



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr

DIPLOMARBEIT

Schleppkurven im Omnibusbereich – Diskrepanz zwischen
den normativen Vorgaben und der Praxis

eingereicht von Henriette Strübing

geb. am: 17.08.1998

in: Wolfenbüttel

Betreuer:

- Prof. Dipl.-Ing. Ltd. BD a. D. Reinhard Koettnitz
- Dipl.-Ing. Matthias Rohrbach
- Dr.-Ing. Alexander Bunzel (VCDB VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH)

Dresden, den 19.01.2024


.....
Unterschrift der Diplomandin



Aufgabenstellung zur Diplomarbeit im Studiengang Verkehrsingenieurwesen

Für Frau/Herrn Henriette Strübing

Thema: **Schleppkurven im Omnibusbereich - Diskrepanz zwischen nor-
mativen Vorgaben und der Praxis**

Thema (engl.): Tractrix curves for busses - discrepancy between normative require-
ments and practice

1. Prüfer/in: Prof. Dipl.-Ing. Ltd. BD a. D. Reinhard Koettnitz

2. Prüfer/in: Dipl.-Ing. Matthias Rohrbach

Hochschulbetreuer/in: Dipl.-Ing. Matthias Rohrbach

Praxisbetreuer/in: Dr.-Ing. Alexander Bunzel (VCDB VerkehrsConsult Dresden-Berlin
GmbH)

Zur Anfertigung der Arbeit wurde eine dreiseitige Vereinbarung (TUD, Student/in, Dritte/r) abgeschlossen.

Zur Planung von Verkehrsanlagen werden für Fahrzeuge des Schwerverkehrs, wie Busse oder Lastkraftwagen, Schleppkurven genutzt, um die Befahrbarkeit von Verkehrsräumen zu simulieren. Aus der Praxis ist bekannt, dass die Fahreigenschaften von Bussen und Gelenkbussen herstellerübergreifend unterschiedlich sind und seit ca. 10 bis 15 Jahren nicht mehr vollständig den normativen Vorgaben entsprechen. Dies hat zur Folge, dass die vorgegebenen Schleppkurven zwar weiterhin in Planungsvorhaben genutzt werden, die hier entstehenden Verkehrsanlagen, wie zum Beispiel Busbetriebshöfe, Kreisverkehre oder Busbuchten, teilweise nur mit Einschränkungen genutzt werden können.

Die wissenschaftliche Arbeit soll auf Grundlage der rechtlichen und bautechnischen Voraussetzungen die Kurvenlaufeigenschaften von marktverfügbaren Bussen strukturiert vergleichen und die daraus entstehenden Probleme für die Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen beschreiben. Die Vorgaben der Normen für die Kurvenlaufeigenschaften von Bussen und die Maximalwerte der StVZO sind sinnvoll in die Betrachtung einzubinden. Die entwickelten Schleppkurven sind in der Praxis zu prüfen und sofern nötig sind Lösungsempfehlungen für eine Erweiterung oder Anpassung der Regelwerke zu erstellen.

Schwerpunkt der Arbeit:

- Literaturrecherche zu standardisierten Vorgaben und Regelwerken, wie bspw. FGSV- und VDV-Schriften sowie deren Anwendungsbereiche
- Recherche zur Anwendung von Schleppkurvenbetrachtungen in Planungswerkzeugen zur Auslegung von Infrastruktur, wie Betriebshöfe oder Einfahrten
- Ermittlung von marktverfügbaren Bussen verschiedener Gefäßgrößen, Erfassung der Fahrzeuggeometrien (Radstand, Abmessungen, Überhänge, Spurweite) und sich daraus

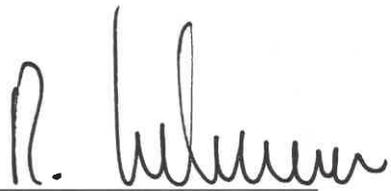
- ergebende Schleppkurven
- Implementieren konkreter Fahrzeuggeometrien ausgewählter Busse in einer geeigneten Softwareumgebung (bspw. AutoTurn) und Erarbeitung von dazugehörigen Schleppkurven
 - Überprüfung ausgewählter Schleppkurven anhand geeigneter Methoden in einem realen Fahrversuch
 - Vergleich der standardisierten Vorgaben für Schleppkurven mit den entwickelten Schleppkurven und identifizieren kritischer Fahrzeuggeometrien
 - sowie Ableiten eines Vorschlags zur Aktualisierung der normativen Schriften

Eine Präzisierung der Arbeitsschwerpunkte erfolgt in Abstimmung mit den Betreuern bei ausreichendem Bearbeitungsstand. Dies kann bei ausreichender restlicher Bearbeitungszeit ggf. die Anwendung der entwickelten Schleppkurven an einem Planungsbeispiel (Betriebshof oder Haltestelle) betreffen. Des Weiteren ist der Zwischenstand nach ca. 1/3 der Bearbeitungszeit mit einer Präsentation vorzustellen.

Für die Bewertung ist neben den zwei gedruckten Exemplaren ein digitales Exemplar der Diplomarbeit auf einem geeigneten Datenträger erforderlich.

Es ist ein Poster zur Diplomarbeit anzufertigen. Dessen Gestaltung ist mit den Betreuern abzusprechen.

15.08.2023



Datum Unterschrift Prüfer/in Prof. Dipl.-Ing. Ltd. BD a. D.
Reinhard Koettnitz

Bei der Bearbeitung ist die „Richtlinie für die Anfertigung der Diplomarbeit“ der Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“ zu beachten.

Eintragungen des Prüfungsamts

Arbeitsbeginn am: 24.08.2023 erhalten: A. Schibig
Einzureichen am: 24.01.2024 Unterschrift Studierende/r

BIBLIOGRAFISCHER NACHWEIS

Name, Vorname: Strübing, Henriette

Diplomarbeit

Schleppkurven im Omnibusbereich – Diskrepanz zwischen den normativen Vorgaben und der Praxis

Technische Universität Dresden

Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“

Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr

Professur für Straßenverkehrsanlagen

Studiengang Verkehrsingenieurwesen

131 Seiten, 34 Abbildungen, 25 Tabellen, 3 Diagramme, 35 Quellenangaben

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird im Text verallgemeinernd das generische Maskulin verwendet. Diese Formulierung umfasst gleichermaßen diverse, weibliche und männliche Personen.

THESEN DER DIPLOMARBEIT

Standardisierte Schleppkurven für Kraftomnibusse in den aktuell geltenden Regelwerken umfassen nicht alle marktrelevanten Fahrzeugtypen.

Veränderte Fahrzeuggeometrien der Busse wirken sich auf den Wenderadius des Fahrzeugs aus.

Gelenkbusse mit Sonderlängen, wie beispielsweise der Mercedes-Benz CapaCity L, können nicht durch die ursprünglichen FGSV-Gelenkbusschleppkurven dargestellt werden.

Die aktuell geltenden Richtlinien und Normen weisen hinsichtlich der Bemessungsfahrzeuge Aktualisierungsbedarf auf.

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Hierdurch erkläre ich, dass ich die von mir am heutigen Tage eingereichte Diplomarbeit selbstständig verfasst und andere als die angegebenen Hilfsmittel nicht benutzt habe.

Name: Strübing

Vorname: Henriette

Matrikelnummer: 4688466

Dresden, den 19.01.2024



.....

Unterschrift

INHALTSVERZEICHNIS

Inhaltsverzeichnis.....	VII
Abbildungsverzeichnis.....	IX
Tabellenverzeichnis.....	XI
Diagrammverzeichnis.....	XIII
Abkürzungsverzeichnis.....	XIV
1 Einleitung.....	1
2 Stand der Technik.....	4
2.1 Anwendungsbereiche von Schleppkurven.....	6
2.1.1 ÖPNV-spezifische Anwendungsbereiche.....	9
2.1.2 Diskrepanz zwischen Theorie und Praxis.....	12
2.2 Fahrzeugtypen.....	12
2.2.1 Fahrzeuggeometrie.....	13
3 Fahrzeuganalyse.....	16
3.1 Vergleich der Solobusse.....	16
3.2 Vergleich der Gelenkbusse.....	21
4 Simulationsgestützter Vergleich von Stadtbusschleppkurven.....	27
4.1 Implementierung der Fahrzeuge.....	28
4.2 Fahrsimulation.....	31
4.3 Vergleich der Solobusse mit der normativen Vorgabe.....	34
4.4 Vergleich der Gelenkbusse mit der normativen Vorgabe.....	39
5 Versuchsgestützter Praxisvergleich von Stadtbusschleppkurven.....	43
5.1 Versuchsaufbau.....	44
5.2 Sichtung des Videomaterials.....	46

5.2.1	Mercedes-Benz eCitaro.....	47
5.2.2	Mercedes-Benz eCitaro G.....	49
5.2.3	MAN Lion's City 19.....	50
5.2.4	Mercedes-Benz CapaCity L.....	53
5.3	Überprüfung der Schleppkurvenschablonen.....	56
5.4	Fehlerbetrachtung.....	58
5.5	Auswertung der Befahrung.....	59
6	Empfehlungen zur Aktualisierung der Richtlinie.....	61
7	Fazit.....	63
	Literaturverzeichnis.....	XV
	Anhang.....	XVIII

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1.1: Methodik	2
Abbildung 2.1: Schleppkurve Gelenkbus (3-achsig) [FGSV, 2020, S. 2700].....	5
Abbildung 2.2: Formen der Eckausrundungen an Knotenpunkten und Gehwegüberfahrten [FSGV, 2006, S. 123]	7
Abbildung 2.3: Busbucht mit Abmessungen für den Betrieb mit Stadtbussen [FGSV, 2013].....	9
Abbildung 2.4: Abmessung von Längsbussteigen [FGSV, 2009].....	10
Abbildung 2.5: Abmessungen eines sägezahnförmigen Bussteigs [FGSV, 2009]	10
Abbildung 2.6: Bushaltestelle mit sägezahnförmiger Anordnung der Haltpositionen [FGSV, 2009].....	11
Abbildung 2.7: Van Hool A12-LF-FC [VAN HOOL, 2022].....	14
Abbildung 2.8: Wenderadien [TRANSOFT SOLUTION, 2023, bearbeitet]	15
Abbildung 3.1: Mercedes-Benz CapaCity L Seitenansicht [MERCEDES-BENZ, 2016]	25
Abbildung 4.1: Vorgehen der Softwareimplementierung.....	27
Abbildung 4.2: AutoTURN Fahrzeugbibliothek – FGSV LBUS12 [TRANSOFT SOLUTION, AutoTURN, bearbeitet].....	29
Abbildung 4.3: Fahrzeugerstellung mit AutoTURN, Draufsicht [TRANSOFT SOLUTION, AutoTURN, bearbeitet].....	30
Abbildung 4.4: Fahrzeugerstellung mit AutoTURN, Dachansicht [TRANSOFT SOLUTION AutoTURN, bearbeitet].....	30
Abbildung 4.5: Erstellen von Schleppkurvenschablonen [TRANSOFT SOLUTION, AutoTURN, bearbeitet]	31
Abbildung 4.6: Schleppkurvenschablone FGSV LBUS 12m [TRANSOFT SOLUTION, AutoTURN]	32
Abbildung 4.7: Schleppkurvenvergleich dynamisch - statisch, MB Citaro.....	33
Abbildung 4.8: Vergleich der Schleppkurvenschablonen FGSV-Referenz vs. Ebusco 2.2...35	
Abbildung 4.9: Vergleich der Schleppkurvenschablonen des MB CapaCity L und der FGSV-Referenz	41

Abbildung 5.1: Ausschnitt der Bemaßung der Schleppkurvenschablone in Vorbereitung auf die Fahrversuche	44
Abbildung 5.2: Modellhafte Darstellung Holzwinkel	45
Abbildung 5.3: Schadensorte am Bus (schematisch) [VANEK, 2023].....	46
Abbildung 5.4: Drohnenaufnahme, MB eCitaro [BECHER, 2023]	48
Abbildung 5.5: GoPro-Aufnahme, MB eCitaro (vorne links) [ROHRBACH, 2023]	48
Abbildung 5.6: Drohnenaufnahme, MB eCitaro G [BECHER, 2023]	49
Abbildung 5.7: Drohnenaufnahme, MAN Lion's City 19 (FGSV-Schablone) [BECHER, 2023]	51
Abbildung 5.8: GoPro-Aufnahme, MAN Lion's City 19 (hinten rechts) [ROHRBACH, 2023]..	51
Abbildung 5.9: GoPro-Aufnahme, MAN Lion's City 19 (vorne links) [ROHRBACH, 2023].....	51
Abbildung 5.10: Drohnenaufnahme, MAN Lion's City 19 (18,75-m-Schablone) [BECHER, 2023].....	52
Abbildung 5.11: GoPro-Aufnahme MAN Lion's City 19 (hinten rechts) [ROHRBACH, 2023]	53
Abbildung 5.12: GoPro-Aufnahme MAN Lion's City 19 (vorne links) [ROHRBACH, 2023]	53
Abbildung 5.13: Drohnenaufnahme 1, MB CapaCity L (FGSV-Schablone) [BECHER, 2023].	54
Abbildung 5.14: Drohnenaufnahme 2, MB CapaCity L (FGSV-Schablone) [BECHER, 2023].	54
Abbildung 5.15: Drohnenaufnahme, MB CapaCity L (MB CapaCity L-Schablone) [BECHER, 2023].....	56
Abbildung 5.16: Nachbildung dynamische Kurvenfahrt, MB eCitaro	57

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2.1: Hauptbogenradien für Eckausrundungen ohne Dreiecksinsel [FGSV, 2006, S. 123].....	8
Tabelle 2.2: Hauptbogenradien für Eckausrundungen neben Dreiecksinsel [FGSV, 2006, S. 123].....	8
Tabelle 2.3: Abhängigkeit zwischen dem Außendurchmesser D und der baulichen Breite des Kreisrings B_k [nach: FGSV, 2006, S. 15]	9
Tabelle 2.4: Parameter der Abmessungen eines sägezahnförmigen Bussteigs [FGSV, 2009].....	11
Tabelle 3.1: Fahrzeugabmessungen der führenden Hersteller von Solobussen.....	17
Tabelle 3.2: Relative Abweichung zum FGSV-Referenzbus.....	18
Tabelle 3.3: Vergleich der Wenderadien	20
Tabelle 3.4: Fahrzeugabmessungen der führenden Hersteller von Gelenkbussen Teil 1	22
Tabelle 3.5: Fahrzeugabmessungen der führenden Hersteller von Gelenkbussen Teil 2	22
Tabelle 3.6: Relative Abweichung zum FGSV-Referenzbus.....	25
Tabelle 3.7: Vergleich des MB CapaCity L mit dem FGSV-Referenzbus	25
Tabelle 3.8: Relative Abweichung der Gesamtlänge und des Wenderadius zum FGSV-Referenzbus.....	26
Tabelle 4.1: Vergleich des äußeren Wenderadius – Simulation vs. Herstellerdaten (Solobus)	36
Tabelle 4.2: Vergleich der relativen Abweichungen des Radstandes und der Überhänge hinsichtlich des äußeren Wenderadius (Solobus)	37
Tabelle 4.3: Vergleich des Flächenbedarfs der Schleppkurvenschablonen (Solobus)	38
Tabelle 4.4: Vergleich des äußeren Wenderadius – Simulation vs. Herstellerdaten (Gelenkbus).....	39
Tabelle 4.5: Vergleich des äußeren Wenderadius der Schleppkurvenschablonen (Gelenkbus).....	40
Tabelle 4.6: Vergleich des Flächenbedarfs der Schleppkurvenschablonen (Gelenkbus) ..	40
Tabelle 5.1: Auswertung Videomaterial, MB eCitaro (MB eCitaro-Schablone).....	47
Tabelle 5.2: Auswertung Videomaterial, MB eCitaro G (FGSV-Schablone)	49

Tabelle 5.3: Auswertung Videomaterial, MAN Lion's City 19 (FGSV-Schablone)	50
Tabelle 5.4: Auswertung Videomaterial, MAN Lion's City 19 (18,75-m-Schablone).....	52
Tabelle 5.5: Auswertung Videomaterial, MB CapaCity L (FGSV-Schablone)	53
Tabelle 5.6: Auswertung Videomaterial (MB CapaCity L-Schablone).....	55
Tabelle 5.7: Vergleich der 18,75-m-Referenz mit dem MAN Lion's City 19	60

DIAGRAMMVERZEICHNIS

Diagramm 3.1: Prozentuale Verteilung der Gesamtlänge	19
Diagramm 3.2: Verteilung der Gesamtlänge Volvo 7900 18 und 19.....	23
Diagramm 3.3: Prozentuale Verteilung der Gesamtlänge (Gelenkbusse).....	24

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

BOKraft	Verordnung über den Betrieb von Kraftfahrunternehmen im Personenverkehr
CAD	Computer Aided Design (dt. computergeschütztes Design)
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CVD	Clean Vehicles Directive (europäische Richtlinie)
DVB	Dresdner Verkehrsbetriebe AG
EAÖ	Empfehlung für die Anlagen des öffentlichen Personennahverkehrs
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
HVÖ	Hinweise für den Entwurf von Verknüpfungsanlagen des öffentlichen Personennahverkehrs
Lkw	Lastkraftwagen
MB	Mercedes-Benz
NGC	New Generation Citea
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PBefG	Personenbeförderungsgesetz
Pkw	Personenkraftwagen
RASt	Richtlinie für die Anlage von Stadtstraßen
RBSV	Richtlinie für Bemessungsfahrzeuge und Schleppkurven zur Überprüfung der Befahrbarkeit von Verkehrsflächen
StVZO	Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung
VDV	Verband Deutscher Verkehrsunternehmen

1 EINLEITUNG

Im Rahmen von Planungsvorhaben für Verkehrsanlagen wird die Befahrbarkeit der Verkehrsräume mittels Schleppkurven simuliert und nachgewiesen. Die am 4. Januar 2021 vom Bundesministerium für Verkehr aktualisierte „Richtlinie für Bemessungsfahrzeuge und Schleppkurven zur Überprüfung der Befahrbarkeit von Verkehrsflächen“ (RBSV) der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) umfasst einige Bemessungsfahrzeuge und deren statischen Schleppkurven. Neben Fahrrädern, Krafträdern und einem Personenkraftwagen (Pkw) werden auch verschiedene Transporter, Lastkraftwagen (Lkw) sowie Busse in der Richtlinie vorgestellt. Insbesondere die Fahrzeuge des Schwerverkehrs sind maßgebend für die Dimensionierung von Verkehrsanlagen verantwortlich. Die verwendeten Bemessungsfahrzeuge stellen die sogenannten 85%-Fahrzeuge dar, welche die Befahrbarkeit für 85 % der zugelassenen Fahrzeuge eines Fahrzeugtyps gewährleisten sollen. Die sich fortlaufend ändernden Abmessungen marktverfügbarer Fahrzeuge stellen Planungsbüros dabei vor die Herausforderung, die Befahrbarkeit mittels der Bemessungsfahrzeuge für alle notwendigen Fahrzeugtypen prüfen zu können [FGSV, 2020]. Neben der RBSV gibt auch die Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) Grenzwerte der Fahrzeugabmessungen vor. In § 30 StVZO werden die Fahrzeugabmessungen je nach Fahrzeugkategorie auf bestimmte Maximalwerte limitiert.

Die meisten Fahrzeuge des Schwerverkehrs befahren nur ausgewählte, dafür vorgesehene Straßen des Verkehrsnetzes. Die Linienbusse der städtischen Verkehrsunternehmen müssen hingegen fein aufgelöst das gesamte Stadtgebiet befahren können, um für alle Bezirke eine möglichst optimale Netzanbindung zu generieren. Explizit im Bereich des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) existieren herstellerabhängig große Abweichungen der Fahrzeuggeometrien gegenüber dem Bemessungsfahrzeug der FGSV. Die RBSV wurde vor zwei Jahren aktualisiert, jedoch werden weiterhin im Bereich des ÖPNV nur vier Gefäßgrößen bei Bussen definiert. So umfasst die Richtlinie nach wie vor drei Reise-/ Linienbusse, welche 12,00 m, 13,70 m bzw. 15,00 m lang sind sowie einen Gelenkbus mit einer Länge von 18,00 m. Diese Gesamtlängen unterscheiden sich nur minimal von der Version aus dem Jahr 2001 und decken nicht alle verfügbaren Fahrzeugtypen ab.

Dies hat zur Folge, dass Verkehrsanlagen, welche mit den verfügbaren Bemessungsfahrzeugen geplant wurden, in der Praxis nicht mit allen marktverfügbaren Fahrzeugen befahren werden können.

Die wachsende Nachfrage am ÖPNV und die damit verbundene Angebotssteigerung hat zur Folge, dass vermehrt größere Gefäßgrößen von den Verkehrsunternehmen eingesetzt werden. Diese weichen folglich umso mehr von den in der Planung verwendeten Bemessungsfahrzeugen ab.

Die in der RBSV vorgestellten Bemessungsfahrzeuge sind Grundlage der softwareseitigen Ausführung dynamischer Schleppkurven und damit auch Grundlage zahlreicher Planungsvorhaben. Daher gilt es zu untersuchen, inwiefern die softwareseitig konstruierten statischen und dynamischen Schleppkurven übereinstimmen und in der Praxis umgesetzt werden können. Weiterführend ist zu klären, ob die veränderten Fahrzeugabmessungen zu einer Diskrepanz zwischen den normativen Vorgaben und der Praxis führen. Mittels einer Vorauswahl relevanter Fahrzeugtypen des öffentlichen Verkehrs wird untersucht, ob hinsichtlich der Aktualisierung und Ergänzung der Richtlinie Handlungsbedarf besteht.



Abbildung 1.1: Methodik

In Abbildung 1.1 ist die methodische Herangehensweise der vorliegenden wissenschaftlichen Abhandlung geschildert. Nach dem Stand der Technik, in dem Grundlagen der Anwendungsbereiche von Schleppkurven und den normativen Vorgaben gelegt werden, schließt sich eine Fahrzeuganalyse an. Darin wird mit Hilfe einer ausführlichen Recherche über herstellerspezifischen Fahrzeugdaten von Stadtbussen die Grundlage des weiterführenden Vergleichs geschaffen. Mit den Ergebnissen werden im darauffolgenden Kapitel die konstruierten Schleppkurvenschablonen mit Hilfe eines in der Planung üblichen Softwaretools untersucht und verglichen. Ein Praxisvergleich nutzt die gewonnenen Daten und überprüft deren Richtigkeit in der Realität an verschiedenen Baumustern. Die Arbeit schließt mit der Auswertung des Praxisvergleichs und gegebenenfalls einer Empfehlung hinsichtlich der Aktualisierung der Richtlinien.

2 STAND DER TECHNIK

Verschiedenen Schriften und Richtlinien treffen bundesweit allgemeine Vorgaben zu den Fahrzeugabmessungen. So schreibt die „Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung“ vor, welche Anforderungen ein Kraftfahrzeug vorweisen muss, um für den Straßenverkehr zugelassen werden zu können. Für diese Arbeit ist vordergründig der § 30 StVZO „Abmessungen von Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen“ relevant. Kraftfahrzeuge dürfen auf Grundlage dessen eine Breite von 2,55 m (ohne Außenspiegel) nicht überschreiten. Des Weiteren schreibt der Paragraf vor, dass 2-achsige Kraftomnibusse eine Länge von 13,50 m (einschließlich abnehmbarer Zubehörteile) nicht übersteigen dürfen. Für Kraftomnibusse mit mehr als zwei Achsen gilt eine höchstzulässige Länge von 15,00 m sowie für Gelenkbusse eine maximale Länge von 18,75 m [StVZO, 2023]. Für Gelenkbusse mit Überlänge, wie beispielsweise den CapaCity (19,75 m) und den CapaCity L (21,00 m) des Herstellers Mercedes-Benz (MB), sind demnach fahrzeugtechnische Ausnahme genehmigungen gemäß § 70 StVZO und eine Erlaubnis nach § 29 StVO erforderlich [stv2GO, 2023].

Die „Richtlinie für Bemessungsfahrzeuge und Schleppkurven zur Überprüfung der Befahrbarkeit von Verkehrsflächen“ umfasst insgesamt 21 Bemessungsfahrzeuge. Relevant für diese Arbeit sind der 2-achsige 12-m-Reise-/ Linienbus sowie der 18-m-Gelenkbus. Die Schleppkurven der Fahrzeuge werden durch die sich aus den Fahrzeugabmessungen ergebenden Hüllkurven begrenzt. Neben der Fahrzeugkarosserie wird zusätzlich eine seitliche Toleranz von 0,50 m berücksichtigt.

