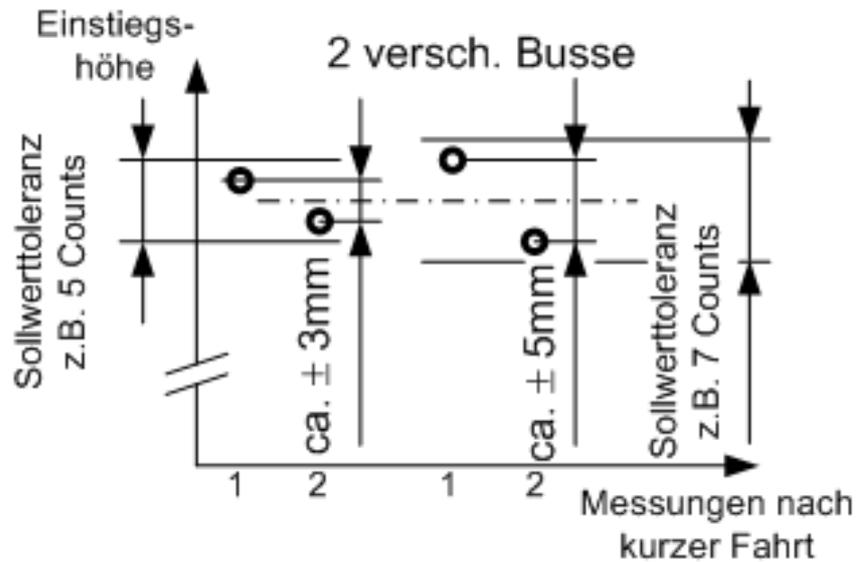


Abbildung 4: Einfluss Fahrt auf unebener Strasse

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

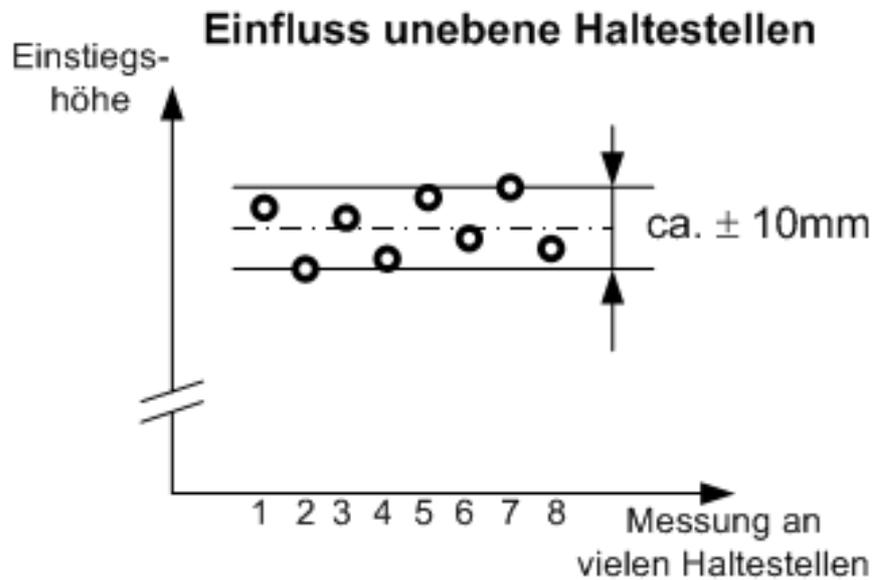


Abbildung 5: Einfluss unebene Haltestellen

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**):

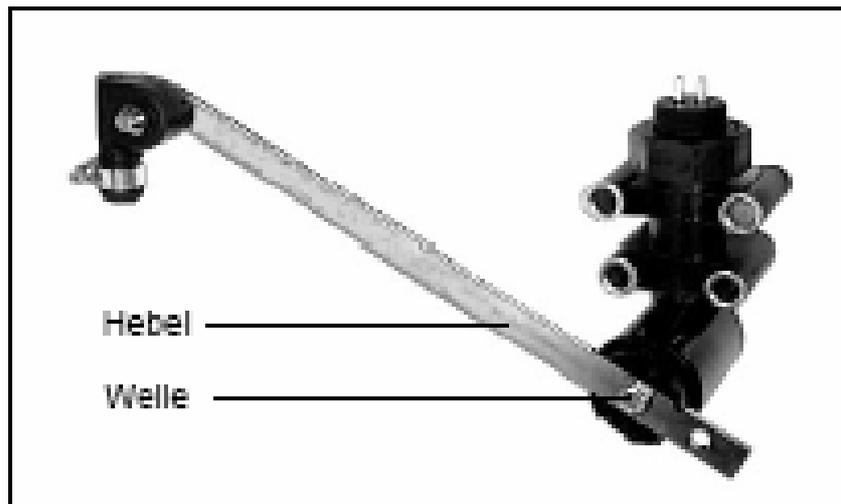


Abbildung 6: Wegsensor von WABCO

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**):