Eine Schleppkurve bildet die sichelförmige Verbreiterung der überstrichenen Fläche eines Kraftfahrzeugs bei einer Kurvenfahrt ab. Die Leitlinie dieser Kurve wird durch den Lenkeinschlag der Vorderachse vorgegeben. In Abhängigkeit der Fahrzeugabmessungen werden die Hinterräder zur Kurveninnenseite auf der nachlaufenden Schleppkurve bewegt [FGSV, 2020]. Maßgeblich für die Kurvenlaufeigenschaften verantwortlich, ist die Lage und Anordnung der Achsen, die Überhänge vorn und hinten sowie der maximale Knickwinkel des Gelenks bei Gelenkbussen.

In der Richtlinie werden für ausgewählte Bemessungsfahrzeuge beispielhafte statische Schablonen für Kurvenfahrten zwischen 40 und 200 Gon dargestellt. Gon ist eine Maßeinheit, welche vordergründig im Vermessungswesen Anwendung findet. Der Umrechnungsfaktor von Gon zu Grad beträgt 0,9. In Abbildung 2.1 sind exemplarisch die Schablonen der RBSV für einen 18-m-Gelenkbus dargestellt. Die übrigen relevanten Darstellungen sind als Anlage 1 im Anhang beigefügt [FGSV, 2020].

© FGSV 2020, FGSV-Nr. 287

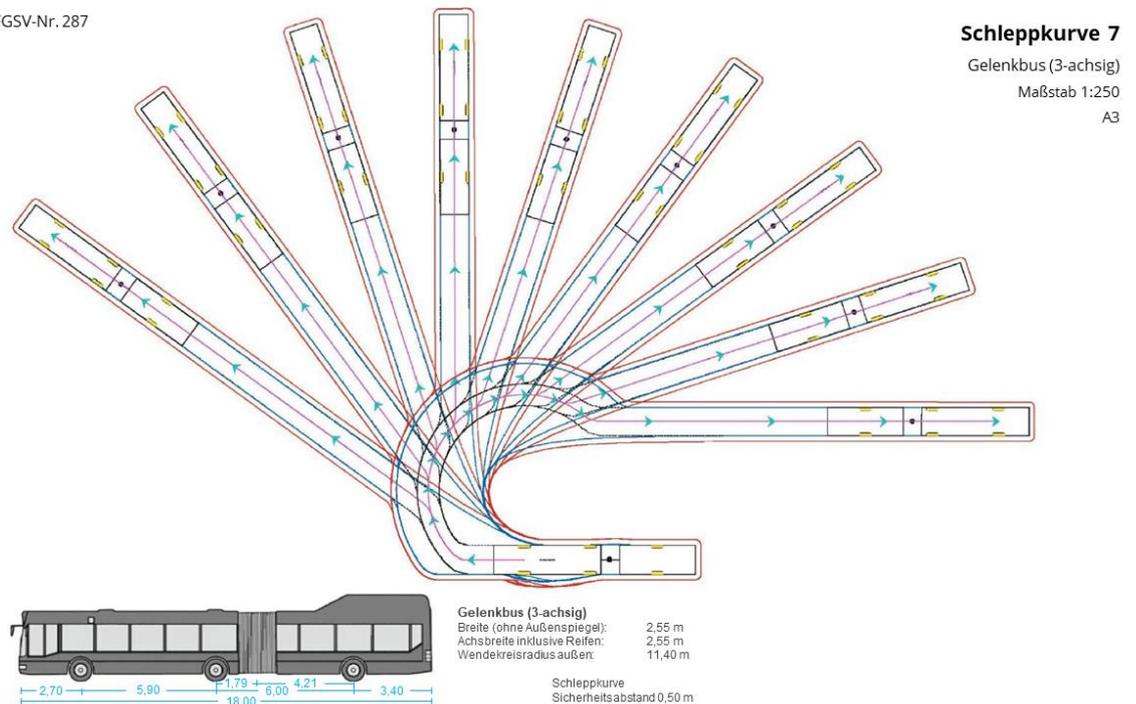


Abbildung 2.1: Schleppkurve Gelenkbus (3-achsig) [FGSV, 2020, S. 2700]

In Magenta dargestellt ist die Fahrlinie, auf welcher sich die gelenkte Vorderachse des Busses bewegt. In Blau zu erkennen ist die Schleppkurve des Fahrzeugs, begrenzt durch die Karosserie sowie in Rot der erwähnte Toleranzbereich von 0,50 m [FGSV, 2020, S. 27].

In der „Empfehlung für Anlagen des öffentlichen Personennahverkehrs“ (EAÖ) werden der Entwurf und die Dimensionierung der technischen Anlagen des ÖPNV behandelt. Basierend auf dem Personenbeförderungsgesetz (PBefG) und der „Richtlinie für die Anlage von Stadtstraßen“ (RASt) werden neue Forschungsergebnisse und Erkenntnisse aus der Anwendung berücksichtigt. Ziel der Richtlinie ist es nicht die vielfältigen Sonder- und Mischformen des öffentlichen Verkehrs abzubilden, vielmehr werden Hinweise zur Lösung unter Normalbedingungen gegeben. So werden beispielsweise basierend auf der RASt die

Grundmaße für Verkehrsräume in der EAÖ aufgeführt. Ebenso wird der Mindestflächenbedarf von Bussen bei Kurvenfahrten beschrieben. Dazu zählen beispielsweise das Ein- und Ausbiegen sowie das Befahren eines Kreisverkehrs. So wird für einen Kreisverkehr ein äußerer Radius von 15,00 m empfohlen, um die Befahrbarkeit durch einen Standard-Linienbus gewährleisten zu können. Für Fahrzeuge mit Überlänge, welche den BOKraft-Kreis (Verordnung über den Betrieb von Kraftfahrunternehmen im Personenverkehr) erfüllen, wird empfohlen die Befahrbarkeit bestimmter Verkehrsanlagen mittels örtlicher Fahrversuche sicherzustellen [FSGV, 2009, S.35f].

Neben der EAÖ werden auch in der FGSV-Schrift „Hinweise für den Entwurf von Verknüpfungsanlagen des öffentlichen Verkehrs“ (HVÖ) spezielle Verkehrsanlagen des ÖPNV betrachtet. Um einen reibungslosen Betrieb der unterschiedlichen Verkehrssysteme garantieren zu können, müssen diese optimal miteinander vernetzt sein. Die Anforderungen dieser Verknüpfungsanlagen werden in der HVÖ genauer beschrieben. Relevant für diese Arbeit sind ausschließlich die Verkehrsanlagen des Busverkehrs. Dabei steht nicht die Verknüpfungsstruktur im Vordergrund, sondern viel mehr der Ausbau und die Dimensionierung der Verkehrsanlagen [FSGV, 2009].

2.1 ANWENDUNGSBEREICHE VON SCHLEPPKURVEN

Für die Befahrbarkeit durch den Schwerverkehr, insbesondere in Kreuzungsbereichen, Ein- und Ausfahrten sowie Kreisverkehren, ist die Überprüfung mittels Schleppkurven von großer Bedeutung. Hierfür werden in einfachen Fällen die eingangs erwähnten statischen Schleppkurvenschablonen genutzt. Diese bilden für das ausgewählte Fahrzeug beispielhafte Kurvenfahrten ab und werden nicht händisch erstellt. Für die Überprüfung von komplexen Situationen und Verkehrsanlagen bieten verschiedene Softwaretools die Möglichkeit der Erstellung dynamischer Kurvenfahrten. Diese dynamisch erstellten Schleppkurven basieren dennoch auf den in der RBSV vorgestellten Bemessungsfahrzeugen.

In der RASSt bzw. der EAÖ werden für explizite Verkehrsanlagen Mindestmaße vorgegeben, die es bei der Planung einzuhalten gilt, um die problemlose Befahrbarkeit durch Busse verschiedener Größen gewährleisten zu können. Für Eckausrundungen gilt, dass ein Hauptbogenradius von $R = 7,00$ m nicht unterschritten werden darf. In Abbildung 2.2

sind die relevanten Radien der Eckausrundungen verschiedener Ein-/ Ausfahrten dargestellt.

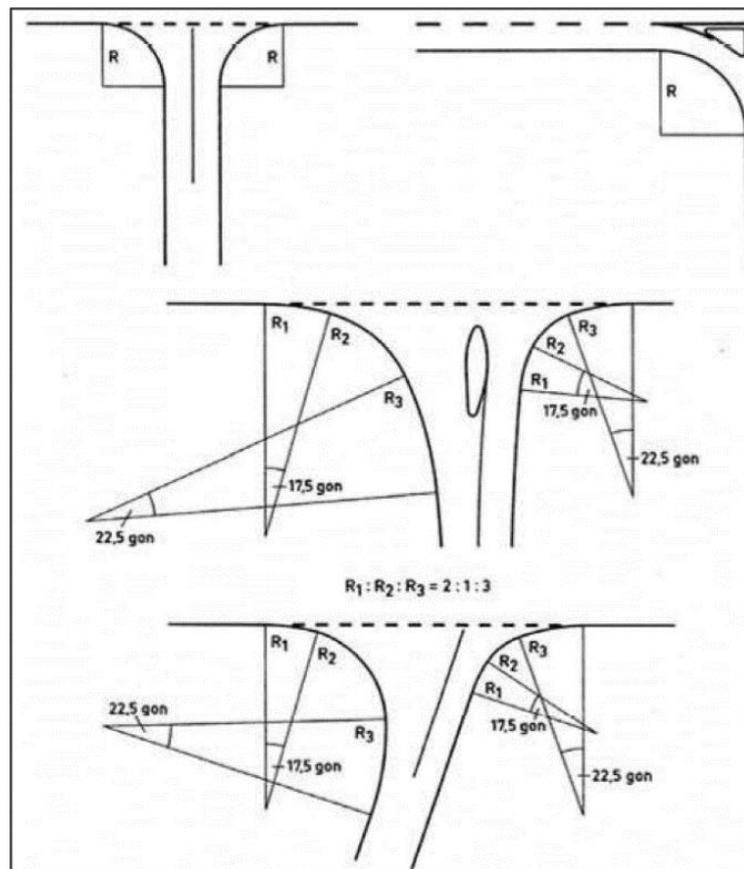


Abbildung 2.2: Formen der Eckausrundungen an Knotenpunkten und Gehwegüberfahrten [FSGV, 2006, S. 123]

In Abhängigkeit des Richtungsänderungswinkels werden in den beiden nachfolgenden Tabellen 2.1 und 2.2 jeweils für die einbiegende bzw. ausbiegende Seite Mindestradien vorgegeben. In Abbildung 2.2 ist in der mittleren Darstellung die Umsetzung mit einem Tropfen dargestellt. Ein Tropfen ist eine bauliche Trennung der Fahrbahnen zur Verdeutlichung der Wartepflicht an Einmündungen. In Abhängigkeit der Umsetzung mit oder ohne Tropfen hat dies teilweise Auswirkungen auf den Hauptbogenradius der Einmündung.

Richtungsänderungs- winkel	Hauptbogenradius R_2 für	
	Rechtseinbieger	Rechtsabbieger
80 gon	8,00 m	12,00 m
100 gon	8,00 m	12,00 m (15,00 m) *)
120 gon	8,00 m	8,00 m

Zwischenwerte können eingeschaltet werden
Kleinere Werte als $R_2 = 7,00$ m dürfen nicht verwendet werden
*) $R_2 = 15,00$ m nur, wenn Tropfen eingebaut wird

Tabelle 2.1: Hauptbogenradien für Eckausrundungen ohne Dreiecksinsel [FGSV, 2006, S. 123]

Richtungsänderungswinkel	Hauptbogenradius R_2
80 gon	20,00 m
100 gon	25,00 m
120 gon	25,00 m

Zwischenwerte können eingeschaltet werden
Die Maße ergeben eine Mindestgröße für die Dreiecksinsel

Tabelle 2.2: Hauptbogenradien für Eckausrundungen neben Dreiecksinsel [FGSV, 2006, S. 123]

Insbesondere an Knotenpunkten mit begrenzten Flächenverhältnissen besteht die Möglichkeit des Versatzes der Haltelinie des Gegenverkehrs, um den Fahrzeugen des Schwerverkehrs das Abbiegen zu ermöglichen.

Des Weiteren werden in der RAST die Abmessungen von Kreisverkehren beschrieben. Unterschieden wird zwischen Minikreisverkehr, kleinem Kreisverkehr (nur ein Fahrstreifen) und Kreisverkehren mit mehreren Fahrstreifen. Um die Befahrbarkeit mit allen Fahrzeugarten zu gewährleisten, wird bei Minikreisverkehren ein äußerer Durchmesser von mindestens 13,00 m sowie für kleine Kreisverkehre von 26,00 m empfohlen. Dabei besteht in Minikreisverkehren die Möglichkeit die Kreisinsel zu überfahren, was in kleinen Kreisverkehren in der Regel nicht möglich ist. Abhängig vom Außendurchmesser verändert sich die Breite des Kreisrings. Diese beinhaltet neben der Breite der Kreisfahrbahn auch den (überfahrbaren) Innenring. Die exakten Werte können Tabelle 2.3 entnommen werden [FSGV, 2006].

Element	Minikreisverkehr		Kleiner Kreisverkehr		
Außendurchmesser D	13,00 m – 22,00 m	26,00 m	30,00 m	35,00 m	≥ 40,00 m
Breite des Kreisrings B_k	4,00 m – 5,00 m	9,00 m	8,00 m	7,00 m	6,50 m

Tabelle 2.3: Abhängigkeit zwischen dem Außendurchmesser D und der baulichen Breite des Kreisrings B_k [nach: FGSV, 2006, S. 15]

2.1.1 ÖPNV-spezifische Anwendungsbereiche

Bushaltestellen können in unterschiedlichsten Variationen ausgeführt werden. Insbesondere bei der Anordnung von Busbuchten müssen bestimmte Mindestmaße eingehalten werden. Die Bucht muss ausreichend dimensioniert sein, damit der Bus sich aus dem fließenden Verkehr barrierefrei und bordsteinparallel mit maximal 0,05 m Abstand zum Bord an seiner Halteposition aufstellen kann. Da der barrierefreie Ausbau der Haltestelle eine Bordhöhe von 0,18 m erfordert ist unabhängig von der Zulässigkeit ein Überstreichen der Wartefläche beim Einfahren in der Regel nicht möglich. Hierfür sieht die EAÖ inklusive der Verziehung eine Gesamtlänge von knapp 90,00 m der Bucht für Stadtbusse vor. Davon sind rund 38,00 m für die Verziehung im Einfahrbereich sowie rund 19,00 m für das Ausfahren aus der Bucht vorzusehen. Die exakten Bemessungen können Abbildung 2.3 entnommen werden [FGSV, 2013, S. 67].

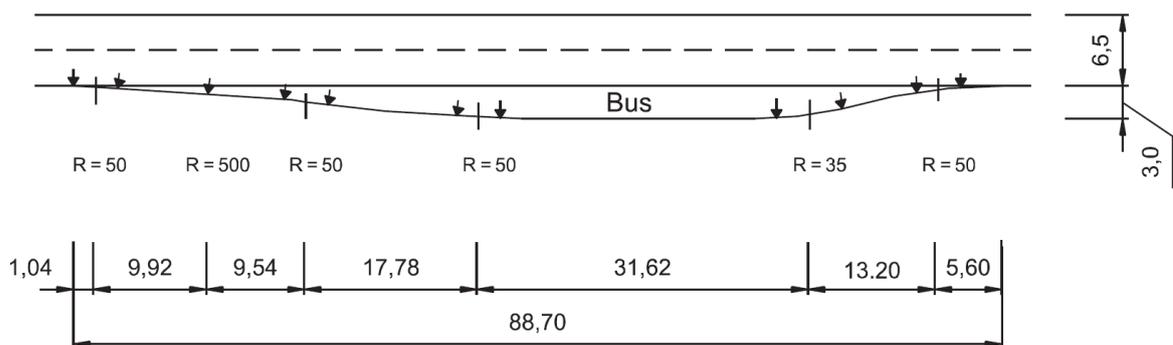


Abbildung 2.3: Busbucht mit Abmessungen für den Betrieb mit Stadtbussen [FGSV, 2013]

Ergänzend zur EAÖ werden in der HVÖ ebenfalls Dimensionierungen von Haltestellen oder Busbahnhöfen beschrieben. Im Anwendungsbereich der Busbahnhöfe spielen neben der Anordnung der Haltepositionen auch die Fahrbeziehungen eine gesonderte Rolle. Sollen die Busse unabhängig voneinander ein- und ausfahren können, ist dies bei der Planung zwangsläufig zu berücksichtigen. So ist beispielsweise bei der Abmessung eines

Längsbussteiges für mehrere Fahrzeuge ein Mindestabstand von 7,00 m zwischen den Fahrzeugen vorzusehen, um das unabhängige Ausfahren gewährleisten zu können (siehe Abbildung 2.4).

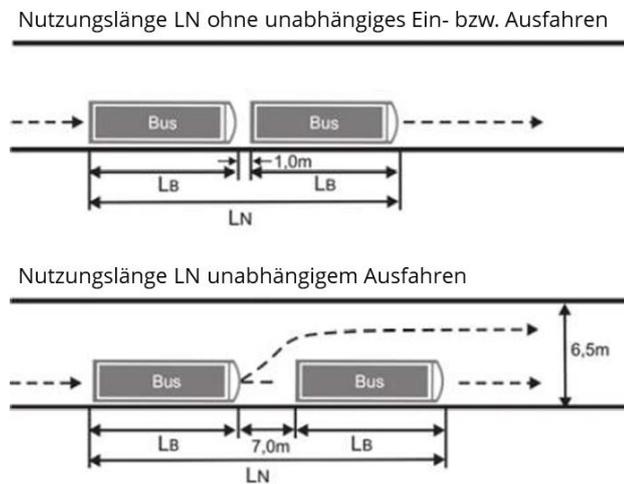


Abbildung 2.4: Abmessung von Längsbussteigen [FGSV, 2009]

L_B = Fahrzeuglänge

L_N = Nutzungslänge

Eine weitere mögliche Anordnung der Fahrzeuge ist die Sägezahnauaufstellung. Dabei stehen die Busse mit einer Schräglage von ΔY nicht mehr parallel zur Fahrbahn. Diese Aufstellung bringt den Vorteil mit sich, dass durch die schräge Ausführung die Entwicklungslänge des Bussteiges verkürzt werden kann. Der Abstand zwischen den Bussen, der Auffahradius und die Schräglage geben die Abmessungen des Bussteiges vor. In Abbildung 2.5 und 2.6 ist die Sägezahnauaufstellung mit allen erforderlichen Parametern dargestellt. Diese werden in der nachfolgenden Tabelle 2.4 zusammenhängend aufgeführt.

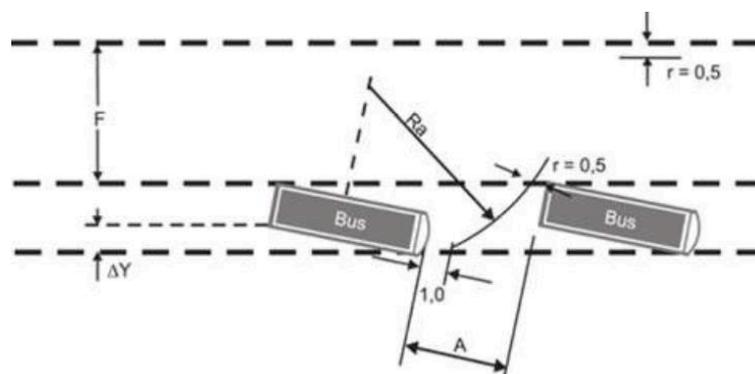


Abbildung 2.5: Abmessungen eines sägezahnförmigen Bussteiges [FGSV, 2009]

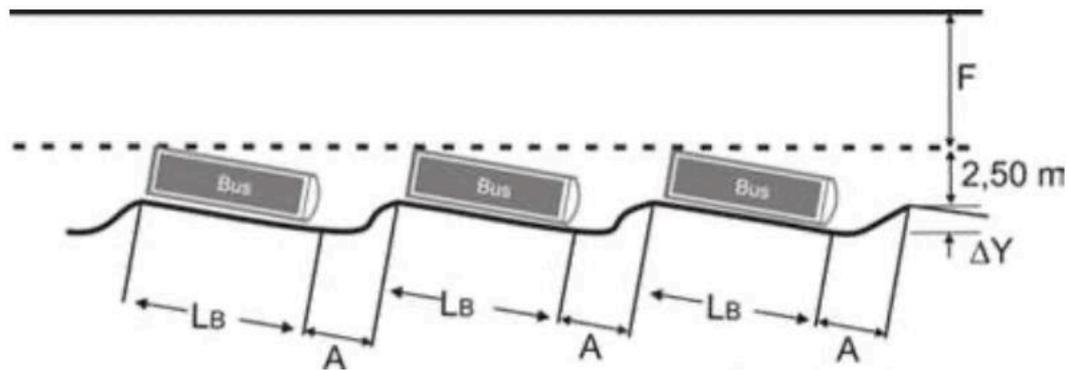


Abbildung 2.6: Bushaltestelle mit sägezahnförmiger Anordnung der Haltpositionen [FGSV, 2009]

A = Abstand der Busse

F = Abstand von Busecke links hinten bis Fahrbahnrand

ΔY = Schräglage

R_a = Auffahrradius, gemessen rechte vordere Busecke

r = Sicherheitsabstand

L_B = Fahrzeuglängen

A [m]	ΔY[m]	R_a[m]	F[m]
4,00	2,10	10,70	6,45
5,00	2,00	11,90	6,33
6,00	1,90	13,60	6,25
7,00	1,80	15,60	6,20

Tabelle 2.4: Parameter der Abmessungen eines sägezahnförmigen Bussteigs [FGSV, 2009]

Auch bei der Planung von Betriebshöfen ist die Überprüfung der Befahrbarkeit mittels Schleppkurven relevant. Der Verband deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) gibt in seiner Schrift 822 „Richtlinie für den Bau von Omnibus-Betriebshöfen“ wesentliche Parameter vor. Allgemein wird eine Fahrstraßenbreite von 6,50 m auf dem Betriebshofgelände empfohlen. Abhängig von der Aufstellart der Busse wird im Ein- bzw. Ausfahrbereich der Abstellung empfohlen eine bestimmte Breite frei von Bebauungen zu halten. So wird bei der Blockabstellung beispielsweise empfohlen eine Fahrstraßenbreite von 18 m zum Ein- und Ausfahren freizuhalten. Für die Schrägaufstellung hingegen reicht im Einfahrbereich

eine Breite von 11,00 m, für den Ausfahrbereich werden jedoch 25,00 m empfohlen. Unabhängig von den empfohlenen Abmessungen der Abstellung bzw. des restlichen Betriebshofgeländes ist eine allgemeine Überprüfung der Befahrbarkeit aller Abstellpositionen und des restlichen Geländes mittels Schleppkurven zwingend notwendig.

2.1.2 Diskrepanz zwischen Theorie und Praxis

Alle Vorgaben und Richtlinien basieren auf theoretischen Betrachtungen der Fahrzeugabmessungen und dem sich daraus ergebenden Fahrverhalten. Insbesondere die RBSV umfasst ausschließlich statische Schleppkurvenschablonen. Inwiefern diese Betrachtungen und Planungen mit den vordergründig verwendeten dynamischen Schleppkurven übereinstimmen und der Praxis entsprechen ist unklar. Jegliche Planungen von Verkehrsanlagen und -flächen müssen trotz Einhaltung der in den Regelwerken angegebenen Mindestwerte durch explizite Schleppkurvennachweise überprüft werden. Insbesondere äußere Einflussfaktoren haben zur Folge, dass eine softwareseitig ausgeführte Schleppkurve nur schwer exakt in der Praxis umgesetzt werden kann. Dazu gehören beispielsweise wetterabhängige Veränderungen des Fahrverhaltens, wie Schlupf oder Rutschen. Ebenso wie die äußeren Gegebenheiten beeinflusst auch die Tagesform des Fahrers, wie präzise eine Kurvenfahrt ausgeführt werden kann.

2.2 FAHRZEUGTYPEN

Die 2019 veröffentlichte EU-Richtlinie (Europäische Union) „Clean Vehicles Directive“ (CVD) wurde 2021 auf Bundesebene umgesetzt. Ziel der Richtlinie ist die Förderung sauberer und energieeffizienter Straßenfahrzeuge zur höchstmöglichen CO₂-Reduzierung. Die Richtlinie schreibt den Anteil der Neubeschaffungen an sauberen und emissionsfreien Fahrzeugen vor. Im Bereich des ÖPNV sollen demnach bis 2030 65 % der neubeschafften Fahrzeuge sauber und emissionsfrei angetrieben werden [VDV, 2023]. Insbesondere für Stadtbusse gilt bis 2030 ein 85-prozentiges Emissionsreduktionsziel sowie dass ab 2035 ausschließlich emissionsfreie Fahrzeuge zugelassen werden dürfen [BUSBLICKPUNKT, 2023]. Diese Forderung veranlasst, dass im weiteren Verlauf dieser Arbeit ausschließlich die batterieelektrischen Modelle an Solobussen der führenden Hersteller für den deutschen Markt betrachtet werden. Brennstoffzellenbusse werden aufgrund der aktuell noch sehr

geringen Marktdurchdringung nicht berücksichtigt [NOW, 2022]. Mercedes-Benz, VDL und MAN bilden die Top 3 der Hersteller der meisten Neuzulassungen von batterieelektrischen Bussen in Deutschland (Stand 2021) [ELECTRIVE, 2022]. Auch Solaris und BYD zählen zu den Top Herstellern von Elektrobussen [EUROTRANSPORT, 2021]. Aufgrund ungenügender Bereitstellung an Fahrzeugdaten fallen diese Beiden jedoch aus der Betrachtung heraus. Um dennoch eine ausreichende Vergleichsgrundlage bilden zu können, wurden basierend auf internen Ausschreibungsunterlagen die Hersteller Ebusco, IVECO sowie Van Hool in die Untersuchung mit einbezogen.

Wie eingehend erwähnt sind in den FGSV-Regelwerken aktuell lediglich vier Fahrzeugtypen im Bereich des Busverkehrs vermerkt. Drei Reise-/ Linienbusse mit einer Länge 12,00 m, 13,50 m und 15,00 m sowie ein 18,00 m Gelenkbus. Diese vier Fahrzeugtypen decken nicht alle marktverfügbaren Fahrzeuge ab. Im Bereich der Solobusse werden von Herstellern mittlerweile Fahrzeuge mit einer Länge zwischen 12,00 m und 12,30 m angeboten. Auch bei den Gelenkbussen entspricht das Angebot der Hersteller nicht mehr dem in der RBSV aufgeführten 18-m-Bus. Häufig werden Busse mit einer Gesamtlänge von 18,75 m bzw. 19,00 m angeboten.

2.2.1 Fahrzeuggeometrie

Die Fahrzeugabmessungen werden im Rahmen dieser Arbeit zusammengefasst als Fahrzeuggeometrie beschrieben. Nachfolgende Daten sind dabei relevant für die Berechnung der Schleppkurven:

- Länge
- Radstand
- Überhang (vorne/hinten)
- Breite
- Spurbreite (vorne/hinten)
- Bodenfreiheit
- Wenderadius
- Lenkwinkel
- Lenkzeit

Fahrzeugdaten wie Gewicht, Achslast, Reichweite oder Kapazität haben für die Betrachtung der Kurvenlaufeigenschaften keine Relevanz.

Die (Gesamt-)Länge des Fahrzeuges setzt sich dabei aus dem Radstand und den Überhängen vorne und hinten zusammen. Sowohl beim Radstand als auch bei den Überhängen wird jeweils bis zur Mitte des Rades gemessen. Alle Hersteller nutzen die in Deutschland höchstzulässige Breite von 2.550 mm (ohne Außenspiegel) vollständig aus. Die Spurbreite wird vorne bis zur Mitte des Rades gemessen sowie hinten, für den Fall, dass pro Achse vier Räder angeordnet sind, bis zur Mitte zwischen den Rädern einer Seite. Die Bodenfreiheit umfasst den minimalen Abstand von der Fahrbahnoberfläche bis zur unteren Kante der Karosserie. In Abbildung 2.7 ist beispielhaft das Model A12-LF-FC des Herstellers Van Hool abgebildet, um die beschriebenen Abmessungen zu verdeutlichen.

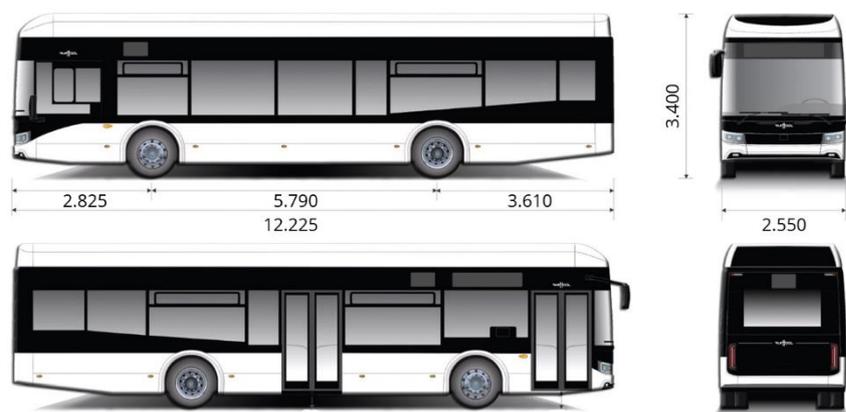


Abbildung 2.7: Van Hool A12-LF-FC [VAN HOOL, 2022]

Der vom Hersteller angegebene Radius beschreibt den kleinstmöglichen Radius, den das Fahrzeug zum Wenden benötigt. In den meisten Fällen wird der kleinste äußere Radius, welcher auch als Wand-Wand-Radius (WW) oder Wendekreis beschrieben wird, angegeben, dieser ist in der Abbildung 2.8 in Grün dargestellt. Des Weiteren kann ebenso der Radius des Spurkreises, auch als Bordstein-Bordstein-Radius (CC) bekannt, oder der Mittellinienradius (R) angegeben werden (in Blau bzw. Rot dargestellt). Die letzte Variante ist der innere Wenderadius, gemessen an der Innenseite des Fahrzeuges auf Höhe der Hinterachse. Die genannten Radien werden in Abbildung 2.8 in ihrer Relation zueinander noch einmal visualisiert.

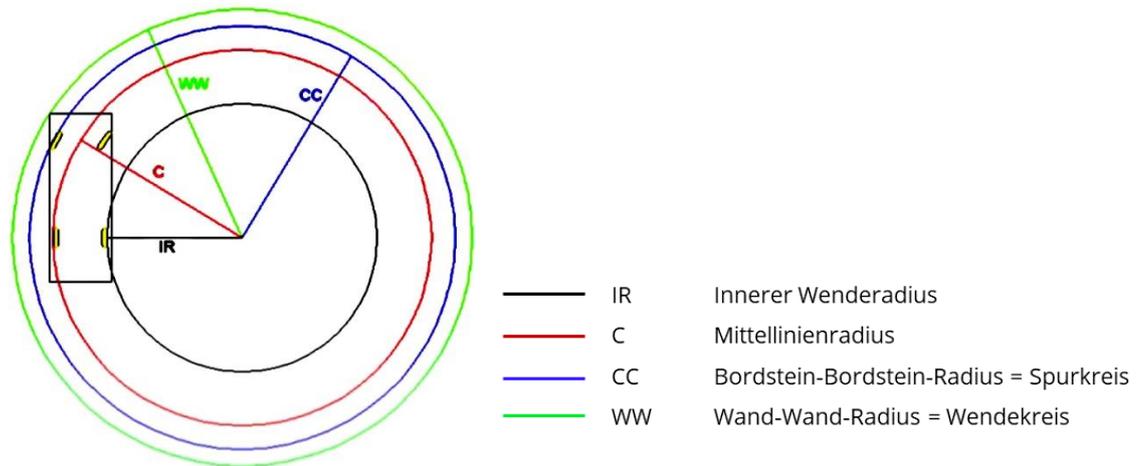


Abbildung 2.8: Wenderadien [TRANSOFT SOLUTION, 2023, bearbeitet]

3 FAHRZEUGANALYSE

Für einen Überblick der marktverfügbaren Fahrzeuge, werden für die in Deutschland verfügbaren batterieelektrischen Solobusse sowie einige relevante Gelenkbusse die Fahrzeugabmessungen gegenübergestellt. Dabei werden alle in Kapitel 2.3 aufgeführten Fahrzeuggeometrien miteinander verglichen. Die in der Planung übliche Einheit der Richtungsänderungswinkel entspricht, anders als im Vermessungswesen, Grad und nicht Gon. Zur besseren Vergleichbarkeit werden anschließend für ausgewählte Fahrzeuge Schleppkurvenschablonen für 45, 90, 135 sowie 180 Grad erstellt. Ebenso wird in diesem Kapitel ein 85-%-Fahrzeug konzipiert. Dieses Fahrzeug ergibt sich aus den jeweiligen 85-%-Quantilen des Radstandes sowie der Überhänge der verglichenen Fahrzeuge. Die Gesamtlänge setzt sich dabei aus der Summe des Radstandes sowie der Überhänge zusammen.

3.1 VERGLEICH DER SOLOBUSSE

Für den Vergleich wird als Referenzfahrzeug der in der RBSV vorgestellte 12.000 mm Solobus herangezogen. In Tabelle 3.1 sind die diskutierten Werte zur besseren Nachvollziehbarkeit aufgeführt. Die Fahrzeugbreite wird in der Tabelle nicht mit aufgeführt, da diese nach § 30 StVZO bei allen Fahrzeugen 2.550 mm beträgt. Damit nutzen alle Modelle die erlaubte höchstmögliche Breite aus. Es sind dahingehend keine Änderungen möglich, welche negative Auswirkungen auf die Kurvenlaufeigenschaften haben würden. Ebenso wird darauf verzichtet die Höhe der Fahrzeuge mit aufzuführen, da diese für die Untersuchung der Kurvenlaufeigenschaften irrelevant ist. Der maximale Lenkwinkel beträgt bei allen Herstellern 51 bzw. 53 Grad [EBUSCO, 2021; EBUSCO, 2023; IVECO, 2020; MAN, 2022b; MERCEDES-BENZ, 2022b; VAN HOOL, 2022; VDL, 2023].

Hersteller/ Modell	Länge [mm]	Rad- stand [mm]	Überhang [mm]		Spurbreite [mm]		Boden- freiheit [mm]	Wende- radius [mm]
			Vorne	Hinten	Vorne	Hinten		
FGSV-Referenz [FGSV, 2020]	12.000	5.900	2.800	3.300	2.550	2.550	300	10.500
Ebusco 2.2 [EBUSCO, 2021]	12.000	5.850	2.750	3.400	2.371	2.372	247	11.250
Ebusco 3.0 [EBUSCO, 2023]	11.990	5.900	2.805	3.285	2.439	2.464	160	10.700
IVECO E-WAY [IVECO, 2020]	12.050	6.120	2.705	3.225	2.362	2.419	300	10.890
MAN Lion's City E [MAN, 2022a/b]	12.185	6.005	2.775	3.405	2.403	2.384	230	10.747
MB eCitaro [MERCEDES-BENZ, 2022b/2023a/b]	12.135	5.900	2.805	3.430	2.394	2.411	320	10.607
Van Hool A12-LF-FC [VAN HOOL, 2022]	12.225	5.790	2.825	3.610	2.165	2.000	320	10.700
VDL NGC [VDL, 2023]	12.200	6.350	2.600	3.250	2.390	2.370	180	10.915
85 %-Fahrzeug	12.273	6.045	2.805	3.423	2.439	2.430	320	11.183

Tabelle 3.1: Fahrzeugabmessungen der führenden Hersteller von Solobussen

In Tabelle 3.1 sind neben der FGSV-Referenz die Fahrzeuggeometrien von insgesamt sieben Vertretern der Solobusklasse gelistet. Die Gesamtlänge der Busse weicht bis auf das Modell Ebusco 2.2 von der FGSV-Referenz (exakte Länge von 12.000 mm) ab. Ein Fahrzeugmodell (Ebusco 3.0) unterschreitet die Referenz mit 11.990 mm minimal, alle anderen liegen darüber. Das Fahrzeug Van Hool A12-LF-FC ist mit 12.225 mm unter den Vergleichsfahrzeugen der längste Solobus. Das neu erstellte Bemessungsfahrzeug (85%-Fahrzeug) vereint die ungünstigen Fahrzeuggeometrien dadurch, dass die Gesamtlänge aus der Summe der Quantile des Radstandes und den Überhängen gebildet wird. Dies hat zur Folge, dass die Gesamtlänge die der verglichenen Fahrzeuge überschreitet. Mit 12.273 mm ist das Bemessungsfahrzeug deutlich länger als das FGSV-Referenzfahrzeug.

Anhand dieser Eingangsdaten kann nun die prozentuale Abweichung der herstellerspezifischen Fahrzeuge vom Referenzfahrzeug ermittelt werden. Des Weiteren wird betrachtet,

auf welche Parameter der Fahrzeuggeometrie die abweichende Fahrzeuglänge Einfluss hat. Dazu sind in Tabelle 3.2 für alle betrachteten Hersteller jeweils die relativen Abweichungen vom FGSV-Referenzfahrzeug für die Gesamtlänge, den Radstand sowie die Überhänge aufgeführt. In Grün dargestellt sind die negativen Abweichungen, also eine Unterschreitung des Referenzwertes sowie in Rot eine Überschreitung des Wertes. Sehr geringe Abweichungen von < 1,00 % werden in Orange dargestellt, da sich im weiteren Verlauf der Untersuchung herausgestellt hat, dass sie wenig ausschlaggebend sind.

Hersteller/ Modell	Gesamtlänge	Radstand	Überhang	
			Vorne	Hinten
FGSV-Referenz [FGSV, 2020]	12.000 mm	5.900 mm	2.800 mm	3.300 mm
Ebusco 2.2	0,00 %	-0,85 %	-1,79 %	3,03 %
Ebusco 3.0	-0,08 %	0,00 %	0,18 %	-0,45 %
IVECO E-WAY	0,42 %	3,73 %	-3,39 %	-2,27 %
MAN Lion's City e	1,54 %	1,78 %	-0,89 %	3,18 %
MB eCitaro	1,13 %	0,00 %	0,18 %	3,94 %
Van Hool A12-LF-FC	1,88 %	-1,86 %	0,89 %	9,39 %
VDL NGC	1,67 %	7,63 %	-7,17 %	-1,52 %
85 %-Fahrzeug	2,27 %	2,46 %	0,18 %	3,71 %

Tabelle 3.2: Relative Abweichung zum FGSV-Referenzbus

Beim längsten Fahrzeug (Van Hool A12) wird die Differenz den relativen Zahlen zufolge vordergründig durch den längeren, hinteren Überhang verursacht. Hier beträgt die Abweichung rund 9 %. Beim zweitlängsten Bus (VDL NGC, 12.200 mm) ist der Radstand deutlich geringer, jedoch wird die positive Längendifferenz durch den weiteren Überhang bedingt. Auffallend ist außerdem der IVECO E-WAY, welcher in der Gesamtlänge mit 50 mm nur geringfügig von der FGSV-Referenz abweicht, jedoch in Anbetracht des Radstandes und der Überhänge deutlich stärker von der Referenz abweicht. Durch eine Überschreitung aller Geometrien weicht das neue Bemessungsfahrzeug stark von der Referenz ab. Die größte Differenz weist auch dieses Fahrzeug in Bezug auf den hinteren Überhang auf.

Wird die Gesamtlänge als Summe der Überhänge und des Radstandes betrachtet, können die relativen Anteile der Bestandteile in Bezug auf die Gesamtlänge gesondert betrachtet werden. Überschlagen teilt sich die Gesamtlänge zur Hälfte auf den Radstand und jeweils zu einem Viertel auf den vorderen und hinteren Überhang auf. Dabei ist der vordere Überhang im Allgemeinen etwas kürzer als der Hintere. Während der relative Anteil des vorderen Überhangs zwischen 21 und 23 % liegt, beträgt der Anteil des hinteren Überhangs zwischen 27 und 29 %. Der Anteil des Radstandes an der Gesamtlänge schwankt herstellerabhängig zwischen 47 und 52 %. Der VDL NGC hat bei einer Gesamtlänge von 12.200 mm mit 6.350 mm den weitesten Radstand der Stichprobe und damit auch den höchsten prozentualen Anteil (siehe Diagramm 3.1). Dies hat zur Folge, dass insbesondere der Anteil des vorderen Überhangs vergleichsweise gering ausfällt. Mit 47,36 % weist das Modell von Van Hool den kleinsten relativen Anteil des Radstandes auf. Gleichzeitig hat dieses Modell den höchsten Anteil des hinteren Überhangs. Die relativen Werte werden auch durch die absoluten Längen untermauert, da der Van Hool auch bei Betrachtung der absoluten Werte den kleinsten Radstand sowie den größten hinteren Überhang aufweist. Das erstellte Bemessungsfahrzeug reiht sich mit einem vorderen Überhang von 22,85 %, einem Radstand von 49,26 % und einem hinteren Überhang von 27,89 % im Mittelfeld der verglichenen Fahrzeuge ein.

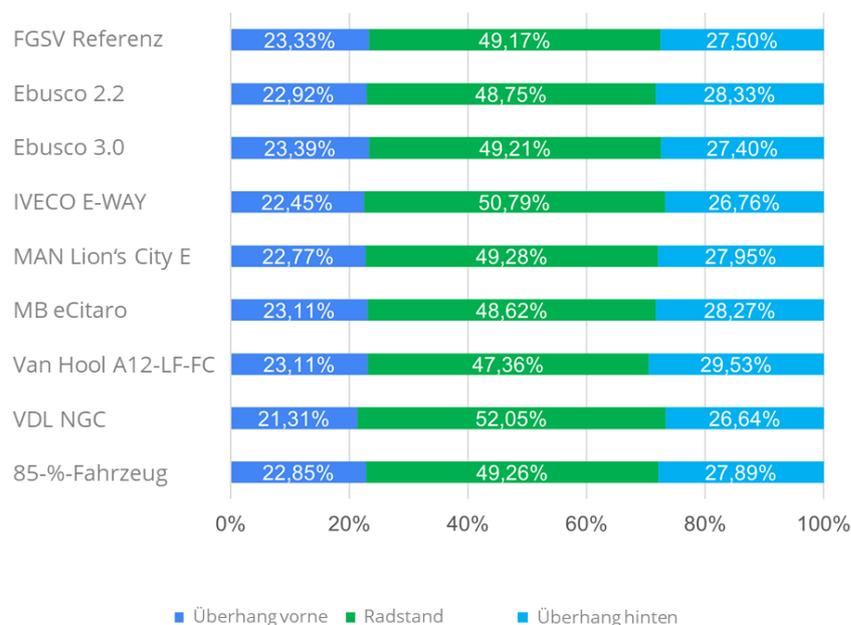


Diagramm 3.1: Prozentuale Verteilung der Gesamtlänge

Die Kombinationen aus Abweichungen des Radstandes sowie der Überhänge führt dazu, dass alle verglichenen Fahrzeugmodelle veränderte Kurvenlaufeigenschaften aufweisen. Dies wirkt sich negativ auf den Wenderadius aus. Alle Modelle haben einen weiteren Wenderadius als die FGSV-Referenz. Dieser ist von besonderer Bedeutung für die Betrachtung der Kurvenlaufeigenschaften. Zur Übersicht sind in Tabelle 3.3 der Wenderadius und die relative Abweichung zur Referenz dargestellt.

Hersteller/Modell	Wenderadius [mm]	Relative Abweichung zur Referenz
FGSV-Referenz [FGSV, 2020]	10.500	
Ebusco 2.2 [EBUSCO, 2021]	11.250	7,14 %
Ebusco 3.0 [EBUSCO, 2023]	10.700	1,90 %
IVECO E-WAY [IVECO, 2020]	10.890	3,71 %
MAN Lion's City E [MAN, 2022b]	10.747	2,35 %
MB eCitaro [MERCEDES-BENZ, 2023b]	10.607	1,02 %
Van Hool A12-LF-FC [VAN HOOL, 2022]	10.700	1,90 %
VDL NGC [VDL, 2023]	10.915	3,95 %
85 %-Fahrzeug	11.183	6,50 %

Tabelle 3.3: Vergleich der Wenderadien

Die geringste Abweichung mit 200 mm haben der Ebusco 3.0 sowie der Van Hool A12-LF-FC mit einem Wenderadius von 10.700 mm. Dies spiegelt sich zumindest beim Ebusco 3.0 auch in den Abweichungen der einzelnen Komponenten wider. Der Van Hool dagegen weicht, wie in Tabelle 3.2 zu sehen ist, in Bezug auf die Gesamtlänge und den hinteren Überhang vergleichsweise stark von der Referenz ab. Die größte Differenz des Wenderadius weist der Ebusco 2.0 auf. Trotz der nur recht geringen Abweichungen des Radstandes und der Überhänge hat dieses Modell mit 11.250 mm und damit einer Abweichung von 7,14 % im Vergleich zur Referenz den größten Wenderadius. Auf den Ebusco 2.2 folgen das neue Bemessungsfahrzeug mit einer Abweichung von 6,50 % sowie der IVECO E-WAY und der VDL NGC mit einer Abweichung des Wenderadius von jeweils knapp 4 %. Die vergleichsweise große Abweichung ist beim IVECO auf den weiteren Radstand zurückzuführen, während beim VDL eher die verlängerten Überhänge ausschlaggebend sind. Anhand

dieser Werte kann kein Rückschluss gezogen werden, welche geometrischen Eigenschaften eine größere Auswirkung auf die Veränderung des Wenderadius haben.

Diese Untersuchung bestätigt die These, dass die veränderten Fahrzeuggeometrien zu Abweichungen zwischen dem FGSV-Referenzfahrzeug und den aktuell marktverfügbaren Fahrzeugen führen. Der größere Wenderadius wirkt sich direkt auf die Kurvenlaufeigenschaften und die damit verbundenen Schleppkurven aus. In Kapitel 4 und 5 werden diese Auswirkungen vorerst simulationsgestützt und folgend versuchsgestützt genauer untersucht.

3.2 VERGLEICH DER GELENKBUSSE

Neben den batterieelektrischen Solobussen werden auch verfügbare batterieelektrische sowie einige Diesel-Gelenkbusse hinsichtlich ihrer Fahrzeuggeometrien verglichen. Das Marktangebot an Batterie-Gelenkbussen ist vergleichsweise gering, weshalb ausgewählte Dieselsebusse, deren Fahrzeuggeometrien sich in der Praxis als ungünstig erwiesen haben, für den Vergleich herangezogen. Dabei wird ebenso der in der RBSV vorgestellte FGSV-Gelenkbus als Referenz genutzt. Ziel des Vergleichs der Gelenkbusse ist nicht die Übersicht über verschiedene Modelle der gleichen Gefäßgröße zu gewinnen, vielmehr werden explizit Modelle mit großen Differenzen der geometrischen Parameter verglichen. Daher wird auf Grundlage der verglichenen Modelle kein neues 85%-Bemessungsfahrzeug erstellt.

Alle Modelle verfügen über eine Breite (ohne Außenspiegel) von 2.550 mm. Die Referenz der FGSV ist 18.000 mm lang und verfügt über drei Achsen. Volvo hat mit dem Modell 7900 einen Gelenkbus, welcher in zwei unterschiedlichen Längen verfügbar ist. Mit 17.849 mm ist eines der Modelle als einziges kürzer als die FGSV-Referenz, während das zweite Modell mit 18.557 mm deutlich länger ist. Verglichen werden darüber hinaus die MAN-Modelle Lion's City 19 mit einer Gesamtlänge von 18.750 mm sowie der Lion's City 18E mit einer Länge von 18.060 mm. In den Tabellen 3.4 und 3.5 sind alle diskutierten Werte der ausgewählten Gelenkbusse dargestellt.

Hersteller/ Modell	Länge [mm]			Radstand [mm]		
	Gesamt	Vorderwagen	Nachläufer	1-2	2-3	3-4
FGSV-Referenz [FGSV, 2020]	18.000	10.390	7.610	5.900	6.000	-
Volvo 7900 18 [VOLVO, 2020]	17.849	10.504	7.345	5.945	5.897	-
Volvo 7900 19 [VOLVO, 2020]	18.557	10.504	8.053	5.945	6.605	-
MB eCitaro G [MERCEDES-BENZ, 2022a/2023c]	18.125	10.530	7.595	5.900	5.990	-
MAN Lion's City 18E [MAN, 2022a/b]	18.060	9.752	8.308	5.870	7.260	-
MAN Lion's City 19 [MAN, 2020]	18.750	10.422	8.308	5.900	6.680	-
MB CapaCity L [MERCEDES-BENZ, 2016/2020]	20.995	11.140	9.855	5.900	6.680	1.600

Tabelle 3.4: Fahrzeugabmessungen der führenden Hersteller von Gelenkbussen Teil 1

Hersteller/ Modell	Überhang [mm]				Spurbreite [mm]		Wende- Radius [mm]
	Vorne	Vorne Gelenk	Hinten Gelenk	Hinten	Vorne	Hinten	
FGSV-Referenz [FGSV, 2020]	2.700	1.790	4.210	3.400	2.550	2.550	11.400
Volvo 7900 18 [VOLVO, 2020]	2.699	1.860	4.037	3.308	-	-	12.305
Volvo 7900 19 [VOLVO, 2020]	2.699	1.860	4.745	3.308	-	-	12.305
MB eCitaro G [MERCEDES-BENZ, 2022a/2023c]	2.805	1.825	4.185	3.430	2.394	2.411	11.464
MAN Lion's City 18E [MAN, 2022a/b]	2.775	1.777	4.903	3.405	2.403	2.384	11.548
MAN Lion's City 19 [MAN, 2020]	2.775	1.777	4.903	3.405	2.403	2.384	12.046
MB CapaCity L [MERCEDES-BENZ, 2016/2020]	2.805	2.435	4.825	3.430	2.394	2.409	12.223

Tabelle 3.5: Fahrzeugabmessungen der führenden Hersteller von Gelenkbussen Teil 2

Im direkten Vergleich der beiden Volvo-Modelle ist zu erkennen, dass sich die Längendifferenz ausschließlich auf den Nachläufer auswirkt und beide Busse über die gleiche Länge des Vorderwagens verfügen. Dementsprechend gleichen sich auch die Achsabstände des Vorderwagens beider Modelle und die Längendifferenz wirkt sich ausschließlich auf den Achsabstand zwischen der mittleren und der hinteren Achse aus. Ebenso gleichen sich die Überhänge der Modelle bis auf den Überhang zwischen dem Gelenk und der dritten Achse. Hier wird die Differenz der Gesamtlängen der Modelle ausgeglichen (Diagramm 3.2).