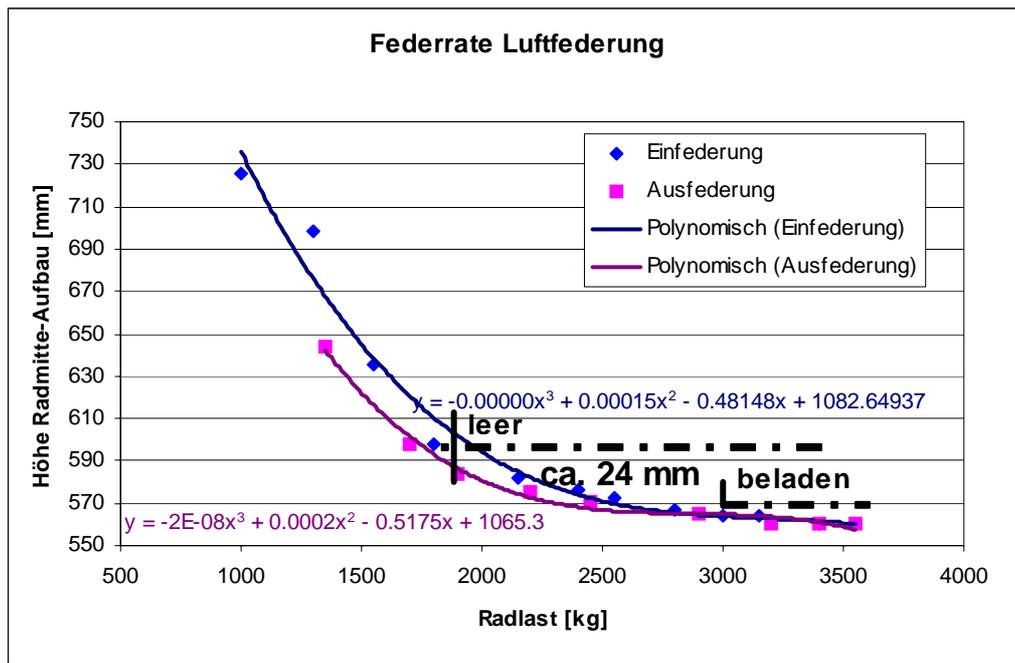


Abbildung 7: Federrate Luftfederung

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.