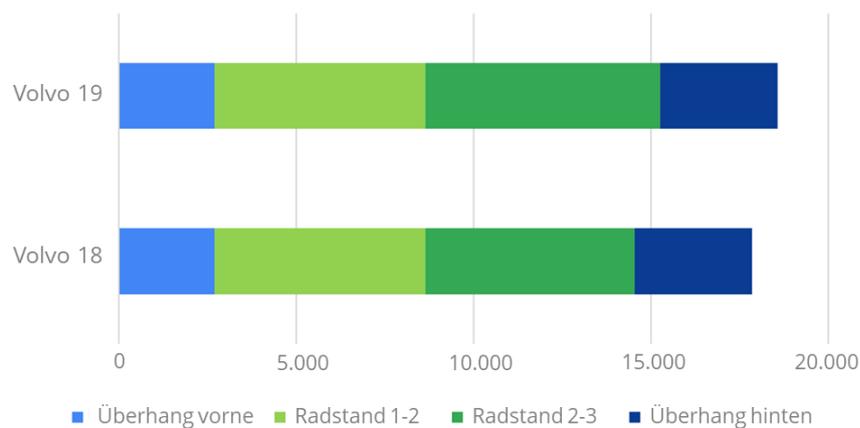


Diagramm 3.2: Verteilung der Gesamtlänge Volvo 7900 18 und 19

Dem Diagramm 3.3 ist zu entnehmen, dass mit Ausnahme des Man Lion's City 18E bei steigender Gesamtlänge der prozentuale Anteil des Vorderwagens geringer wird. Während der Vorderwagen des Volvo 7900 18 knapp 58 % der Gesamtlänge ausmacht, sind es bei CapaCity L nur 53 %. Auch der FGSV-Referenz Bus springt aus dieser Reihe heraus. Mit der zweitkürzesten Gesamtlänge fällt der prozentuale Anteil des Vorderwagens mit nur 52,22 % vergleichsweise gering aus. Die Modelle sind von oben nach unten in absteigender Gesamtlänge sortiert.

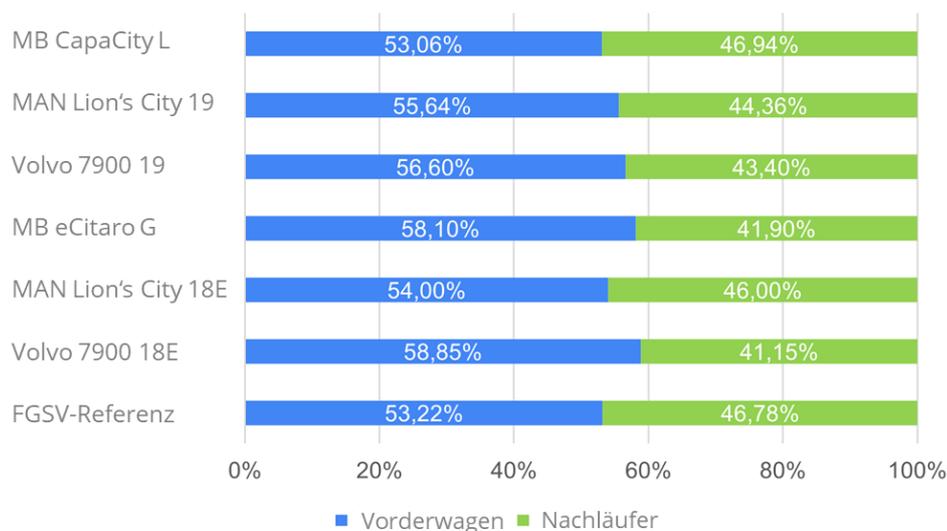


Diagramm 3.3: Prozentuale Verteilung der Gesamtlänge (Gelenkbusse)

Analog zum Kapitel 3.1 ist in der folgenden Tabelle 3.6 die relative Abweichung der Gesamtlänge, der Radstände sowie der Überhänge vom FGSV-Referenzfahrzeug dargestellt. Unter Betrachtung aller Kenngrößen weist der MB eCitaro G insgesamt die geringsten Abweichungen auf. Bis auf den vorderen Überhang liegen alle relativen Abweichungen zur FGSV-Referenz unter einem Prozent. Erkennbar ist, dass der Radstand zwischen der ersten und zweiten Achse bei den meisten Modellen nur geringfügig vom Referenzfahrzeug abweicht, mit Ausnahme des MAN Lion's City 18E. Dieser unterscheidet sich bei einer sehr ähnlichen Gesamtlänge mit einem knapp 12 % geringeren Radstand zwischen der ersten und zweiten Achse deutlich vom Referenzbus. Diese große Differenz spiegelt sich auch zwischen der zweiten und der dritten Achse wider. Hier ist der Abstand rund 11 % weiter als bei der FGSV-Referenz. Auffallend ist darüber hinaus, dass mit Ausnahme des Volvo 7900 18 alle Modelle einen weiteren Radstand zwischen der zweiten und der dritten Achse aufweisen. Im direkten Vergleich der beiden Volvo-Modelle ist erkennbar, dass die Längendifferenz sich ausschließlich auf die Radstände auswirkt, während die Überhänge sowohl vorne als auch hinten bei beiden Modellen identisch sind. Hier wird die Differenz mit einem erweiterten Radstand zwischen der zweiten und der dritten Achse ausgeglichen. Ähnlich ist auch der Vergleich der beiden MAN-Modelle; auch hier stimmen die Überhänge exakt überein. Allerdings wird die Längendifferenz mit dem kürzeren Radstand zwischen der ersten und zweiten Achse des Lion's City 18E ausgeglichen.

Hersteller/ Modell	Gesamtlänge	Radstand		Überhang	
		1 - 2	2 - 3	Vorne	Hinten
FGSV-Referenz [FGSV, 2020]	18.000 mm	5.900 mm	6.000 mm	2.700 mm	3.400 mm
Volvo 7900 18	-0,84 %	0,76 %	-1,72 %	-0,04 %	-2,71 %
Volvo 7900 19	3,09 %	0,76 %	10,08 %	-0,04 %	-2,71 %
MB eCitaro G	0,69 %	0,00 %	0,17 %	3,89 %	0,88 %
MAN Lion's City 18E	0,33 %	-11,86 %	11,33 %	2,78 %	0,15 %
MAN Lion's City 19	4,06 %	-0,51 %	11,33 %	2,78 %	0,15 %

Tabelle 3.6: Relative Abweichung zum FGSV-Referenzbus

Besondere Abweichungen gegenüber der FGSV-Referenz weist der MB CapaCity L auf. Hierbei handelt es sich um einen Gelenkbus mit Überlänge. Bei einer Gesamtlänge von 20.995 mm ist er knapp drei Meter länger als der bisher verwendete 18.000 mm Gelenkbus. Die größte Besonderheit dieses Modells sind die insgesamt vier Achsen, von denen neben der Ersten auch die Vierte aktiv gelenkt wird.

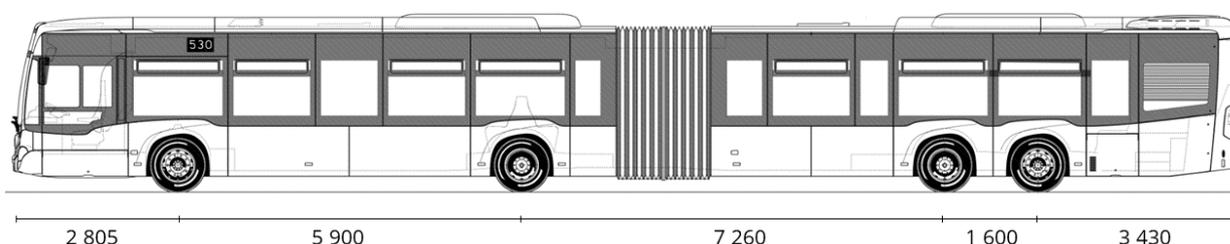


Abbildung 3.1: Mercedes-Benz CapaCity L Seitenansicht [MERCEDES-BENZ, 2016]

Modell/ Hersteller	Überhang vorne [mm]	Radstand [mm]			Überhang hinten [mm]
		1-2	2-3	3-4	
FGSV-Referenz [FGSV, 2020]	2.700	5.900	6.000	-	3.400
MB CapaCity L [MERCEDES-BENZ, 2016]	2.805	5.900	7.260	1.600	3.430

Tabelle 3.7: Vergleich des MB CapaCity L mit dem FGSV-Referenzbus

Wird der MB CapaCity L wie in Tabelle 3.7 direkt mit dem FGSV-Referenzbus verglichen ist zu erkennen, dass Beide trotz der großen Längendifferenz den gleichen Radstand der ersten und zweiten Achse aufweisen. Die Differenz wird demnach mit einem erweiterten

Radstand zwischen der zweiten und dritten Achse und dem zusätzlichen Abstand zur vierten Achse ausgeglichen.

Hersteller/ Modell	Wenderadius [mm]	Relative Abweichung der Gesamtlänge von der Referenz	Relative Abweichung des Wenderadius von der Referenz
FGSV-Referenz [FGSV, 2020]		18.000 mm	11.400 mm
Volvo 7900 18 [VOLVO, 2020]	12.305	-0,85 %	7,35 %
Volvo 7900 19 [VOLVO, 2020]	12.305	3,00 %	7,35 %
MB eCitaro G [MERCEDES-BENZ, 2023c]	11.464	0,69 %	0,56 %
MAN Lion's City 18E [MAN, 2022a/b]	11.548	0,33 %	1,28 %
MAN Lion's City 19 [MAN, 2020]	12.046	3,90 %	5,36 %
MB CapaCity L [MERCEDES-BENZ, 2020]	12.223	14,27 %	6,73 %

Tabelle 3.8: Relative Abweichung der Gesamtlänge und des Wenderadius zum FGSV-Referenzbus

Unter Betrachtung des Wenderadius ist erkennbar, dass alle verglichenen Gelenkbusse einen größeren Wenderadius als die 11.400 mm des Referenzfahrzeuges aufweisen. Der Wenderadius des MB eCitaro G kommt dem Referenzfahrzeug mit einer Abweichung von 0,56 % am nächsten; ebenso der MAN Lion's City 18E. Auch dieser weicht mit 11.548 mm nur um 1,28 % geringfügig von der FGSV-Referenz ab. Beide Modelle des Herstellers Volvo haben mit 12.305 mm unabhängig von der Längendifferenz den gleichen Wenderadius. Dabei handelt es sich im Vergleich zur FGSV-Referenz um eine Abweichung von 7,35 %. Damit ist der Radius des Volvo 7900 18 trotz seiner geringeren Gesamtlänge, im Vergleich zur Referenz, knapp einen Meter größer.

4 SIMULATIONSGESTÜTZTER VERGLEICH VON STADTBUSSCHLEPPKURVEN

Bei der Untersuchung von Schleppkurven für Verkehrsanlagen im zweidimensionalen Bereich, werden ausgewählte Schritte mit den Standardfunktionen einer geeigneten Software durchgeführt. Die CAD-Software (Computer Aided Design) GstarCAD [GS Soft, 2023] eignet sich für die Konstruktion, Planung, Zeichnung und Modellierung von 2D- und 3D-Objekten. Die AutoTURN-Erweiterung des Programms dient zur Erstellung und Überprüfung von Schleppkurven bei Planungsvorhaben von Straßenverkehrsanlagen. In Abbildung 4.1 sind die Arbeitsschritte des simulationsgestützten Vergleichs veranschaulicht.



Abbildung 4.1: Vorgehen der Softwareimplementierung

Als Ergebnis aus Kapitel 2 liegt bereits die Recherche über die benötigten Fahrzeuggeometrien vor. Im nächsten Schritt werden die in Kapitel 3 ausgewählten zu untersuchenden Fahrzeugtypen anhand ihrer spezifischen Fahrzeuggeometrien mit der Funktion der benutzerdefinierten Fahrzeuge in die Fahrzeugbibliothek von AutoTURN eingefügt. Die Software bietet die Möglichkeit folgende Fahrzeugdaten direkt zu implementieren:

- Fahrzeuglänge und -breite (ohne Außenspiegel)
- Radstand
- Überhang (hinten/ vorne)
- Spurbreite
- Bodenfreiheit
- Wenderadius

- Maximaler Lenkwinkel
- Lenkzeit

Der Großteil der benötigten Fahrzeuggeometrien kann erneut den Datenblättern der Fahrzeughersteller entnommen werden. Da in den Datenblättern oftmals der Durchmesser des minimalen Wendekreises angegeben wird, muss dieser für die Implementierung in den entsprechenden Radius übertragen werden. Der maximale Lenkwinkel bildet sich aus dem Mittelwert zwischen den maximalen Einschlägen des äußeren und des inneren Rades während der Kurvenfahrt. Die minimale Lenkzeit, also die benötigte Zeit um von einem maximalen Lenkeinschlag zum Anderen zu gelangen, wird in keinem herstellerspezifischen Datenblatt aufgeführt. Für die Vollständigkeit der Angaben wird daher für alle Fahrzeuge der Wert von 6 Sekunden der FGSV angenommen.

Für eine standardisierte Vergleichsgrundlage werden mittels AutoTURN Schleppkurvenschablonen für bestimmte Richtungsänderungen erstellt. Für die Untersuchung einer einfachen Kurvenfahrt werden Richtungsänderungswinkel von 45, 90, 135 sowie 180 Grad als Vergleichsgrößen festgelegt. Des Weiteren werden explizite Verkehrsanlagen mit allen ausgewählten Fahrzeugtypen befahren, um einen eventuellen fahrzeugtypabhängigen Flächenmehrbedarf zu ermitteln. In diesem Kapitel wird zusätzlich zu den herstellerspezifischen Fahrzeugen noch ein weiteres Fahrzeug implementiert. Hierbei handelt es sich um ein neues Bemessungsfahrzeug, welches auf Grundlage der verglichenen Modelle erstellt wird. Dazu wird jeweils für den Radstand sowie die Überhänge das 85%-Quantil der verglichenen Fahrzeuge ermittelt und aus deren Summe die Gesamtlänge des Bemessungsfahrzeuges ermittelt.

4.1 IMPLEMENTIERUNG DER FAHRZEUGE

Wie in Kapitel 4 beschrieben bietet das Programm AutoTURN die Möglichkeit benutzerdefinierte Fahrzeuge in die Fahrzeugbibliothek aufzunehmen. Anhand der vorhandenen FGSV-Fahrzeuge wird ermittelt, welche Fahrzeugdaten benötigt werden bzw. für welche Daten es eine Eingabemöglichkeit gibt.

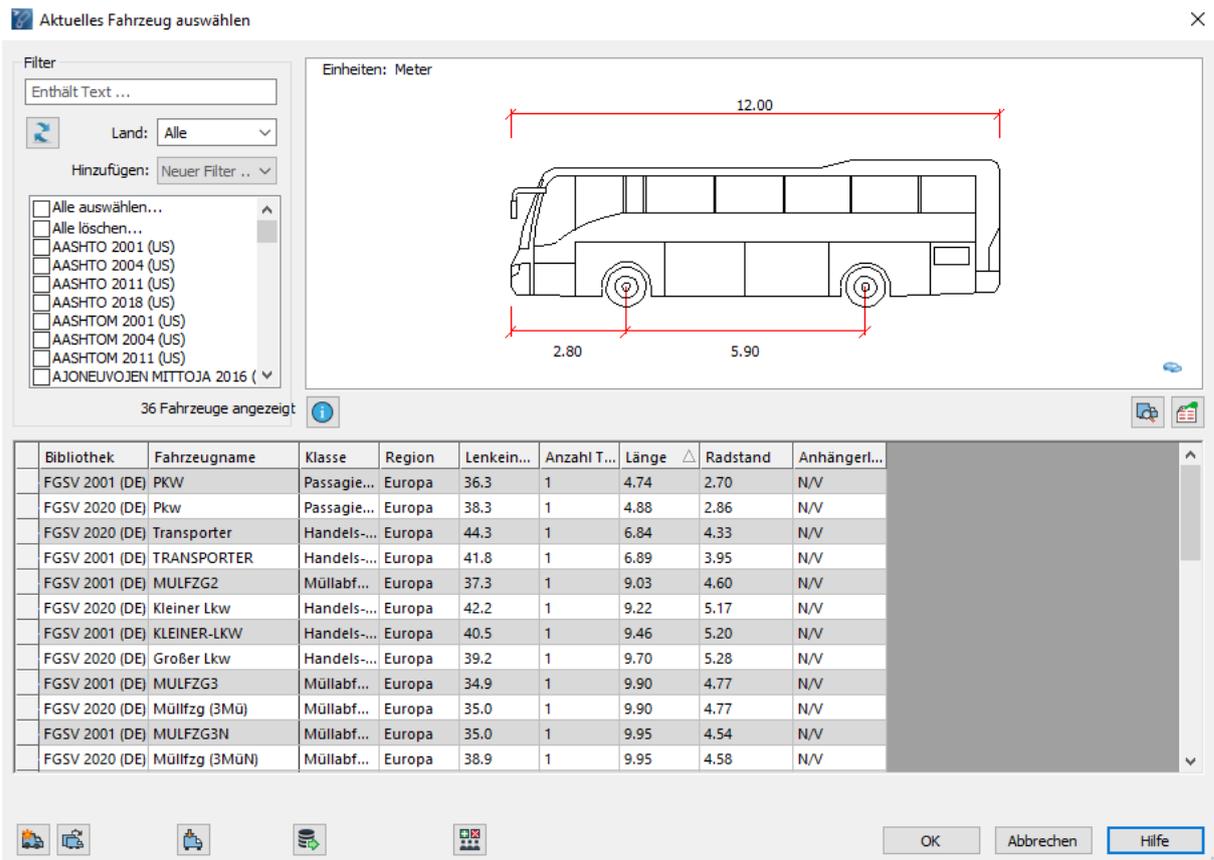


Abbildung 4.2: AutoTURN Fahrzeugbibliothek – FGSV LBUS12 [TRANSOFT SOLUTION, AutoTURN, bearbeitet]

In Abbildung 4.2 ist das Auswahlfenster der Fahrzeugbibliothek der AutoTURN Software dargestellt. Zu erkennen ist der 12-m-Linienbus der FGSV, der für die Implementierung aller weiteren Busse als Vorlage dient. Anhand der Vorlage können alle benutzerspezifisch einstellbaren Parameter ermittelt werden.

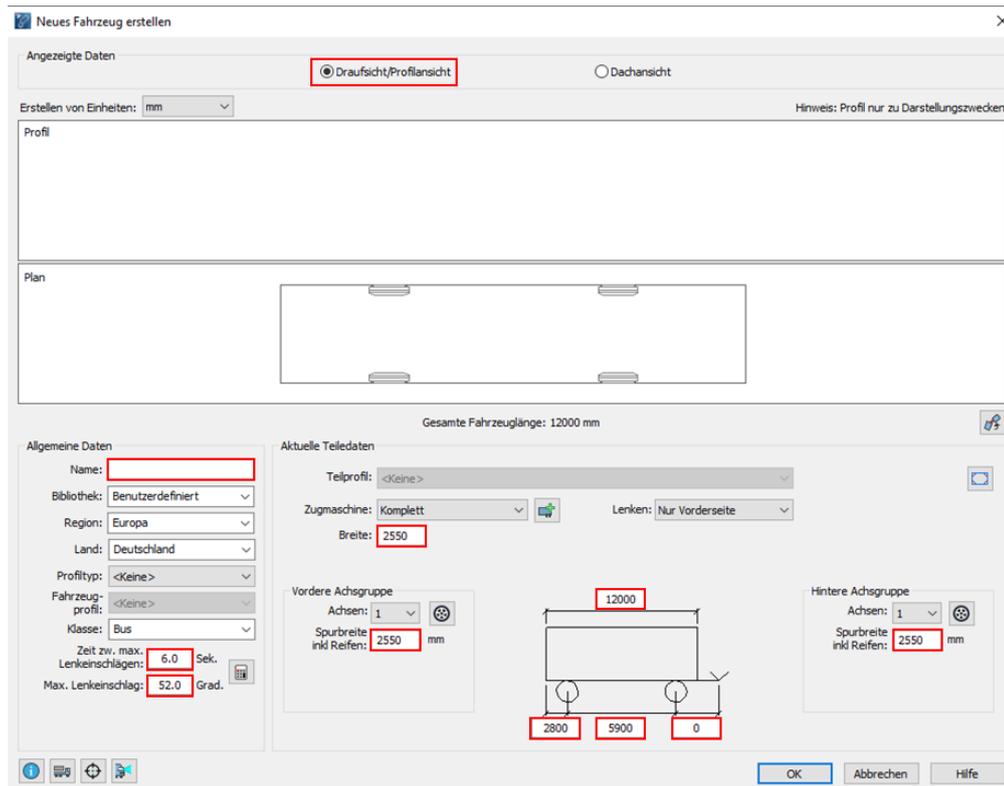


Abbildung 4.3: Fahrzeugerstellung mit AutoTURN, Draufsicht [TRANSOFT SOLUTION, AutoTURN, bearbeitet]

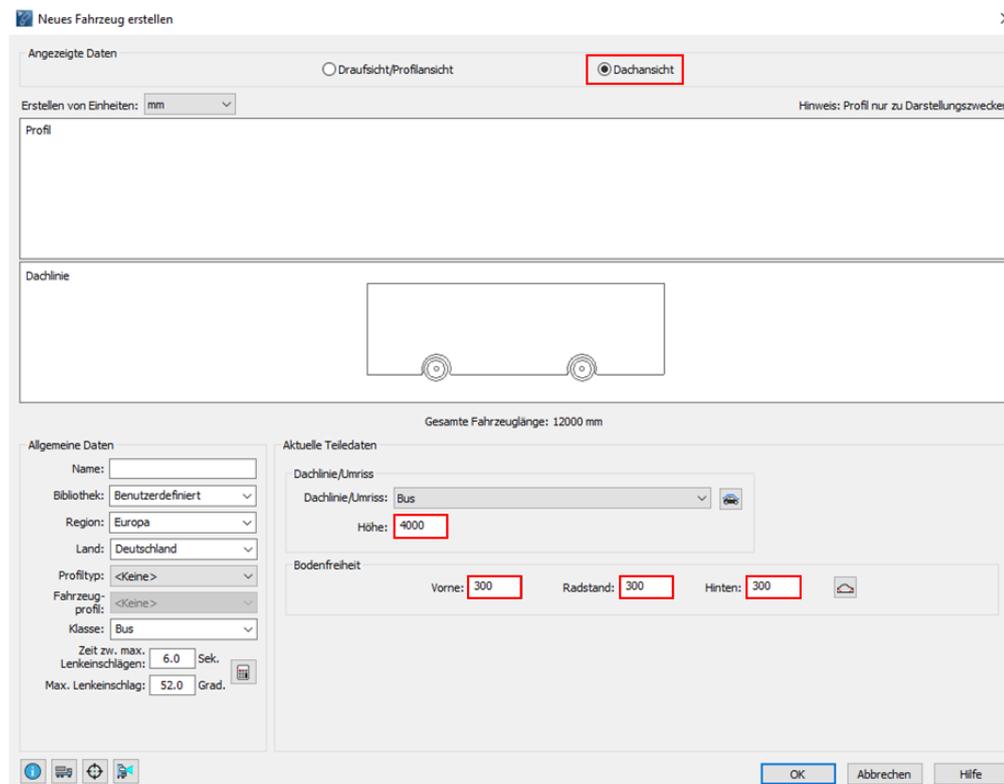


Abbildung 4.4: Fahrzeugerstellung mit AutoTURN, Dachansicht [TRANSOFT SOLUTION AutoTURN, bearbeitet]

In Abbildung 4.3 und 4.4 sind alle Eingabemöglichkeiten bei der Erstellung eines neuen Fahrzeuges rot markiert. Diese Werte sind Grundlage für die Auswahl der Fahrzeuge für die Implementierung. Jene Fahrzeuge, von denen nicht alle benötigten Parameter zur Verfügung standen, wurden nicht implementiert und folglich aus dem Vergleich ausgeschlossen.

4.2 FAHRSIMULATION

Nach der Erstellung der entsprechenden Fahrzeugmodelle wird mit Hilfe von AutoTURN für jedes Modell eine Schleppkurvenschablone erstellt. In Abbildung 4.5 ist das Auswahlfenster der Schablonenerstellung dargestellt.

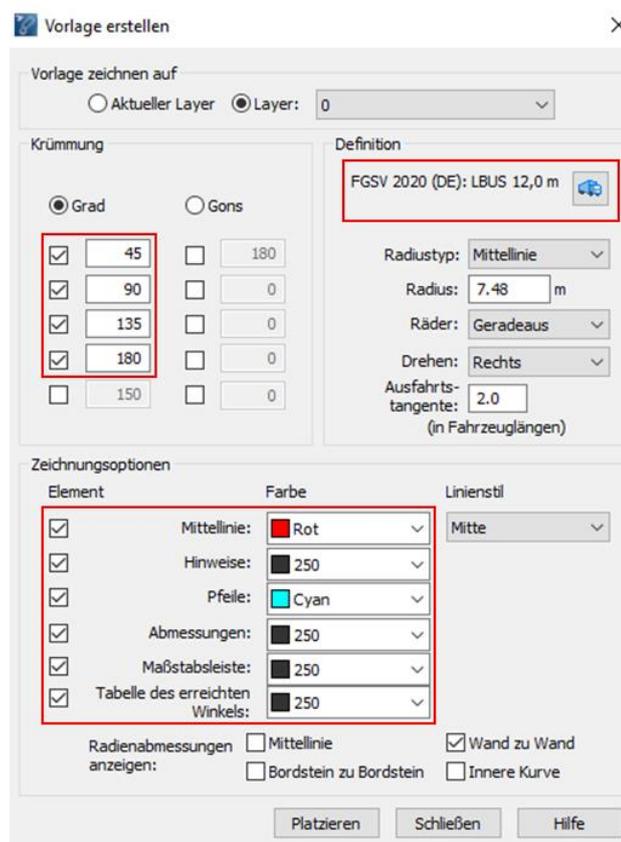


Abbildung 4.5: Erstellen von Schleppkurvenschablonen [TRANSOFT SOLUTION, AutoTURN, bearbeitet]

Mit der Auswahl des entsprechenden benutzerspezifischen Fahrzeugmodells im Auswahlfeld „Definition“ werden alle zuvor eingestellten Fahrzeuggeometrien des jeweiligen Fahrzeugs hinterlegt. Daraufhin können im Feld „Krümmung“ die gewünschten Richtungsänderungswinkeln der Schablone festgelegt werden. Für diese Untersuchung wurden die

Werte 45, 90, 135 sowie 180 Grad gewählt. Des Weiteren kann die Wahl über verschiedene Zeichnungsoptionen getroffen werden.

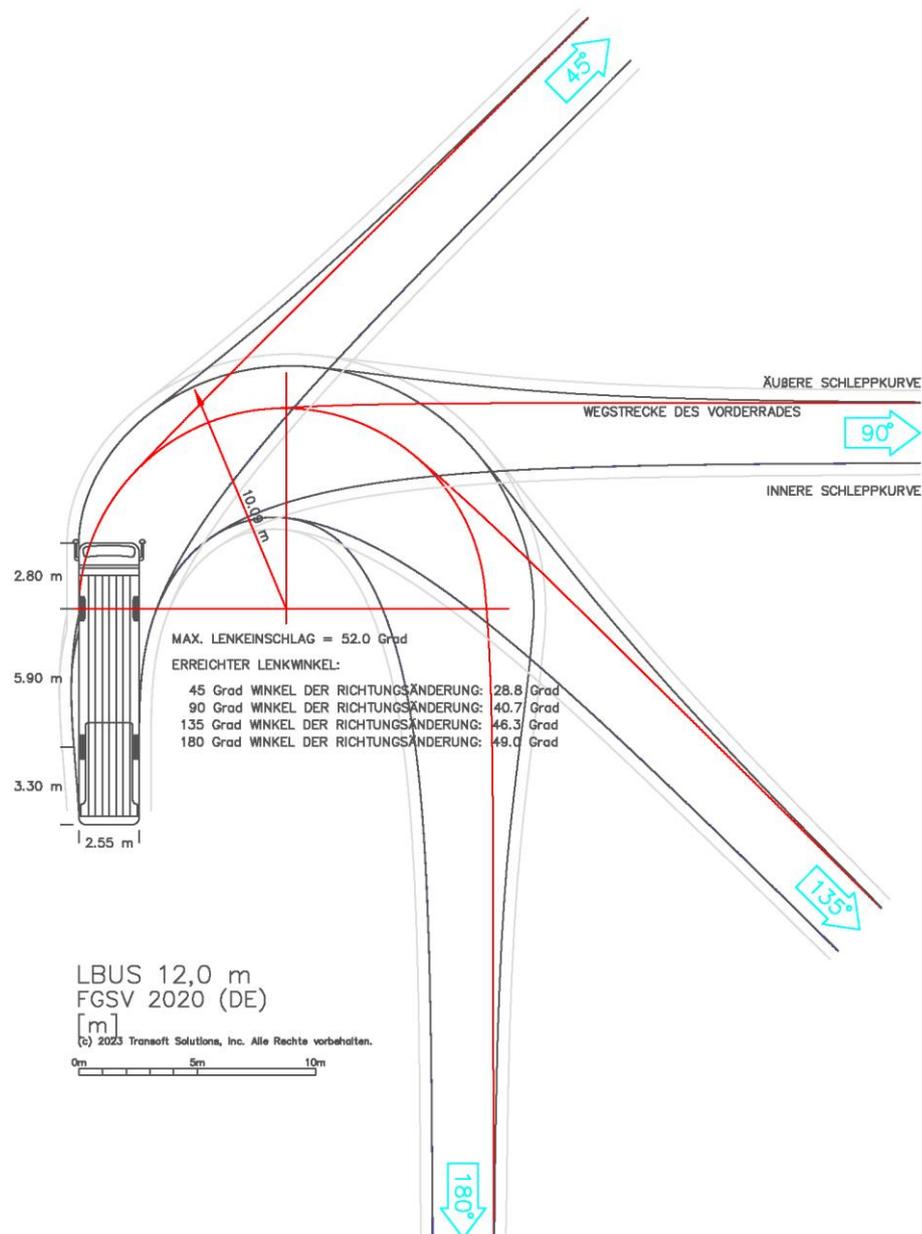


Abbildung 4.6: Schleppkurvenschablone FGSV LBUS 12m [TRANSOFT SOLUTION, AutoTURN]

In Abbildung 4.6 ist beispielhaft die Schablone des FGSV LBUS12 dargestellt. Die übrigen Schablonen sind Anlage 2 des Anhangs zu entnehmen. Neben der in Schwarz dargestellten Hüllkurve der Karosserie ist in Rot die Wegstrecke des Vorderrades sowie in Blau die Wegstrecke des Hinterrades dargestellt. Da der Innenbogen der Karosserie und die Wegstrecke des Hinterrades nur wenige Millimeter bis Zentimeter voneinander abweichen,

kann in dieser Abbildung nicht zwischen den beiden Kurven unterschieden werden. Des Weiteren in Grau dargestellt ist die 0,50-m-Toleranzhüllkurve. Zusätzlich wird für jeden Richtungsänderungswinkel der erreichte Lenkwinkel angegeben. Ebenso wird der minimale Wenderadius angegeben.

Für die genauere Untersuchung werden in Vorbereitung auf den versuchsgestützten Vergleich die erstellten statischen Schleppkurvenschablonen mittels dynamischer Schleppkurven nachgebildet. Dafür wird für die Richtungsänderungswinkel von 180 Grad, im AutoTURN mit der Funktion der Erzeugung einer dynamischen Kurvenfahrt versucht die Schablone nachzubilden. Bei der Erstellung einer Kurvenfahrt gibt es im Gegensatz zur Schablonenerstellung einige weitere Eingabemöglichkeiten. Neben einer expliziten Geschwindigkeitsvorgabe kann auch der gefahrene Radius gesondert eingestellt werden, solange der fahrzeugtechnisch minimal mögliche Radius nicht unterschritten wird.



Abbildung 4.7: Schleppkurvenvergleich dynamisch - statisch, MB Citaro

In Abbildung 4.7 ist beispielhaft dargestellt, dass die erstellte dynamische Kurvenfahrt und die statische Schablone des MB eCitaro nicht exakt übereinander liegen. Trotz zahlreicher Versuche die Geschwindigkeit sowie den Kurvenradius separat zu verändern ist es nicht möglich die Schablone durch eine dynamische Kurvenfahrt ohne mehrfache Anpassung des Richtungsänderungswinkels abzubilden. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die statischen Schleppkurven des Programms die dynamischen Kurvenlaufeigenschaften der Fahrzeuge nicht realistisch darstellen. Ob dies auch in der Praxis bestätigt werden kann, wird im folgenden versuchsgestützten Vergleich untersucht.

Die übrigen verglichenen Schleppkurven des versuchsgestützten Vergleichs sind Anlage 3 des Anhangs zu entnehmen.

4.3 VERGLEICH DER SOLOBUSSE MIT DER NORMATIVEN VORGABE

Die für die herstellerepezifischen Fahrzeuge erstellten Schleppkurvenschablonen werden im Folgenden mit dem FGSV-Referenz-Solobus verglichen. Als Vergleichsdaten werden sowohl der äußere Radius als auch der Flächenbedarf der einzelnen Schablonen verglichen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird ausschließlich die Hüllkurve der Karosserie sowie der 0,50-m-Toleranzschlag der Kurve dargestellt. In Abbildung 4.8 sind beispielhaft die übereinander gelegten Schablonen der FGSV-Referenz und des Ebusco 2.2 dargestellt. Alle weiteren Schablonen sind Anlage 4 des Anhangs zu entnehmen.

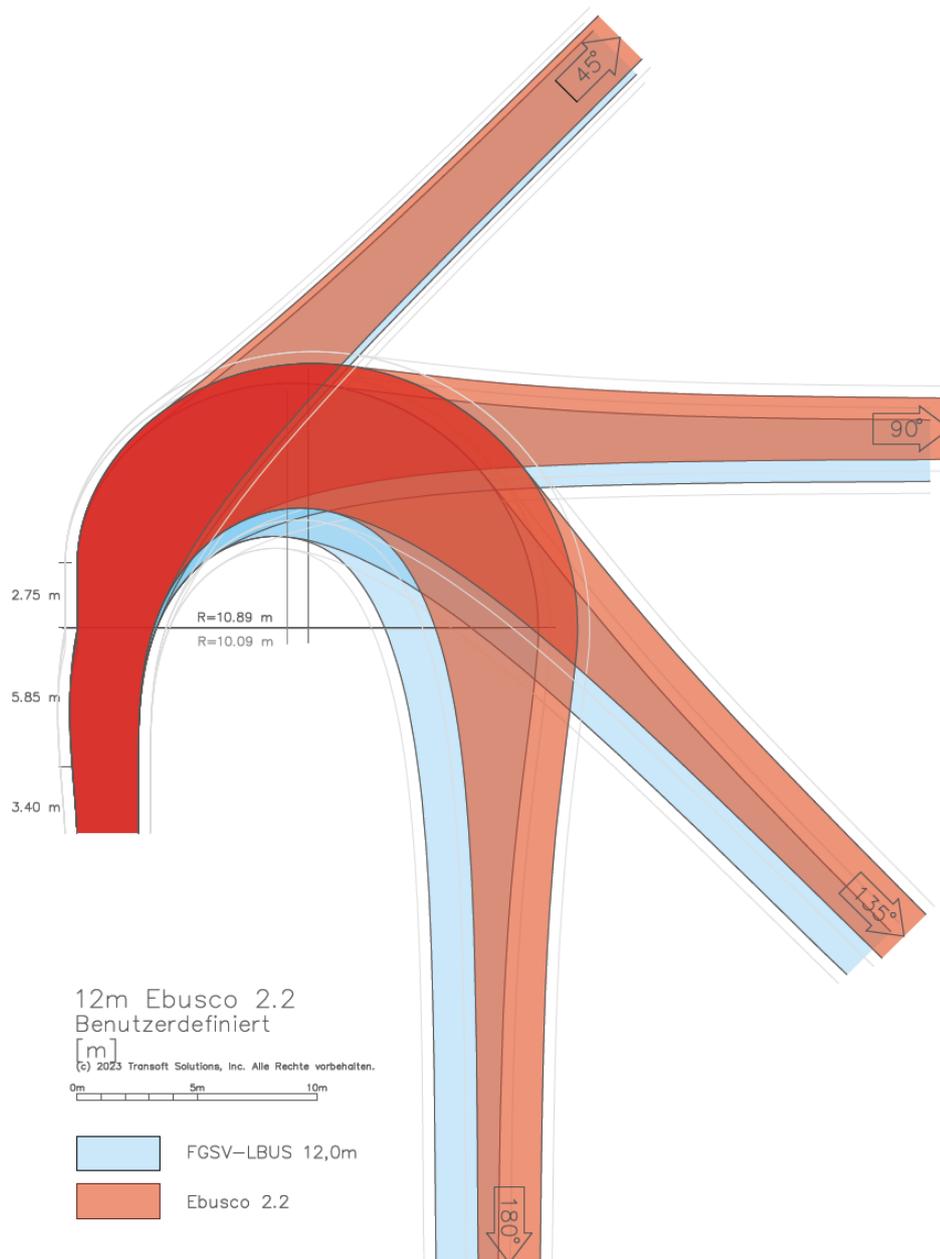


Abbildung 4.8: Vergleich der Schleppkurvenschablonen FGSV-Referenz vs. Ebusco 2.2

Die Schablonen werden übereinander ausgerichtet, sodass sich das Heck der zu vergleichenden Fahrzeuge auf einer Linie befindet. Die visuelle Abweichung der Schablonen wird durch den Vergleich der angegebenen äußeren Wenderadien bestätigt. In Tabelle 4.1 sind außerdem die Wenderadien der erstellten Schablonen mit den von den Herstellern angegebenen Mindestradien gegenübergestellt. Neben den absoluten Radien wird ebenfalls die relative Abweichung von den FGSV-Referenzbussen betrachtet.

Hersteller/Modell	Äußerer Wenderadius [m] Simulation	Relative Abweichung zur Referenz	Äußerer Wenderadius [m] Hersteller	Relative Abweichung zur Referenz
FGSV-Solobus-Referenz	10.090	-	10.500	-
Ebusco 2.2	10.890	7,35 %	11.250	7,14 %
Ebusco 3.0	10.300	2,04 %	10.700	1,90 %
IVECO E-WAY	10.510	4,00 %	10.890	3,71 %
MAN Lion's City E	10.340	2,42 %	10.747	2,35 %
MB eCitaro	10.200	1,08 %	10.607	1,02 %
Van Hool A12-LF-FC	10.300	2,04 %	10.700	1,90 %
VDL NGC	10.560	2,04 %	10.915	3,95 %
85 %-Fahrzeug	11.090	9,02 %	11.183	6,50 %

Tabelle 4.1: Vergleich des äußeren Wenderadius – Simulation vs. Herstellerdaten (Solobus)

Wie bereits in Kapitel 3 eingeführt wird auch hier die relative Abweichung bei einer Unterschreitung des FGSV-Referenzwertes in Grün und bei einer Überschreitung in Rot dargestellt. Auf den ersten Blick ist erkennbar, dass der Radius der Referenz von allen Fahrzeugen überschritten wird. Auffallend ist, dass die Radien der Simulation nicht mit den von den Herstellern angegebenen Wenderadien übereinstimmen. Dementsprechend unterscheiden sich ebenso die jeweiligen relativen Abweichungen. Insgesamt verhalten sie sich im simulationsgestützten Vergleich jedoch ähnlich wie im theoretischen Vergleich. Die stärkste Abweichung der herstellerspezifischen Modelle weist wie in Kapitel 3.1 auch in der Simulation der Ebusco 2.0 mit einer Abweichung des Radius von 7,35 % auf. Einzig das erstellte 85-%-Bemessungsfahrzeug weicht mit 9,02 % noch stärker von der Referenz ab. Bei der Mehrzahl der Fälle ist die relative Abweichung des Radius der Herstellerdaten etwas geringer als die der Simulation. Lediglich im Fall des VDL-Modells und des 85-%-Fahrzeuges überschreiten die Abweichungen der Simulation die der Herstellerdaten. Die geringste Abweichung weist wie in Kapitel 3.1 auch im simulationsgestützten Vergleich der MB eCitaro auf. Auch der Ebusco 3.0, der Van Hool A12 sowie der VDL NGC weichen mit 2,04 % nur geringfügig von der Referenz ab. In Tabelle 4.2 sind neben der Abweichung des Wenderadius auch die Unterschiede hinsichtlich des Radstandes und der Überhänge aufgeführt.

Hersteller/ Modell	Äußerer Wende- radius [m] der Simulation	Radstand [mm]	Überhang [mm]	
			vorne	hinten
<i>FGSV-Solobus- Referenz</i>	10,09	5.900	2.800	3.300
Ebusco 2.2	7,35 %	-0,85 %	-1,79 %	3,03 %
Ebusco 3.0	2,04 %	-0,00 %	0,18 %	-0,45 %
IVECO E-WAY	4,00 %	3,73 %	-3,39 %	-2,27 %
MAN Lion's City E	2,42 %	-1,78 %	-0,89 %	3,18 %
MB eCitaro	1,08 %	0,00 %	0,18 %	3,94 %
Van Hool A12-LF-FC	2,04 %	-1,86 %	0,89 %	9,39 %
VDL NGC	2,04 %	7,63 %	-7,63 %	-1,52 %
85 %-Fahrzeug	9,02 %	2,46 %	0,18 %	3,71 %

Tabelle 4.2: Vergleich der relativen Abweichungen des Radstandes und der Überhänge hinsichtlich des äußeren Wenderadius (Solobus)

Als Referenzwert sind jeweils die absoluten Werte des FGSV-Solobusses ergänzend angegeben. Auffallend ist die starke Abweichung des Ebusco 2.2 trotz der nicht sehr starken Differenzen der einzelnen Geometrien. Ausschließlich der hintere Überhang überschreitet den Wert des FGSV-Fahrzeugs. Für den IVECO E-WAY ist die Überschreitung des Radius von 4,00 % laut der Tabelle dem erweiterten Radstand zuzuschreiben. Im Fall des MAN Lion's City ist ähnlich wie beim Ebusco 2.2 der hintere Überhang für den vergrößerten Radius ausschlaggebend. Beim Van Hool A12 ist die Abweichung des Radius trotz der großen Abweichung des hinteren Überhangs vergleichsweise gering. Auch beim VDL NGC ist die Abweichung des Radius hinsichtlich der Differenzen der übrigen Geometrien recht gering. Die große Abweichung des 85-%-Fahrzeugs ist sowohl dem Radstand als auch dem hinteren Überhang zuzuschreiben. Hinsichtlich der Abweichungen des Wenderadius kann anhand dieses Vergleichs keine eindeutige Aussage abgeleitet werden, welche der geometrischen Eigenschaften der Fahrzeuge ausschlaggebend dafür sind. In Tabelle 4.3 werden nachfolgend die Flächenbedarfe der einzelnen Richtungsänderungswinkel von 45, 90, 135, 180 Grad sowie die kumulierte Fläche miteinander verglichen.

Hersteller/ Modell	Flächenbedarf [m ²]				
	45 Grad	90 Grad	135 Grad	180 Grad	Kumuliert
<i>FGSV-Solobus-Referenz</i>	134,68	175,71	215,66	255,12	781,17
Ebusco 2.2	0,91 %	1,44 %	1,92 %	2,30 %	1,76 %
Ebusco 3.0	0,11 %	0,22 %	0,34 %	0,44 %	0,31 %
IVECO E-WAY	1,42 %	2,01 %	2,43 %	2,74 %	2,27 %
MAN Lion's City E	1,88 %	2,04 %	2,15 %	2,25 %	2,11 %
MB eCitaro	1,09 %	1,03 %	1,00 %	0,98 %	1,01 %
Van Hool A12-LF-FC	1,55 %	1,26 %	1,10 %	1,01 %	1,19 %
VDL NGC	2,89 %	3,59 %	4,05 %	4,36 %	3,85 %
85%-Fahrzeug	3,29 %	4,22 %	4,95 %	5,49 %	4,68 %

Tabelle 4.3: Vergleich des Flächenbedarfs der Schleppkurvenschablonen (Solobus)

Wie durch die vergrößerten Wenderadien zu erwarten war, ist auch der Flächenbedarf der einzelnen Kurven höher als der der FGSV-Referenz. Auch hier werden zur Einordnung die absoluten Werte der Referenz mit aufgeführt. Abweichungen < 1,00 % werden als nicht ausschlaggebend eingeordnet und in Orange dargestellt. Es ist die Tendenz zu erkennen, dass die Abweichung des Flächenbedarfs für größere Richtungsänderungswinkel zunimmt. Ausschließlich für den MB eCitaro und den Van Hool A12 sinkt die relative Abweichung gegenüber der Referenz bei größeren Richtungsänderungswinkeln. Die kumulierten Abweichungen schwanken zwischen 0,31 % und 4,68 %. Den größten Flächenbedarf hat mit einer Abweichung von 4,68 % das 85%-Fahrzeug, gefolgt von VDL NGC mit 3,85 %. Der IVECO E-WAY sowie der MAN Lion's City E bilden mit 2,27 % bzw. 2,11 % das Mittelfeld der verglichenen Fahrzeuge. Der Ebusco 3.0 weicht mit 0,31 % nur marginal von der FGSV-Referenz ab. Auffallend ist, dass der Flächenbedarf des Ebusco 2.0 trotz des deutlich weiteren Wenderadius nur vergleichsweise wenig von der FGSV-Referenz abweicht, während der VDL NGC trotz einer geringeren Abweichung des Wenderadius einen deutlich geringeren Flächenbedarf aufweist. Diese Unstimmigkeiten lassen keinen Rückschluss des Flächenmehrdarfs auf den Wenderadius zu.

4.4 VERGLEICH DER GELENKBUSSE MIT DER NORMATIVEN VORGABE

Für den Vergleich der Gelenkbusse werden keine weiteren Fahrzeuge in die Bibliothek aufgenommen. Es werden ausschließlich der durch die VCDB VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH zur Verfügung stehende 18,75-m-Gelenkbus sowie der MB CapaCity L mit dem bestehenden FGSV-Gelenkbus aus dem Jahr 2020 verglichen. Analog zum Vergleich der Solobusse werden auch für die Analyse der Gelenkbusse der äußere Wenderadius der Herstellerdaten mit dem äußeren Wenderadius der Simulation verglichen. Als Vergleichsgrundlage für den 18,75-m-Gelenkbus der AutoTURN-Simulation wird aufgrund der identischen Gesamtlänge der MAN Lion's City 19 herangezogen. Tabelle 4.4 ist zu entnehmen, dass ähnlich wie im Vergleich der Solobusse, auch bei den Gelenkbussen die Herstellerdaten des Wenderadius nicht mit dem Radius der Simulation übereinstimmen. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass der MAN Lion's City 19 trotz der identischen Gesamtlänge nicht exakt mit den geometrischen Parametern des 18,75-m-Gelenkbusses aus AutoTURN übereinstimmt.

Hersteller/Modell	Äußerer Wenderadius [m] Simulation	Relative Abweichung zur Referenz	Äußerer Wenderadius [m] Hersteller	Relative Abweichung zur Referenz
<i>FGSV-Gelenkbus-Referenz</i>	11.060	-	11.400	
Gelenkbus 18,75	11.360	2,64 %	12.046	5,36 %
MB CapaCity L	11.980	7,68 %	12.223	6,73 %

Tabelle 4.4: Vergleich des äußeren Wenderadius – Simulation vs. Herstellerdaten (Gelenkbus)

Die Wenderadien der Simulation sind analog zum Vergleich der Solobusse geringer als die dazugehörigen herstellereigenen Werte. Die relative Abweichung gegenüber der Referenz beträgt in der Simulation für den 18,75-m-Gelenkbus 2,64 % sowie im Vergleich der Herstellerdaten 5,36 %. Beim MB CapaCity L übersteigt die relative Abweichung des Radius der Simulation den der Referenz mehr als im Vergleich der theoretischen Daten. Die Differenz beträgt für den CapaCity L in der Simulation 7,68 %. Der in Tabelle 4.2 aufgeführte Vergleich der Solobusse hinsichtlich des Radstandes und der Überhänge wird für den Vergleich der Gelenkbusse in Tabelle 4.5 ausschließlich für den CapaCity L durchgeführt, da der MAN Lion's City 19 wie eingangs erwähnt nicht die direkte Grundlage des 18,75-m-Gelenkbusses der Simulation ist.