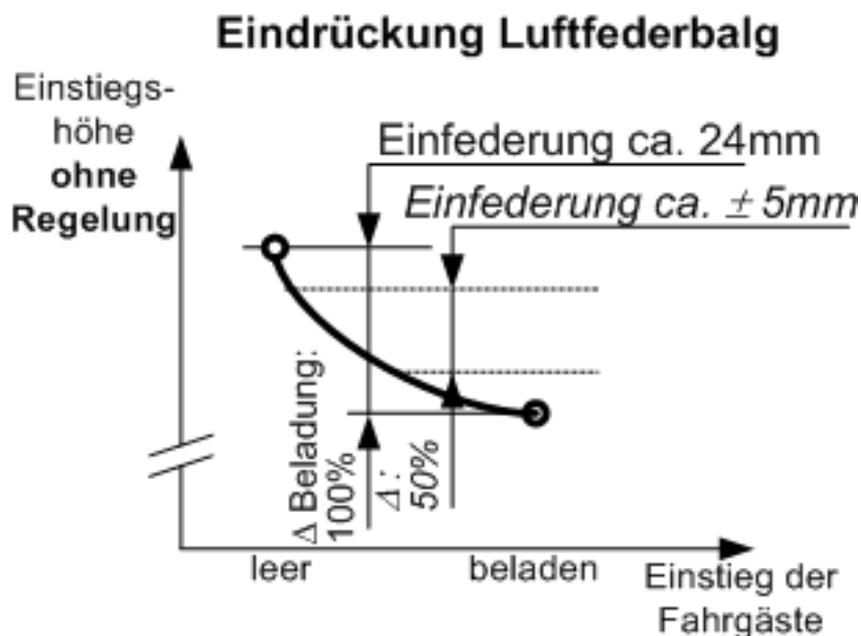


Abbildung 8: Eindrückung Luftfederbalg

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

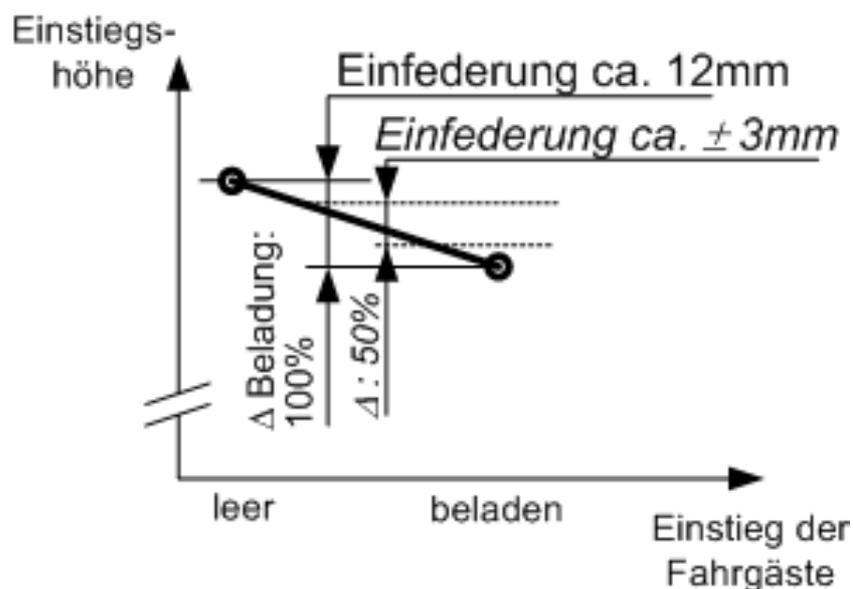


Abbildung 9: Eindrückung Reifen

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 „Anhängler“-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

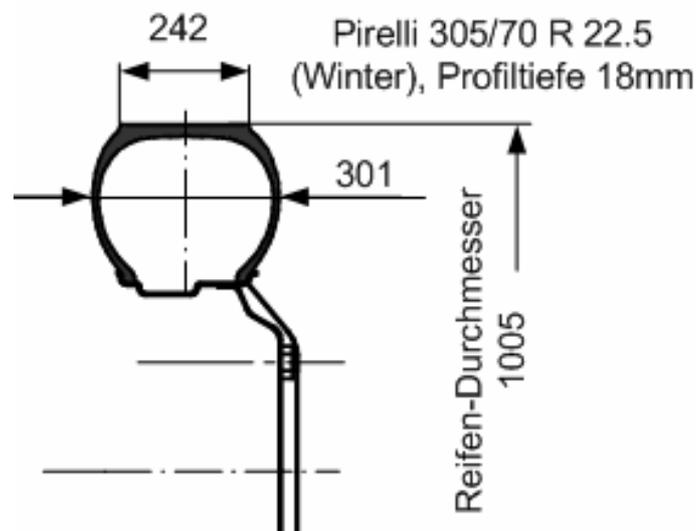


Abbildung 10: Reifen Pirelli 305/70 R 22.5

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.