Hersteller/ Modell	Äußerer Wende- radius [m] der Simulation	Radstand		Überhang		
		1-2	2-3	vorne	Hinten	
<i>FGSV- Gelenkbus-Ref- erenz</i>	11,06	5.900	6.000	2.700	3.400	
MB CapaCity L	7,68 %	0,00 %	21,00 %	-	3,89 %	0,88 %

Tabelle 4.5: Vergleich des äußeren Wenderadius der Schleppkurvenschablonen (Gelenkbus)

Für den Vergleich des MB CapaCity L mit dem FGSV-Gelenkbus ist von besonderer Relevanz, dass der CapaCity L wie in Kapitel 3.2 erwähnt über eine vierte gelenkte Achse verfügt. Hinsichtlich der relativen Abweichungen der geometrischen Parameter gegenüber der Referenz wird dennoch der Abstand zwischen der zweiten und der dritten Achse mit dem hinteren Achsabstand des FGSV-Gelenkbusses verglichen. Während beide Fahrzeuge den identischen vorderen Achsabstand haben, weicht der Abstand zwischen der zweiten und der dritten Achse vom CapaCity L um 21,00 % von der Referenz ab. Hinzu kommt der weitere Achsabstand von 1.600 mm zwischen der dritten und der vierten Achse [MERCEDES-BENZ, 2016]. Des Weiteren überschreiten auch die Überhänge die Werte des Referenzfahrzeuges. Zahlreiche Überschreitungen der geometrischen Eigenschaften des FGSV-Gelenkbusses begründen den erweiterten Wenderadius von +7,68 %. In Tabelle 4.6 wird ebenfalls analog zu Tabelle 4.3 für den Solobus der Flächenbedarf der einzelnen Schablonen betrachtet.

Hersteller/ Modell	Flächenbedarf [m ²]				
	45 Grad	90 Grad	135 Grad	180 Grad	Kumuliert
<i>FGSV-Gelenkbus- Referenz</i>	187,16	235,12	281,91	328,30	1.032,49
Gelenkbus 18,75	3,08 %	3,74 %	4,17 %	4,48 %	3,98 %
MB CapaCity L	12,76 %	11,57 %	10,54 %	9,91 %	10,99 %

Tabelle 4.6: Vergleich des Flächenbedarfs der Schleppkurvenschablonen (Gelenkbus)

Während bei den bisher verglichenen Bussen die Mehrzahl für größere Richtungsänderungswinkel eine größere Abweichung des Flächenbedarfs verzeichnet haben, sinkt die relative Abweichung vom MB CapaCity L von 12,76 % bei einem Änderungswinkel von

45 Grad auf 9,91 % für einen Änderungswinkel von 180 Grad. Insgesamt ist der Flächenmehrbedarf mit 10,99 % deutlich höher als bei der FGSV-Referenz, was durch die erhöhte Gesamtlänge und den weiteren Radstand zwischen der zweiten und dritten Achse zu begründen ist. In Abbildung 4.9 sind zur Verdeutlichung die Schleppkurvenschablonen des MB CapaCity L und die der FGSV-Referenz übereinandergelegt.

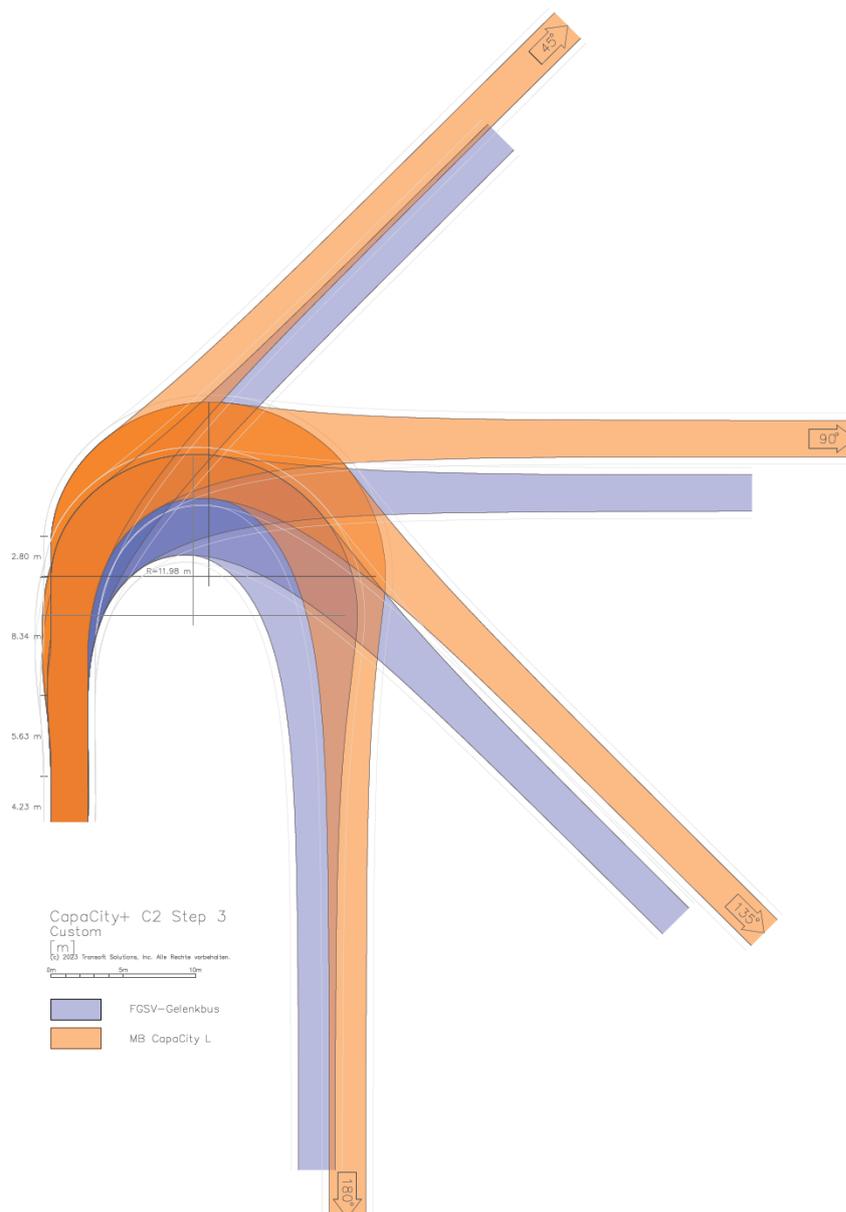


Abbildung 4.9: Vergleich der Schleppkurvenschablonen des MB CapaCity L und der FGSV-Referenz

Der Vergleich dieser beiden Schleppkurvenschablonen bestätigt die eingangs aufgestellte These, dass Kurvenfahrten von Gelenkbussen mit Sonderlänge wie beispielsweise der MB CapaCity L nur unzureichend durch den FGSV-Gelenkbus dargestellt werden können. Ein

Fahrweg, welcher strikt nach FGSV-Gelenkbusvorgaben ausgelegt ist, lässt sich demnach nicht durch den MB CapaCity L befahren.

5 VERSUCHSGESTÜTZTER PRAXISVERGLEICH VON STADTBUSSCHLEPPKURVEN

Um die Diskrepanz zwischen den normativen Vorgaben, der softwareseitigen Umsetzung und der Praxis zu veranschaulichen werden anhand ausgewählter Modelle Fahrversuche zur Einhaltung der modellierten Schleppkurvenschablonen durchgeführt. Um ein möglichst breites Spektrum an Fahrzeugtypen abdecken zu können, werden für die Versuchsdurchführung neben einem Solobus drei Gelenkbusse unterschiedlicher Längen getestet. Die Auswahl der Fahrzeugmodelle wurde auf den Flottenbestand der Dresdner Verkehrsbetriebe AG (DVB) beschränkt.

Der MB eCitaro wurde mit einer Länge von 12.135 mm als Vertreter der Solobusse gewählt. Für dieses Fahrzeug wurde wie in Kapitel 4 beschrieben anhand der fahrzeugspezifischen Herstellerdaten ein Fahrzeug in der AutoTURN-Bibliothek erstellt, wodurch eine konkrete Schleppkurvenschablone für die Vermessung angefertigt werden kann. Der erste Gelenkbus der Auswahl ist der MB eCitaro G mit einer Länge von 18.125 mm. Dieser hat wie in Kapitel 3.2 herausgestellt fahrzeuggeometrisch die größte Übereinstimmung mit dem FGSV-Gelenkbus und dient als geeignete Vergleichsgrundlage für die Schleppkurvenschablone des FGSV-Gelenkbusses. Des Weiteren wird der MAN Lion's City 19 als Gelenkbus ausgewählt. Mit einer Länge von 18.730 mm wird dieser mit einer Schleppkurvenschablone eines 18,75-m-Gelenkbusses verglichen. Als letztes wird der MB CapaCity L mit einer Gesamtlänge von 20.995 mm vermessen. Für dieses Modell steht ebenfalls ein spezifisches Fahrzeug in der AutoTURN-Bibliothek zur Verfügung, welches explizit beim Hersteller der Software auftragsgemäß umgesetzt wurde.

Als Vergleichsgrundlage dienen die erstellten Schleppkurvenschablonen aus Kapitel 4.2. Für die festgelegte Richtungsänderung wird ein Winkel von 180 Grad definiert, um insbesondere den veränderten Flächenbedarf eines Wendemanövers herauszustellen.

5.1 VERSUCHSAUFBAU

Die erstellten Schleppkurven werden mit Hilfe von Pylonen auf einer ausreichend großen Fläche des Betriebshofstandortes der DVB in Dresden-Gruna abgesteckt. Die Pylonen haben einen äußeren Durchmesser von 18,80 cm sowie auf einer Höhe von 5,00 cm. An der Spitze befindet sich ein Loch mit einem Durchmesser von 5,15 cm. Die kräftigen Farben garantieren eine gute Sichtbarkeit aus allen Perspektiven. Hierfür werden auf Basis der AutoTURN-Schleppkurven die Messpunkte der Kurven im Vorfeld bestimmt und vorbereitet. Dabei werden im Innenbogen der Kurve mit einem konstanten Δx von 0,50 m die entsprechenden Δy -Werte zwischen den Punkten dokumentiert. Für den Außenbogen wird aufgrund des größeren Bogens ein Δx von 1,00 m gewählt.

In Abbildung 5.1 ist beispielhaft ein Ausschnitt der Schleppkurvenschablone des MB eCitaro und die Dokumentationsgrundlage der Messpunkte zu erkennen. Alle weiteren Vermessungsgrundlagen sind Anlage 5 des Anhangs zu entnehmen.

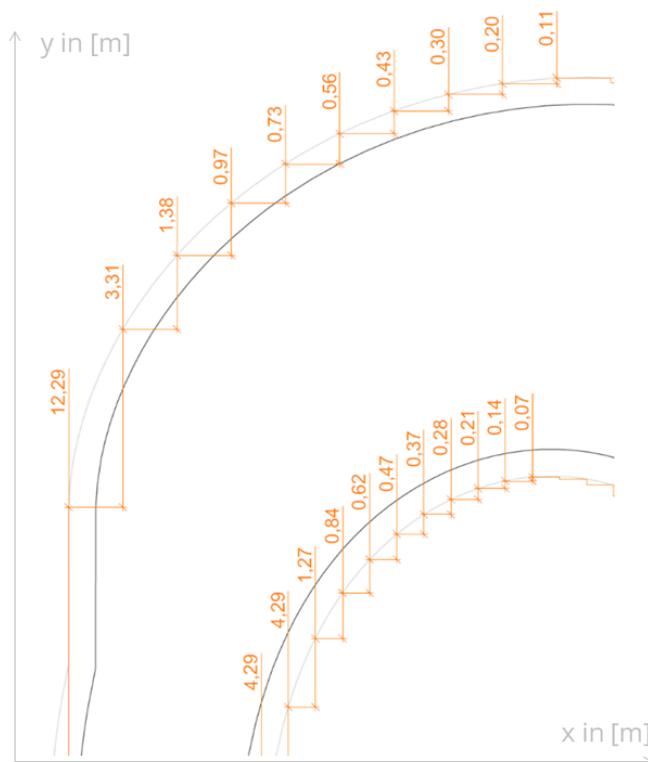


Abbildung 5.1: Ausschnitt der Bemaßung der Schleppkurvenschablone in Vorbereitung auf die Fahrversuche

Die Messpunkte werden mittels eines eigens erstellten Hilfsmittels in Form eines rechten Winkels aus zwei Holzleisten abgetragen. In Abbildung 5.2 ist dieser modellhaft dargestellt. Der Winkel wird mit der inneren Ecke an den ersten Messpunkt angelegt (in Rot markiertes Kreuz in Abbildung 5.2). Die Markierung von 0,50 m bzw. 1,00 m auf der rechten Leiste geben den Punkt vor, von dem in y-Richtung der nächste Messpunkt abgetragen wird. Die entsprechende Entfernung wird mit einem Bandmaß abgemessen.

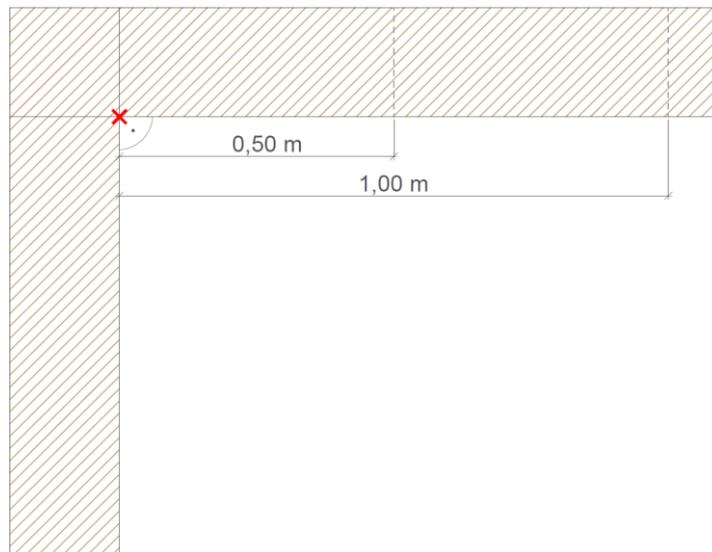


Abbildung 5.2: Modellhafte Darstellung Holzwinkel

Mit einem Kamerasystem aus vier bzw. fünf Geräten vom Typ GoPro Hero 11 Black, welche am Fahrzeug via Saugnapf befestigt wurden, wird Bildmaterial der sich dynamisch verändernden Abstände zwischen Fahrzeugaußenkanten und den auf dem Boden platzierten Pylonen aufgenommen. Damit lässt sich optisch überprüfen, ob die im Vorhinein abgesteckten Schleppkurven eingehalten werden können. Die Kameras werden an den vier Ecken der Busse sowie bei den Gelenkbussen auf der zur Kurveninnenseite gewandten Fahrzeugseite knapp vor dem Gelenk angebracht. Die Wahl der Kamerapositionen basiert auf einer Untersuchung zu Sachschadensunfällen im Busverkehr [Vanek, 2023]. In dieser Fallstudie werden Versicherungsdaten einer österreichweit tätigen Versicherung ausgewertet. Insgesamt wurden von 2017 bis 2020 5.073 Unfälle an die Versicherung gemeldet, wovon 4.350 in die gewählte Kategorie der Busunfälle mit Sachschaden fallen [VANEK, 2023]. In Abbildung 5.3 werden die Schadensorte aufgezeigt.

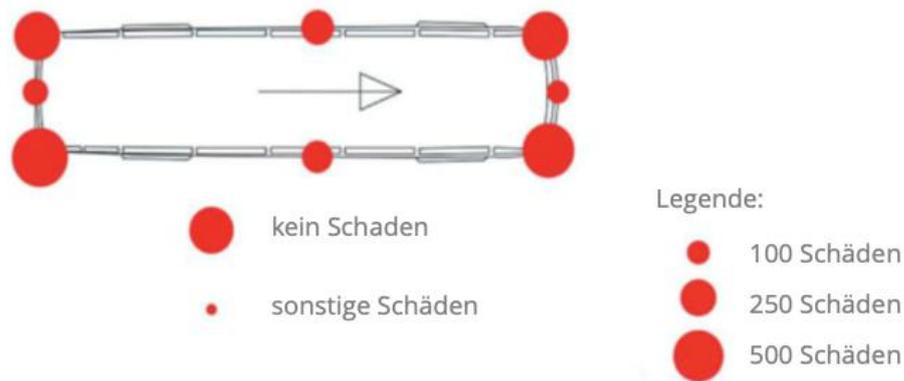


Abbildung 5.3: Schadensorte am Bus (schematisch) [VANEK, 2023]

Aus der Abbildung geht nicht eindeutig hervor, für welche Positionen „kein Schaden“ bzw. „sonstige Schäden“ dokumentiert wurden. Jedoch kommt die Studie u. a. zu der Erkenntnis, dass besonders die Ecken der Busse als Schadensort gefährdet sind [VANEK, 2023].

Um den Praxisversuch möglichst repräsentativ auszuführen, sollen alle zu überprüfenden Schleppkurven mindestens dreimal durch denselben Fahrzeugführer befahren werden.

Da der MB eCitaro im Vorfeld als benutzerdefiniertes Fahrzeug im AutoTURN implementiert wurde, wird die softwareseitig erstellte Schleppkurve als direkter Vergleich zwischen der theoretischen Konstruktion und dem Fahrversuch unter realen Bedingungen angewendet. Des Weiteren wird auch die Schleppkurve des Bemessungsfahrzeuges der FGSV auf dem Betriebshof abgebildet, um zu prüfen, ob die konstruierte Schleppkurve durch ein Fahrzeug anderer Abmessungen befahren werden kann. Neben dem MB eCitaro G wird die FGSV-Gelenkbus-Kurve auch durch den MAN Lion's City und den MB CapaCity L befahren. Ebenso werden für den MAN sowie den MB Capa City L die fahrzeugspezifischen Schleppkurven auf dem Betriebshofgelände abgebildet. Die dafür benötigten benutzerspezifischen Fahrzeuge liegen bereits in der Fahrzeugbibliothek vor und müssen nicht explizit erstellt werden.

5.2 SICHTUNG DES VIDEOMATERIALS

Für die Auswertung des Videomaterials werden die Aufzeichnungen der einzelnen Kamerapositionen sowie die dazugehörige Drohnenaufnahme miteinander abgeglichen. Weiterhin werden die Drohnenaufnahmen in ein CAD-Programm eingepflegt, um mittels der Schleppkurvengrundlage die Richtigkeit der aufgezeichneten Kurve zu überprüfen.

Durch die Flugposition der Drohne kommt es zu optischen Verzerrungen, sodass die Drohnenaufnahmen die Überschreitung der abgesteckten Schleppkurve verzeichnen. Der Abgleich mit der GoPro-Aufnahmen stellt sicher, dass die Verzerrung nicht zu einer Fehleinschätzung führt. Grundsätzlich gilt eine Befahrung als „Überschreitung“ sobald eine Pylone auch nur knapp überschritten wird, da in den abgesteckten Schablonen zusätzlich zur Hüllkurve der Karosserie auch die seitliche Toleranz von 0,50 m mit inbegriffen ist.

Bei der Sichtung der Videomaterialien wird die Erkenntnis gewonnen, dass die Kamerapositionen nicht alle sinnvoll gewählt wurden. Insbesondere die beiden Kameras an den zur Kurveninnenseite gewandten Fahrzeugecken zeichnen nur wenige kritische Momente auf. An der Fahrzeuginnenseite sind es viel mehr die Achsen des Fahrzeugs, welche die Nichteinhaltung der Schleppkurven verantworten.

5.2.1 Mercedes-Benz eCitaro

Durch die Überprüfung der abgesteckten Schleppkurve mittels der Implementierung in GStar CAD wird bestätigt, dass die Schleppkurve des MB eCitaro nahezu korrekt abgebildet wird. Die Dokumentation der Schablonenüberprüfung ist für den MB eCitaro sowie für alle weiteren abgesteckten Schleppkurven der Anlage 6 dem Anhang zu entnehmen. Die Tabelle 5.1 fasst die Auswertung der Fahrversuche zusammen.

Fahrt	Überschreitung [Ja/Nein]	Bemerkung
1	Ja	Vorne Links (Kurvenausgang)
2	Ja	Vorne Links (Kurvenausgang)
3	Ja	Vorne Links (Kurvenausgang)

Tabelle 5.1: Auswertung Videomaterial, MB eCitaro (MB eCitaro-Schablone)

Die Auswertung des Videomaterials ergibt, dass der MB eCitaro die abgesteckte Kurve nicht einhält. Im Kurvenausgang überschreitet der vordere Überhang die äußere Kurve. Der Innenbogen hingegen wird nicht überschritten. Die Abbildungen 5.4 und 5.5 zeigen Bildsequenzen der Kameraaufnahmen, die das Überschreiten der Pylonen dokumentieren.



Abbildung 5.4: Drohnenaufnahme, MB eCitaro [BECHER, 2023]

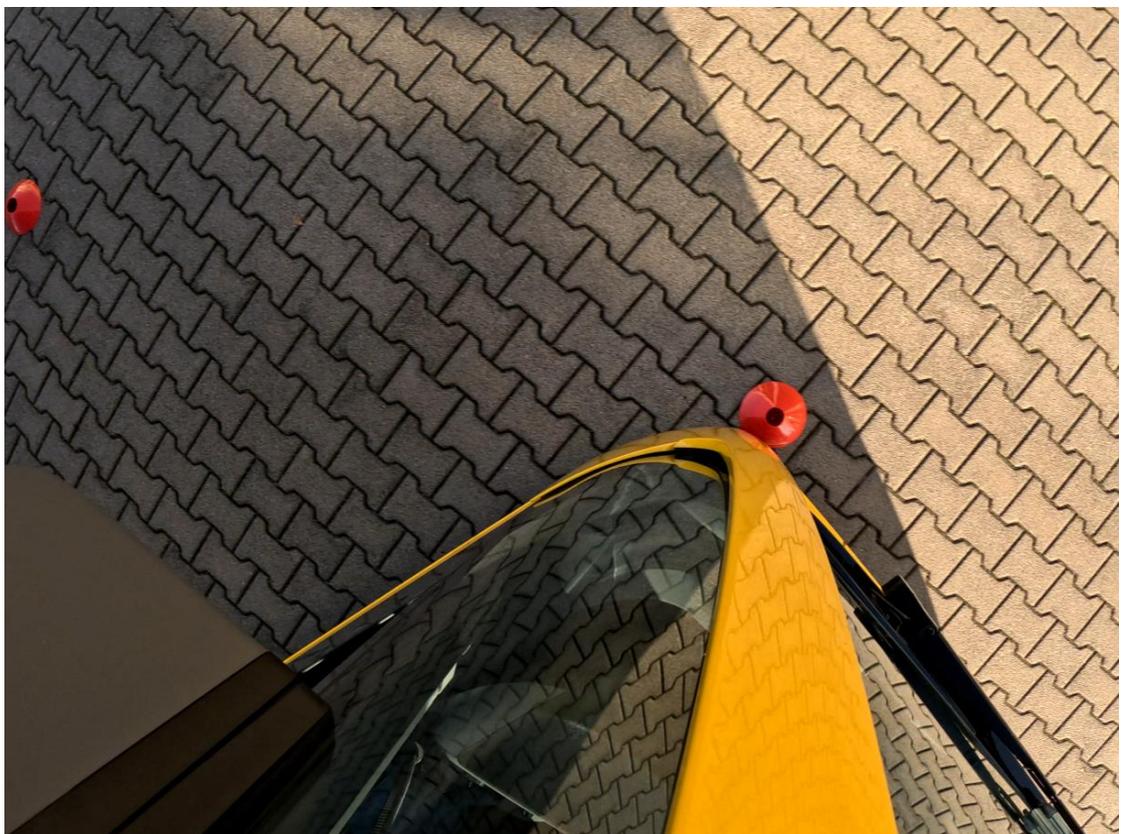


Abbildung 5.5: GoPro-Aufnahme, MB eCitaro (vorne links) [ROHRBACH, 2023]

5.2.2 Mercedes-Benz eCitaro G

Bei der Überprüfung der FGSV-Gelenkbus-Schleppkurvenschablone kann ebenfalls durch die Implementierung in GStar CAD die Richtigkeit der Kurve bestätigt werden. Die Befahrung mittels des MB eCitaro G erfolgt ohne Überschreitung der Pylonen.