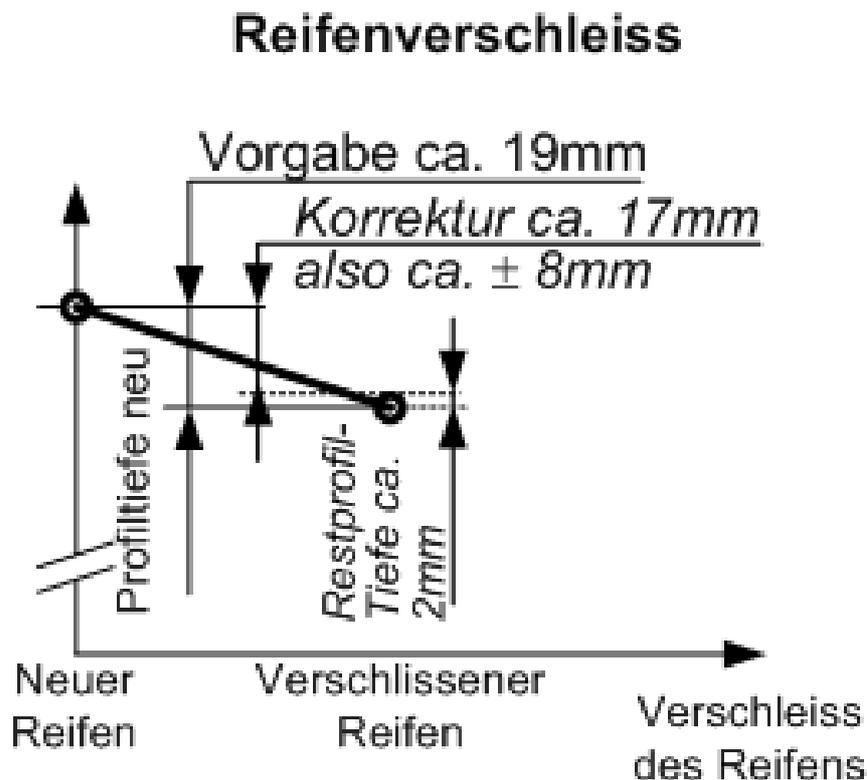


Abbildung 11: Reifenverschleiss

8.10 Zusammenfassung der Einflüsse bei den Messungen

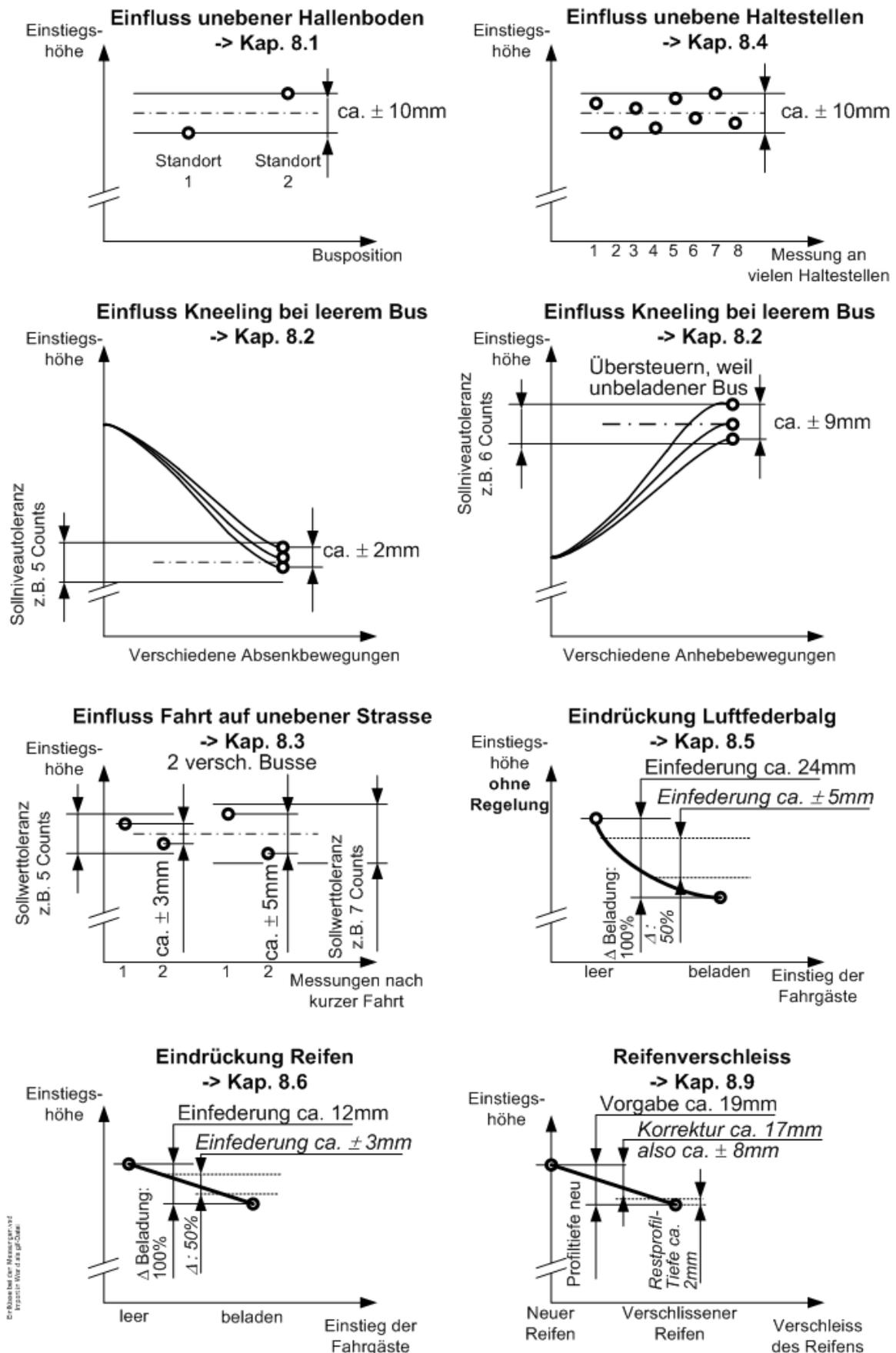
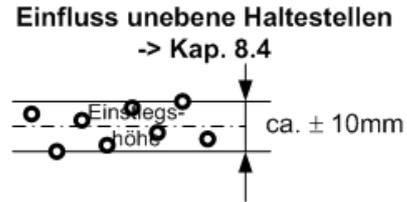
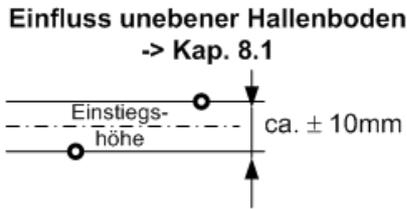


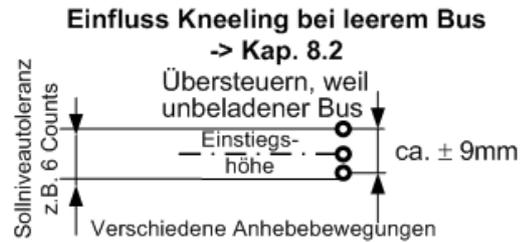
Abbildung 12: Zusammenfassung der Einflüsse bei den Messungen

8.11 Kommentare zu den Einflüssen auf die Einstiegshöhe

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

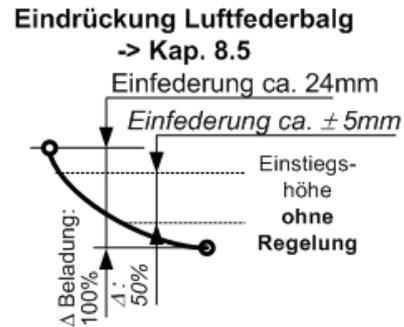
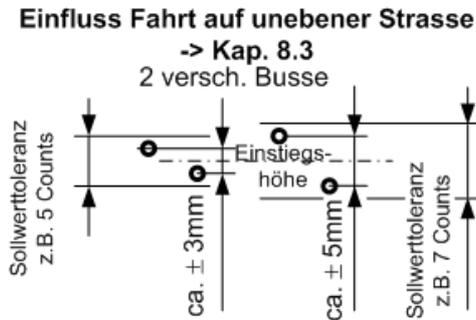


Das Kneelingmass ist beim Absenken ca. $\pm 4\text{mm}$, beim Anheben des unbeladenen Busses infolge Übersteuern der Regelung jedoch ca. $\pm 9\text{mm}$



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

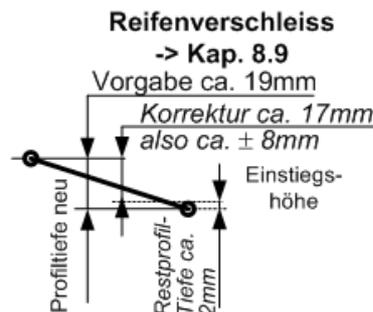
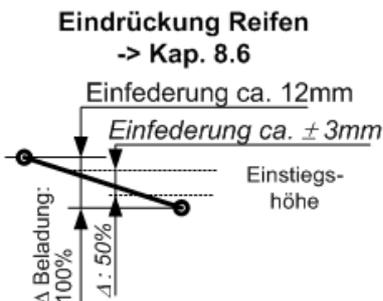