Fahrt	Überschreitung [Ja/Nein]	Bemerkung
1	Nein	-
2	Nein	-
3	Nein	-

Tabelle 5.2: Auswertung Videomaterial, MB eCitaro G (FGSV-Schablone)

In Abbildung 5.6 wird die Einhaltung der Schleppkurvenschablone durch die Drohnenaufnahme bestätigt.

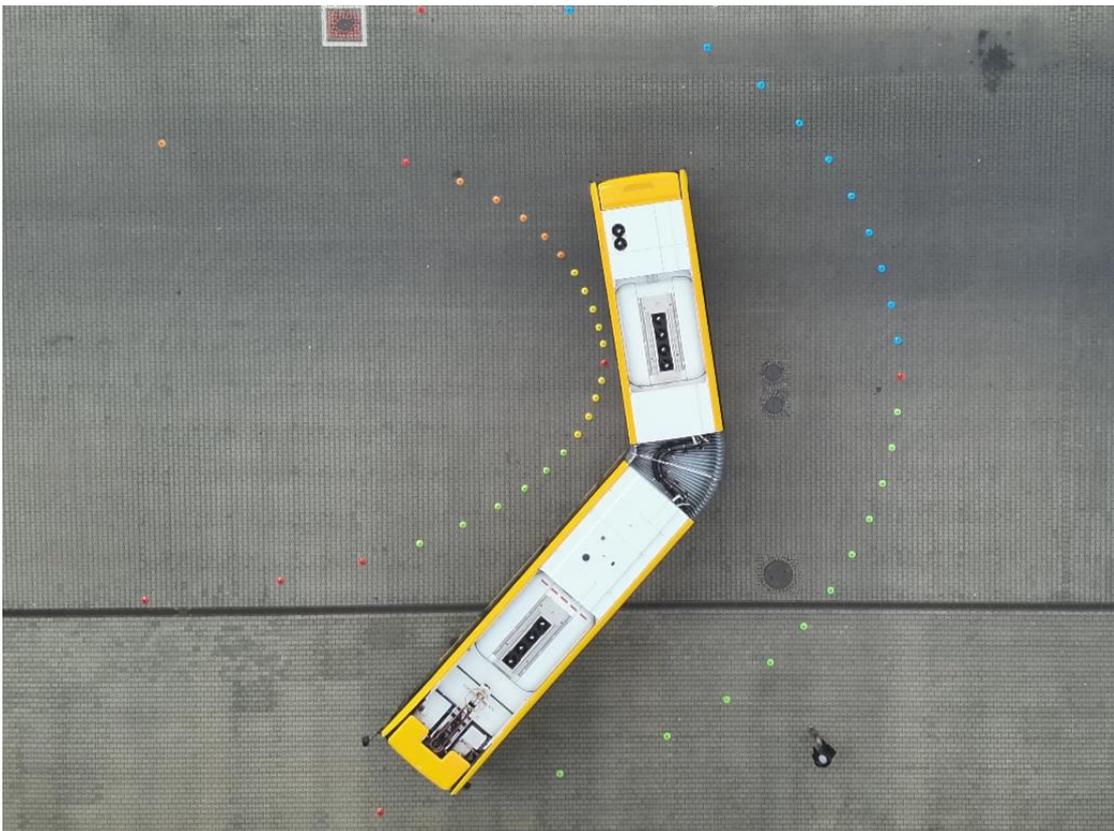


Abbildung 5.6: Drohnenaufnahme, MB eCitaro G [BECHER, 2023]

5.2.3 MAN Lion's City 19

Die Schleppkurvenschablone des FGSV-Gelenkbusses wurde zusätzlich zum MB eCitaro G auch durch den MAN Lion's City 19 befahren. Bei allen drei Versuchsfahrten wird eine Überschreitung der Pylonen verzeichnet. In Tabelle 5.3 sind die Überschreitungen sowie die dazugehörigen Bemerkungen zusammengefasst.

Fahrt	Überschreitung [Ja/Nein]	Bemerkung
1	Ja	Hintere Achse (Kurveninnenseite)
2	Ja	Vorne Links (Kurvenausgang) Hintere Achse (Kurveninnenseite)
3	Ja	Vorne Links (Kurvenausgang) Hintere Achse (Kurveninnenseite)

Tabelle 5.3: Auswertung Videomaterial, MAN Lion's City 19 (FGSV-Schablone)

Der MAN Lion's City 19 schafft es nicht die FGSV-Schablone zu durchfahren, ohne die Pylonen zu überschreiten. Zum einem überfährt der Nachläufer den inneren Bogen mit der hinteren Achse sehr deutlich, zum anderen überschreitet er, ähnlich wie der MB eCitaro, die Schablone im Kurvenausgang im äußeren Bogen. Auffallend ist außerdem, dass während der Versuchsfahrt der Knickschutz des Gelenks aktiviert wurde. Anders als bei MB verfügt der MAN über ein akustisches Warnsignal, welches ertönt sobald das Gelenk in einem kritischen Winkel geknickt wird. Das Befahren der Kurve ohne Erklängen des Knickschutz ist nicht möglich. In den Abbildungen 5.7, 5.8 und 5.9 werden die Überschreitungen durch die Kameraaufnahmen bestätigt.

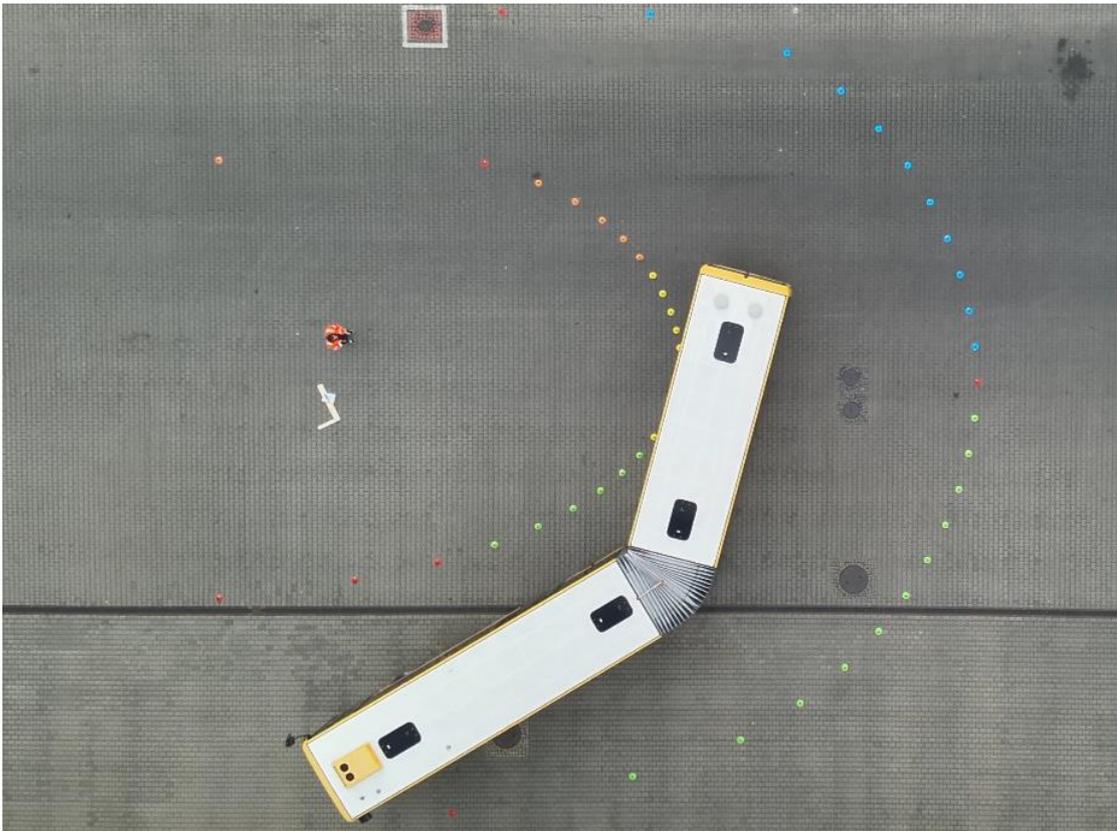


Abbildung 5.7: Drohnenaufnahme, MAN Lion's City 19 (FGSV-Schablone) [BECHER, 2023]

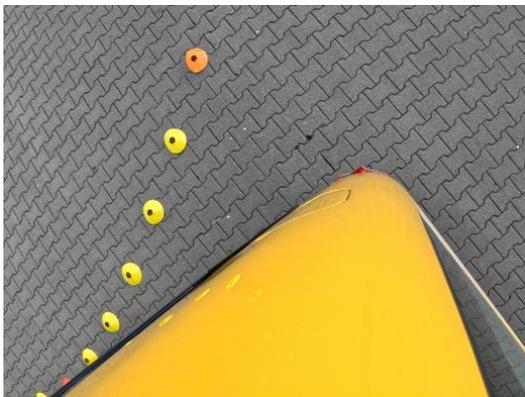


Abbildung 5.8: GoPro-Aufnahme, MAN Lion's City 19 (hinten rechts) [ROHRBACH, 2023]

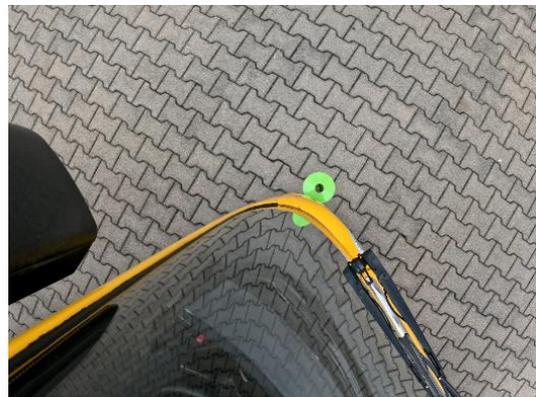


Abbildung 5.9: GoPro-Aufnahme, MAN Lion's City 19 (vorne links) [ROHRBACH, 2023]

Neben der FGSV-Schablone wird auch die Schablone eines 18,75-m-Gelenkbusses überprüft. Auch diese Kurve wurde mittels GStar-Implementierung auf ihre Genauigkeit kontrolliert. Für diese Kurve werden in Tabelle 5.4 die Überschreitungen zusammengefasst.

Fahrt	Überschreitung [Ja/Nein]	Bemerkung
1	Ja	Vordere Achse (Kurvenausgang) Hintere Achse (Kurveninnenseite)
2	Ja	Vorne Links (Kurvenausgang) Hintere Achse (Kurveninnenseite)
3	Ja	Vorne Links (Kurvenausgang) Hintere Achse (Kurveninnenseite)

Tabelle 5.4: Auswertung Videomaterial, MAN Lion's City 19 (18,75-m-Schablone)

Ähnlich wie bei der Befahrung der FGSV-Kurve überschreitet der MAN Lion's City 19 auch die 18,75-m-Gelenkbuskurve sowohl auf der Kurveninnenseite, als auch am Kurvenausgang auf der Außenseite. Die Überschreitung ist in den Abbildungen 5.10 bis 5.12 dokumentiert. Auch bei dieser Befahrung konnte das Erklingen des Signals für den Knickschutz des Gelenks nicht vermieden werden.

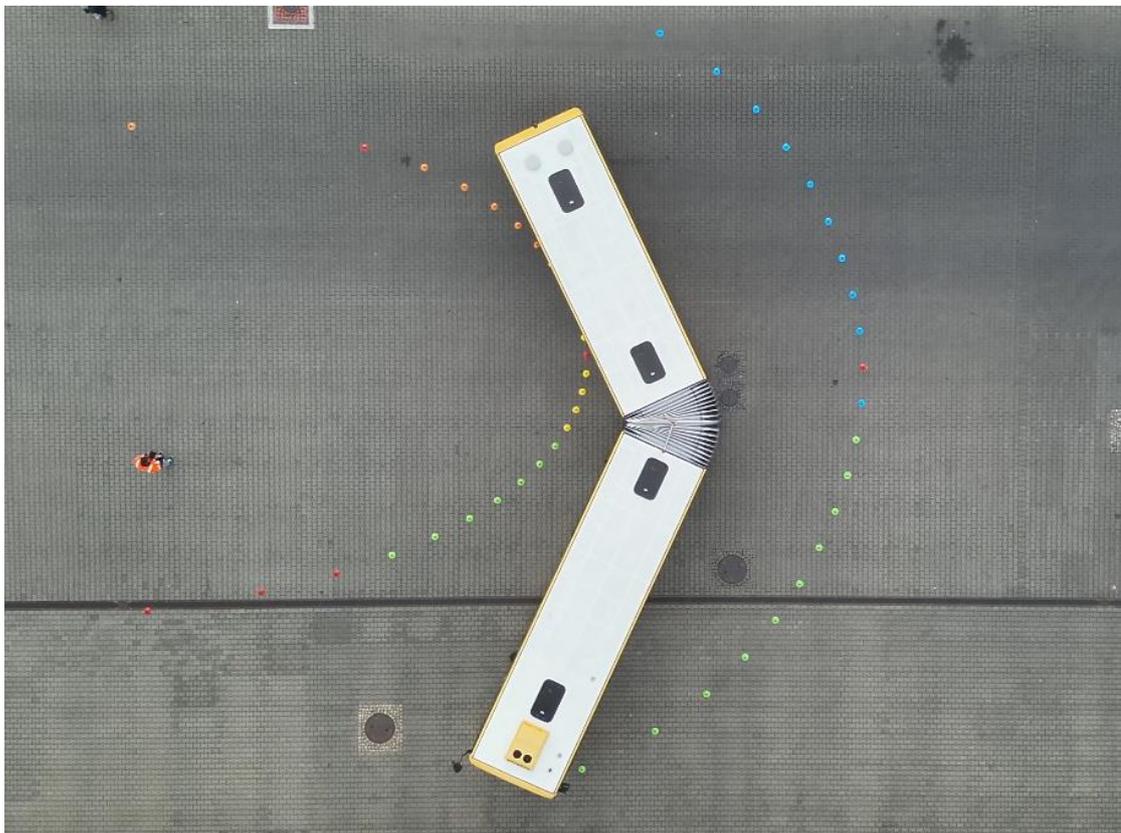


Abbildung 5.10: Drohnenaufnahme, MAN Lion's City 19 (18,75-m-Schablone) [BECHER, 2023]



Abbildung 5.11: GoPro-Aufnahme MAN Lion's City 19 (hinten rechts) [ROHRBACH, 2023]

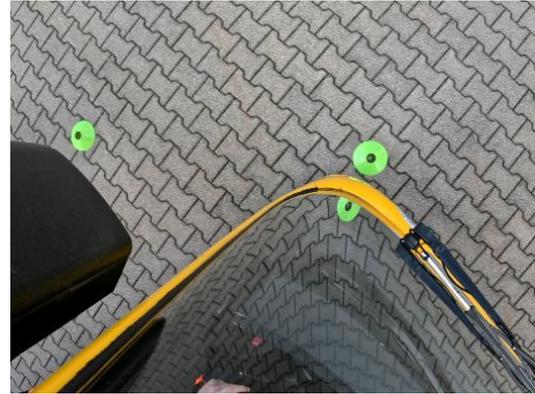


Abbildung 5.12: GoPro-Aufnahme MAN Lion's City 19 (vorne links) [ROHRBACH, 2023]

5.2.4 Mercedes-Benz CapaCity L

Neben dem MB eCitaro G und dem MAN Lion's City 19 wurde die FGSV-Gelenkbuskurve auch durch den MB CapaCity L befahren. Die Tabelle 5.5 fasst die Ergebnisse der Befahrung zusammen.

Fahrt	Überschreitung [Ja/Nein]	Bemerkung
1	Ja	Hinten Links (Kurveneingang) Vorne Links (Kurvenausgang)
2	Ja	Hinten Links (Kurveneingang) Vorne Links (Kurvenausgang)
3	Ja	Hinten Links (Kurveneingang) Vorne Links (Kurvenausgang)

Tabelle 5.5: Auswertung Videomaterial, MB CapaCity L (FGSV-Schablone)

Auch von diesem Modell wurde die FGSV-Gelenkbus-Schleppkurve überschritten. Neben der vorherigen Überschreitung der äußeren Kurve mit der vorderen linken Fahrzeugecke (Abbildung 5.14), wurde die FGSV-Kurve durch den MB CapaCity L bereits im Kurveneingang überschritten. Der verlängerte Nachläufer überstreicht die Pylonen, wie in Abbildung 5.13 zu erkennen ist, im äußeren Kurvenbogen deutlich.

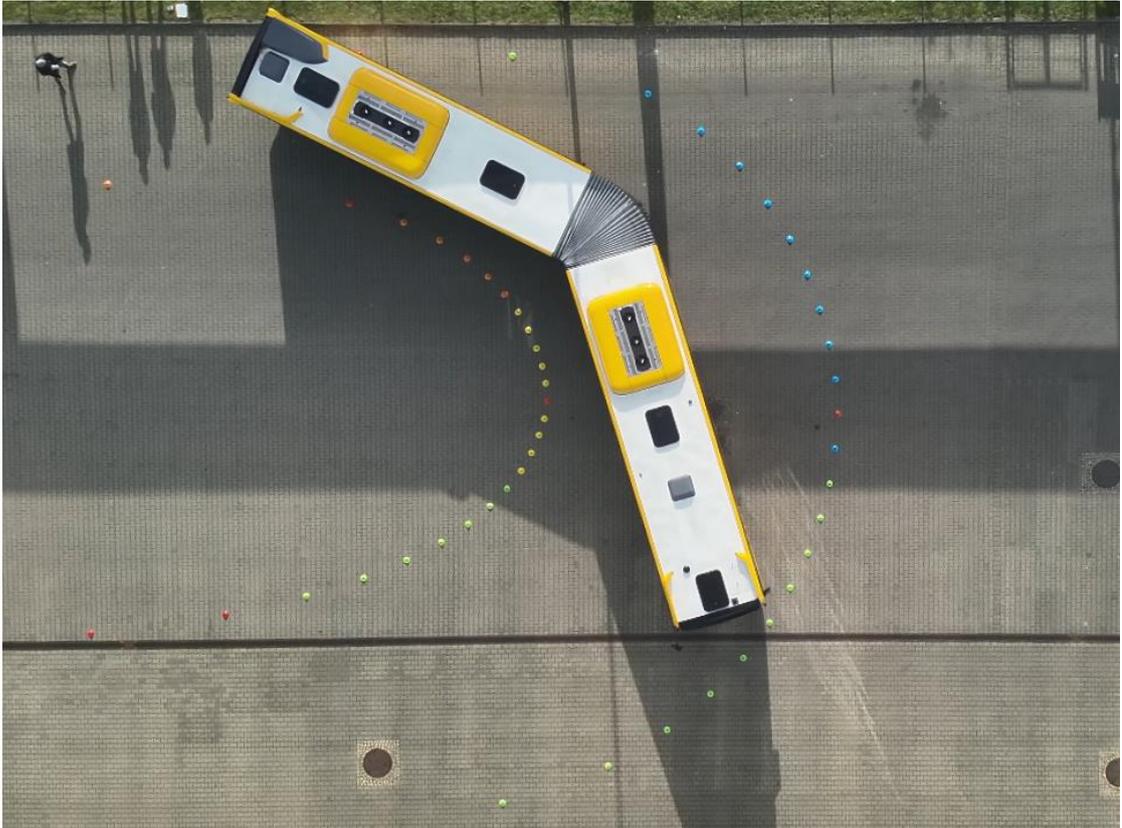


Abbildung 5.13: Drohnenaufnahme 1, MB CapaCity L (FGSV-Schablone) [BECHER, 2023]

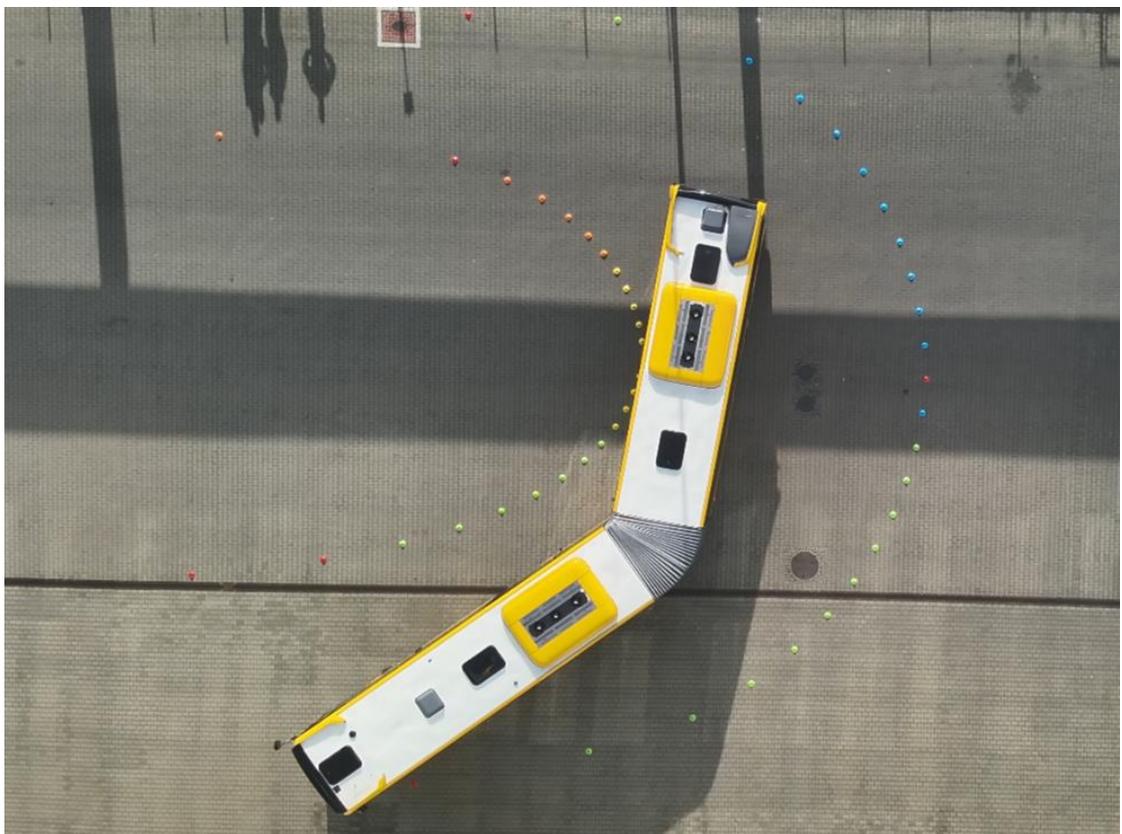


Abbildung 5.14: Drohnenaufnahme 2, MB CapaCity L (FGSV-Schablone) [BECHER, 2023]

Nachfolgend ist die Auswertung der Befahrung der MB CapaCity L spezifischen Schablone in Tabelle 5.6 dargestellt. Bei der Überprüfung der Schablone mittels der Implementierung in GStar CAD wird festgestellt, dass insbesondere der abgesteckte Kurveninnenbogen stark von der konstruierten Schablone abweicht. Hierbei handelt es sich um eine fehlerhafte Abmessung der Kurve. Eine Diskussion zur Fehlerbetrachtung folgt in Kapitel 5.4

Fahrt	Überschreitung [Ja/Nein]	Bemerkung
1	Ja	Vorne Links (Kurvenausgang) Hintere Achse (Kurveninnenseite)
2	Ja	Vorne Links (Kurvenausgang) Hintere Achse (Kurveninnenseite)
3	Ja	Vorne Links (Kurvenausgang) Hintere Achse (Kurveninnenseite)

Tabelle 5.6: Auswertung Videomaterial (MB CapaCity L-Schablone)

Die starke Überschreitung der Kurveninnenseite ist wahrscheinlich der falsch abgesteckten Kurve zuzuschreiben. Allerdings ist anhand der GStar CAD-Implementierung davon auszugehen, dass auch bei korrekter Darstellung der Schablone, der Kurveninnenbogen überschritten worden wäre.