Abbildung 13: Kommentare zu den Einflüssen auf die Einstiegshöhe

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>	<u> _ _ _ _ - 11</u>	<u> _ _ _ _ - 18</u>
<i>ca. gleicher Einfluss auf die Einstiegshöhe der</i>	<i>1. Türe</i>	<i>2. bis 5. Türe</i>

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 Einstieghöhe

Einstellung Einstieghöhe 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 Einstieghöhe	
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 Einstieghöhe	Mechanisch orientiert, Prüfung mit Messung in mm am Bus notwendig	Abstrakte elektronische Eingaben, Prüfung zusätzlich mit Messung in mm am Bus notwendig
Nachstellung der Einstieghöhe 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 Einstieghöhe korrigiert werden musste (Beilage 11).

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

Nachstellung der Einstieghöhe 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 Anhängerachse	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 Anhängerachse: 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

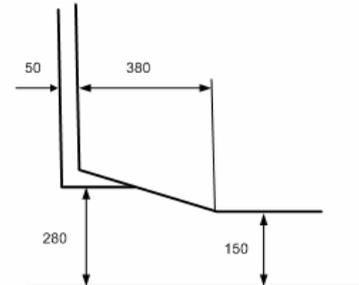
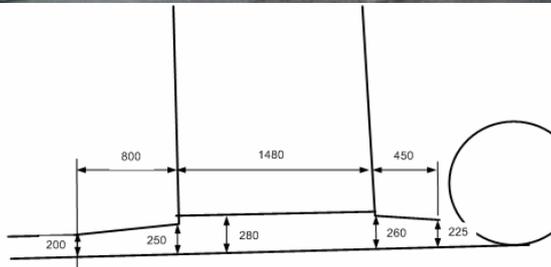
Die Abdeckbälge sind sich in den Abmessungen ähnlich und scheinen nach Auskunft eines Buschauffeurs nicht gefährdet zu sein, dies bei den heutigen Bordsteinhöhen.

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:



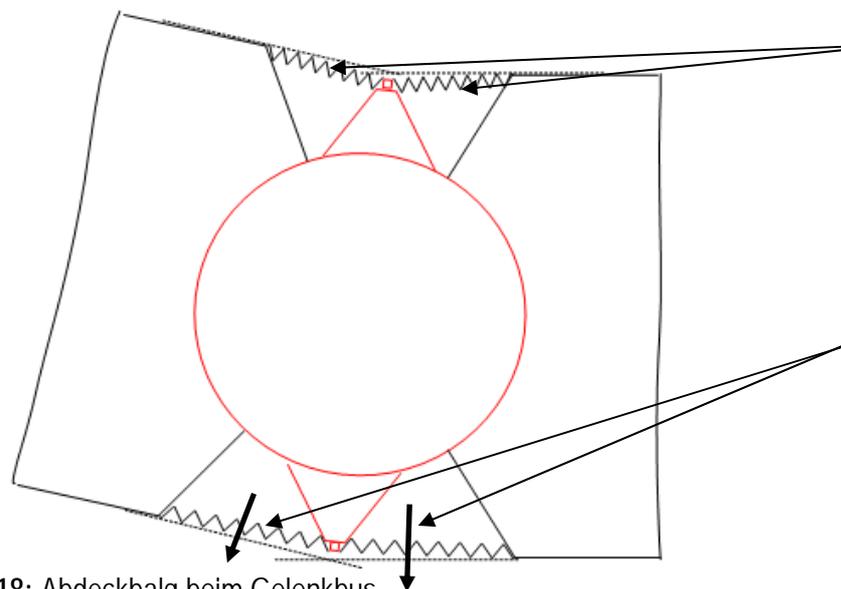
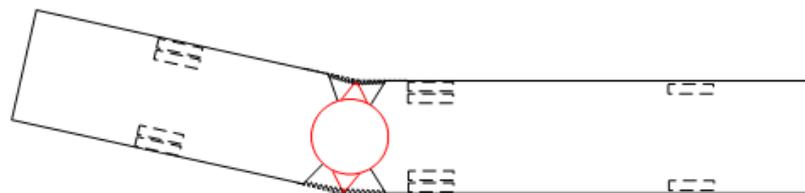
(Obige Massskizzen sind in der **Beilage 16** vergrössert wiedergegeben.)

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 Pneulager:	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