Abbildung 5.15: Drohnenaufnahme, MB CapaCity L (MB CapaCity L-Schablone) [BECHER, 2023]

5.3 ÜBERPRÜFUNG DER SCHLEPPKURVENSCHABLONEN

Die Erkenntnisse aus Kapitel 4.2, dass die Schleppkurvenschablonen nicht ohne Weiteres mittels einer dynamischen Kurvenfahrt nachgebildet werden können, veranlassen die realen Kurvenfahrten der Fahrversuche in AutoTURN nachzubilden. Dafür werden, wie in Kapitel 5.2 erwähnt, die Drohnenaufnahmen in AutoTURN eingepflegt. Im Abstand von fünf Sekunden werden Bildschirmaufnahmen der Videos zu einem Gesamtbild zusammengefügt, um die Fahrlinie der Fahrzeuge nachvollziehen zu können. Darauf folgend wird eine dynamische Kurvenfahrt erstellt, welche die reale Fahrt der Busse abbildet. In Abbildung 5.16 ist beispielhaft die AutoTURN-Kurvenfahrt des MB eCitaro G dargestellt. Alle weiteren Pläne sind als Anlage 7 dem Anhang beigelegt

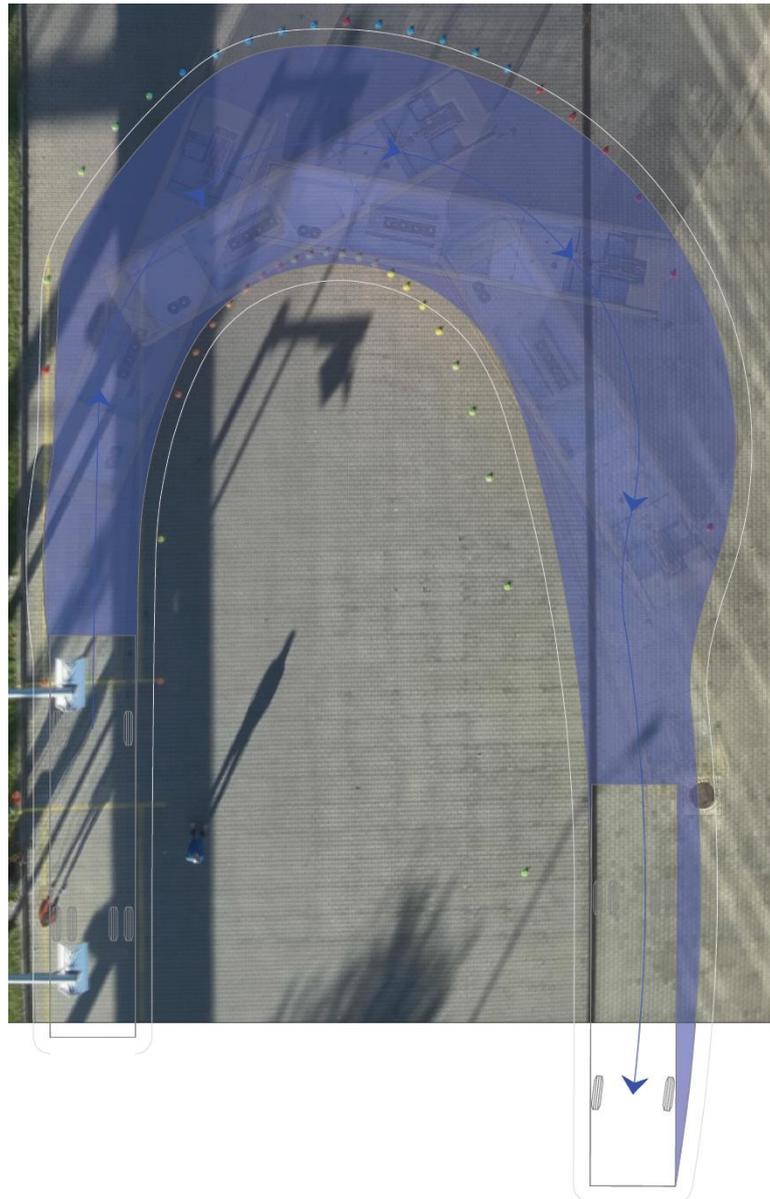


Abbildung 5.16: Nachbildung dynamische Kurvenfahrt, MB eCitaro

Anhand der Fahrzeugpositionen der einzelnen Aufnahmen kann der Fahrweg möglichst exakt nachgebildet werden. Die Kurvenlaufeigenschaften der softwareseitigen Fahrzeuge lassen eine übereinstimmende Nachbildung der Fahrwege zu. Somit kann bestätigt werden, dass mittels der dynamischen Kurvenfahrten der reale Fahrweg aus der Praxis rekonstruiert werden kann.

5.4 FEHLERBETRACHTUNG

Durch den Fahrversuch wird dargestellt, ob und wenn ja für welche Fahrzeuge eine genauere Untersuchung erforderlich ist. Er verfolgt nicht das Ziel eine quantitative Aussage über die Abweichung der Praxis von den theoretischen Kurven zu treffen. Dabei werden folgend Fehlerquellen und Möglichkeiten der Verbesserung für weitergehende Untersuchungen aufgezeigt.

Bereits bei der Übertragung der zuvor bestimmten Messpunkte auf die Betriebshoffläche können erste Fehler auftreten. Da mittels selbst konstruiertem 90-Grad-Winkel und Maßband die einzelnen Punkte abgesteckt wurde, kann es bei jedem Punkt zu Abweichungen gekommen sein. Für einen exakteren Versuchsaufbau könnten die zuvor bestimmten Messpunkte mit Hilfe von geodätischen Vermessungsverfahren (Tachymeter) bestimmt werden. Des Weiteren kann es bei der Durchführung der Messung zu Ungenauigkeiten gekommen sein. Die Fahrer, welche die Fahrzeuge durch den Versuchsaufbau gefahren haben, sind dazu befähigt, jedoch jeweils hauptberuflich keine Busfahrer. Je Fahrer und Kurve wurden drei Fahrten durchgeführt. Hinzuzufügen ist außerdem, dass auch die gefahrene Geschwindigkeit einen wesentlichen Einfluss auf die realisierte Schleppkurve besitzt. Diese schwankte beim Fahrversuch zwischen 6 km/h und 15 km/h.

Die Versuchsfläche auf dem Betriebshof Gruna ist um ca. 3 % geneigt. Durch das Gefälle, bedingt durch eine Entwässerungsrinne, beschleunigten die Fahrzeuge im Kurveneingang schon bei geringem Betätigen des Gaspedals teilweise stärker als erwünscht.

Da die Dokumentation der Fahrten mittels GoPros erfolgte, ist auch bei der Bilderstellung von Ungenauigkeiten auszugehen. Zwar wurden die Kameras an jedem Fahrzeug auf gleicher Höhe angebracht, jedoch müsste für eine exaktere Aufzeichnung genauer geprüft werden, dass die Kameras im Lot auf die Fahrbahn gerichtet sind. Weiterhin kann durch das Luftfahrwerk nicht das exakt gleiche Niveau an allen Fahrzeugen garantiert werden. Dazu kommt, dass durch die Weitwinkelaufnahmen der Kameras eine optische Verzerrung der Szenerie resultiert.

Kritisch betrachtet wird bei diesem Versuchsaufbau, dass die Stichprobe mit vier Fahrzeugen und nur drei Wiederholungen einen verhältnismäßig geringen Umfang aufweist.

Des Weiteren wurde jeweils nur ein einziges Fahrzeug als Vertreter der jeweiligen Art verwendet. Jedoch gibt es auch innerhalb eines Modells Streuungen durch Bauteiltoleranzen und der Herstellung von Stadtbussen mit hohem Manufakturanteil. Hinzu kommen Einstellungsmöglichkeiten an den Achsen und der Lenkung, welche explizit bei jedem einzelnen Fahrzeug vorgenommen werden müssen.

5.5 AUSWERTUNG DER BEFAHRUNG

Die Sichtung des Videomaterials hat ergeben, dass nur eine der getesteten Schleppkurvenschablonen bei der Praxisbefahrung eingehalten wird. Selbst die fahrzeugspezifische Schablone des MB eCitaro kann nicht eingehalten werden. Die Überschreitung der äußeren Hüllkurve ist, wie in Abbildung 5.5 zu sehen ist recht gering, jedoch sollte die Karosserie durch den Toleranzbereich von 0,50 m bei korrekter Einhaltung der Schablone die Pylonen mit deutlichem Abstand meiden. Dies führt zu dem Rückschluss, dass die im AUTURN erstellten Schleppkurvenschablonen selbst mit spezifischen Fahrzeugabmessungen keine exakte Kurvenfahrt abbilden können. Die in Kapitel 4.3 verglichenen Schleppkurvenschablonen zeigen auf, dass die Schablone des MB eCitaro die Schablone des FGSV-Referenz-Solobusses in Hinblick auf den minimalen Radius mit 1,08 % nur geringfügig überschreitet. Durch den Fahrversuch ist jedoch davon auszugehen, dass der MB eCitaro diese Schablone ebenfalls nicht einhält. Damit kann nicht gewährleistet werden, dass Schleppkurvenschablonen, welche durch das FGSV-Bemessungsfahrzeug erstellt wurden, durch den MB eCitaro befahren werden können. Die dynamische Kurvenfahrt hingegen bildet den realen Fahrweg des Fahrzeuges besser ab.

Lediglich der MB eCitaro G hat die Schleppkurvenschablone des FGSV-Gelenkbusses einhalten können. Trotz der höheren Gesamtlänge im Vergleich zur FGSV-Referenz überschreitet der MB die Hüllkurve bei keinem der drei Fahrversuche. Die Abweichungen der geometrischen Parameter gegenüber der Referenz liegen mit Ausnahme des vorderen Überhangs bei allen Parametern unter 1,00 %. Die Überschreitung des vorderen Überhangs um 3,89 % ist jedoch vergleichsweise hoch, während der Radstand zwischen der mittleren und hinteren Achse sogar geringer als bei der Referenz ist. Die damit verbundene sehr geringe Abweichung des Wenderadius bedingt die Einhaltung der Schleppkurvenschablone.

Der MAN Lion's City 19 weist wie in Kapitel 3.2 herausgestellt in Anbetracht der einzelnen Parameter der Fahrzeuggeometrien große Abweichungen gegenüber der FGSV-Referenz auf. Der mit 11,33 % längere Radstand zwischen der zweiten und dritten Achse, verbunden mit Überschreitungen beider Überhänge, erklären die sehr deutliche Überschreitung der Pylonen im Fahrversuch. Auch bei der Befahrung der 18,75-m-Gelenkbus-Schleppkurvenschablone wurde eine Überschreitung der Kurve verzeichnet. Ebenso wie bei der FGSV-Schablone kommt es sowohl im Kurveninnenbogen als auch im Kurvenausgang des Außenbogens zu Überschreitungen der Pylonen.

Modell/ Hersteller	Gesamtlänge [mm]	Überhang vorne [mm]	Radstand [mm]		Überhang hinten [mm]
			1-2	2-3	
18,75-m-Referenz [TRANSOFT SOLUTION, 2023]	18.750	2.700	5.880	6.770	3.400
MAN Lion's City 19 [MAN, 2020]	18.730	2.775	5.870	6.680	3.405

Tabelle 5.7: Vergleich der 18,75-m-Referenz mit dem MAN Lion's City 19

In Tabelle 5.7 sind die wesentlichen Parameter des 18,75-m-Busses aus AutoTURN denen des MAN Lion's City 19 gegenübergestellt. Es ist ersichtlich, dass sich die Gesamtlänge, die Überhänge sowie die Radstände der beiden Fahrzeuge nur geringfügig voneinander unterscheiden. Die geringen Unterschiede der geometrischen Eigenschaften der Fahrzeuge lassen keinen Rückschluss auf die Überschreitung der abgesteckten Schleppkurve zu.

Wie in Kapitel 5.2.4 festgestellt, sind bei der Abtragung der MB CapaCity L Schleppkurvenschablone Fehler aufgetreten. Die fehlerhafte Vermessung der MB CapaCity L spezifischen Schleppkurvenschablone ermöglicht keinen Rückschluss über die Richtigkeit der Schablone des erworbenen Fahrzeugs in der Fahrzeugbibliothek in AutoTURN. Jedoch wurde auch der Fahrweg des MB CapaCity L mittels einer dynamischen Kurvenfahrt nachgebildet. Die Überprüfung der Befahrbarkeit der FGSV-Schleppkurve hingegen bestätigt die eingangs aufgestellte These, dass die FGSV-Gelenkschleppkurven nicht durch den CapaCity L befahrbar sind. Der verlängerte Nachläufer inklusive der vierten Achse ist potenziell verantwortlich für die deutliche Überschreitung des äußeren Kurvenbogens im Kurveneingang. Offenbar reicht die zweite gelenkte Achse nicht aus, um die Schleppkurve auf das Niveau der FGSV-Vorgabe zu bringen.

6 EMPFEHLUNGEN ZUR AKTUALISIERUNG DER RICHTLINIE

Der Vergleich zwischen den normativen Vorgaben und der Praxis hat Diskrepanzen in Hinblick auf die Schleppkurvenschablonen von Stadtbussen aufgezeigt. Die verglichenen marktverfügbaren Solo- und Gelenkbusse weisen allesamt Abweichungen der geometrischen Parameter gegenüber den FGSV-Referenzbussen auf. Eine Zuweisung der Abweichung auf einen Bereich, wie z. B. den Radstand, lässt sich dabei nicht allgemeingültig festlegen.

Laut RBSV stellen die Bemessungsfahrzeuge sogenannte 85%-Fahrzeuge dar, welche die Befahrbarkeit für 85 % aller Fahrzeuge eines Fahrzeugtyps gewährleisten. Die Untersuchungen ergeben, dass dieses 85%-Quantil nicht die aktuell marktverfügbaren Stadtbusse repräsentiert. Es wird daher empfohlen, eine Fahrzeugauswahl der führenden Hersteller des Zielmarktes zu treffen, um auf deren Grundlage das Bemessungsfahrzeug zu aktualisieren. Die in dieser Arbeit getroffene Auswahl an Herstellern und Modellen kann als Orientierung einer weiteren Marktanalyse dienen. Ebenfalls bestätigt sich die These, dass die standardisierten Schleppkurven für Kraftomnibusse in den aktuellen Regelwerken nicht alle marktrelevanten Fahrzeugtypen umfassen. Als konkretes Beispiel wird der Mercedes-Benz CapaCity L aufgeführt und detailliert untersucht.

Es bestehen weitere Möglichkeiten das Bemessungsfahrzeug anzupassen. Diskutiert werden sollte die Wahl des Fahrzeuges mit der höchsten Gesamtlänge, dem weitesten Wendradius oder den längsten Überhängen. Das Zusammenspiel der einzelnen Elemente, die zusammen die Fahrzeuggeometrie ausmachen, hat wesentlichen Einfluss auf die sich ergebende Schleppkurve.

Es wird empfohlen explizit für die untersuchten Gefäßgrößen von 12,00-m-Bussen sowie 18,00-m-Bussen angepasste Bemessungsfahrzeuge zu erstellen. Weiterhin sollten in einer fortlaufenden Untersuchung auch die übrigen Fahrzeugtypen, wie der 13,70-m-Bus

und der 15,00-m-Bus hinsichtlich der marktverfügbaren Fahrzeuge verschiedener Hersteller analysiert werden. Gegebenenfalls ergibt sich auch hier die Notwendigkeit für beide Fahrzeugtypen ein neues Bemessungsfahrzeug zu erstellen.

Des Weiteren hat der simulationsgestützte Vergleich eine Diskrepanz zwischen den statischen Schleppkurvenschablonen und den dynamischen Kurvenfahrten ergeben. Für eine grobe Überprüfung simpler Verkehrssituationen können die Schablonen weiterhin genutzt werden, müssten aber dennoch auf einem neuen Bemessungsfahrzeug basieren. Weiterhin sollten sowohl für die Verwendung der statischen Schablone als auch für die der dynamischen Kurvenfahrt einige Vorgaben zu Simulationsparametern getroffen werden. Für bestimmte Verkehrssituationen sollten beispielsweise einheitliche Geschwindigkeiten vorgegeben werden.

7 FAZIT

Die Analyse einiger marktverfügbarer Batterie-Solobusse hat ergeben, dass es herstellerspezifische Unterschiede der einzelnen fahrzeuggeometrischen Parameter gibt. Während die Breite bei allen Fahrzeugen übereinstimmt (2.550 mm), fällt bei der Betrachtung der Länge auf, dass die meisten Fahrzeuge am Markt das Bemessungsfahrzeug überragen. Es kommt dazu, dass die in der Theorie mit dem FGSV-Bemessungsfahrzeug geplanten Strecken nicht mit in der Praxis erhältlichen Fahrzeugen der gleichen Klasse befahren werden können. Die verschiedenen Geometrien haben zur Folge, dass die Fahrzeuge unterschiedliche Kurvenlaufeigenschaften aufweisen und nicht alle durch das FGSV-Bemessungsfahrzeug repräsentiert werden können. Auch die Untersuchung der ausgewählten Gelenkbusse hat ergeben, dass der von der FGSV definierte 18,00-m-Gelenkbus nicht ausreichend ist, um die unterschiedlichen Längen an Gelenkbussen sowie die daraus resultierenden Kurvenlaufeigenschaften angemessen zu repräsentieren.

Der simulationsgestützte Vergleich bestätigt dies durch das Übereinanderlegen der jeweiligen Schleppkurvenschablonen und der FGSV-Referenz. Es ergibt sich ein vergrößerter Flächenbedarf der herstellerspezifischen Modelle. Um die problemlose Befahrung aller Verkehrsanlagen gewährleisten zu können, muss die Dimensionierung entsprechend der marktverfügbaren Fahrzeuge vergrößert werden. Insbesondere auf Verkehrsflächen, wie beispielsweise Betriebshöfen, haben schon geringe Flächenmehrbedarfe pro Fahrzeug große Auswirkungen auf die Gesamtfläche.

Die Vorbereitungen des versuchsgestützten Vergleiches ergeben, dass eine Diskrepanz zwischen den statischen Schleppkurvenschablonen und den dynamischen Kurvenfahrten des Softwaretools AutoTURN herrscht. Die Durchführung des Versuchs verdeutlicht, dass drei von vier Schablonen von den ausgewählten Modellen nicht eingehalten werden können. Die Nachbildung der tatsächlich gefahrenen Kurve in AutoTURN ergibt, dass diese jedoch mittels der Funktion der dynamischen Kurvenfahrterzeugung nachgebildet werden kann. Diese Erkenntnis führt zu dem Entschluss, dass AutoTURN die Kurvenlaufeigen-

schaften von Stadtbussen in Form von dynamischen Schleppkurven hinreichend gut darstellt. Von der Verwendung der statischen Schleppkurvenschablonen sollte allerdings abgesehen werden.

Abschließend wird angemerkt, dass hinsichtlich der Aktualisierung der Bemessungsfahrzeuge in der FGSV-Schrift „Richtlinie für Bemessungsfahrzeuge und Schleppkurven zur Überprüfung der Befahrbarkeit von Verkehrsflächen“ akuter Handlungsbedarf besteht. Da die in dieser Schrift aufgeführten Bemessungsfahrzeuge Grundlage der softwareseitigen Umsetzung von Schleppkurven sind, sollten die Fahrzeuge an den Markt aktueller Stadtbusse angepasst werden. Das Bemessungsfahrzeug sollte ungünstige fahrzeuggeometrische Eigenschaften der verschiedenen Hersteller vereinen, um die Befahrbarkeit für alle Modelle gewährleisten zu können.

Weiterführende Schriften könnten sich den Vertretern der 13,70- sowie 15,00-m-Klasse widmen. Auch eine detaillierte Untersuchung, welche „ungünstigen“ fahrzeuggeometrischen Eigenschaften in Summe im Bemessungsfahrzeug münden sollten, wird als interessanter, noch offener Punkt angesehen.

LITERATURVERZEICHNIS

BECHER, P. (2023): Drohnenaufnahmen. DVB Betriebshof Gruna. Dresden. (04.11.2023)

BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ (2023): Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) § 32 Abmessungen von Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen. URL: https://www.gesetze-im-internet.de/stvzo_2012/__32.html. (zuletzt geprüft: 09.08.23)

BUSBLICKPUNKT (2023): „Neue EU-Vorschläge für CO2-Reduzierung“. URL: <https://www.busnetz.de/neue-eu-vorschlaege-fuer-co2-reduzierungen/>. (Zuletzt geprüft: 01.12.2023)

EBUSCO (Hrsg.) (2021a): „Ebusco® 2.2“. Produktleitfaden Deurne. Niederlande.

EBUSCO (Hrsg.) (2023b): „Ebusco® 3.0“. Produktleitfaden. Deurne. Niederlande.

ELECTRIVE (2022): Analyse: Elektrobusse legen europaweit zu. URL: <https://www.electrive.net/2022/02/22/analyse-elektrobusse-legen-europaweit-weiter-zu>. (Zuletzt geprüft: 17.11.2023)

EUROTRANSPORT (2021): E-Bus-Blog Teil 1. Wer baut den besten Elektrobus?. URL: <https://www.eurotransport.de/artikel/e-bus-blog-teil-1-wer-baut-den-besten-elektrobus-11185073.html>. (Zuletzt geprüft: 17.11.2023)

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN E. V. (Hrsg.) (2013): Empfehlungen für Anlagen des öffentlichen Personennahverkehrs (EAÖ). Arbeitsgruppe „Straßenentwurf“. Köln.

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN E. V. (Hrsg.) (2009): Hinweise für den Entwurf von Verknüpfungsanlagen des öffentlichen Personennahverkehrs (H VÖ). Arbeitsgruppe „Straßenentwurf“. Köln.

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN E. V. (Hrsg.) (2020): Richtlinie für Bemessungsfahrzeuge und Schleppkurven zur Überprüfung der Befahrbarkeit von Verkehrsflächen (RBSV). Arbeitsgruppe „Straßenentwurf“. Köln.

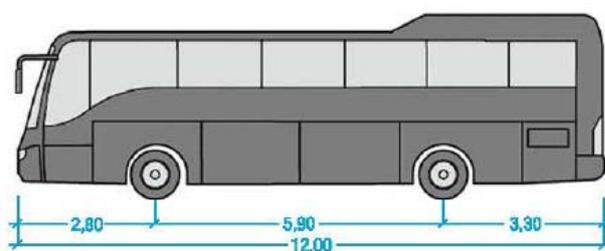
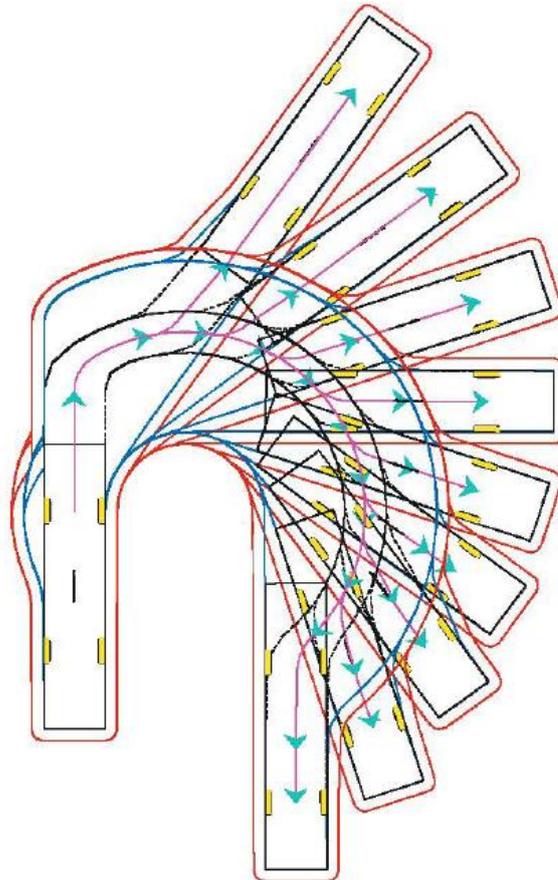
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN E. V. (Hrsg.) (2006): Richtlinie für die Anlage von Stadtstraßen (RASt). Arbeitsgruppe „Straßenentwurf“. Köln.
- IB&T SOFTWARE GMBH (2023): Schleppkurve - Software zur Berechnung von Schleppkurven. URL: <https://www.schleppkurve.com/>. (Zuletzt geprüft: 09.08.23)
- IVECO (Hrsg.) (2020): „E-WAY full electric – 12m“. Datenblatt. Vénissieux. Frankreich.
- MAN (Hrsg.) (2020): „Der neue MAN Lion’s City - Serien- und Sonderausstattungen“. München.
- MAN (Hrsg.) (2022a): „MAN Lion’s City E Bestuhlungsplan“. 12C_29+1_CI_ISI. Ingolstadt.
- MAN (Hrsg.) (2022b): „MAN Lion’s City E Produktleitfaden“. München.
- MERCEDES-BENZ (Hrsg.) (2016): „CapaCity L Abmessungen und Bestuhlung“. Stadtomnibus Citaro O 530. Mannheim.
- MERCEDES-BENZ (Hrsg.) (2020): „CapaCity L Wendekreis“. Wendekreis Citaro (21 m-Fahrzeug). Mannheim.
- MERCEDES-BENZ (Hrsg.) (2022a): „Stadtomnibus eCitaro G“. Baumuster C 628.640.-13. Mannheim.
- MERCEDES-BENZ (Hrsg.) (2022b): „Stadtomnibus eCitaro“. Baumuster C 628.630-13. Mannheim.
- MERCEDES-BENZ (Hrsg.) (2023a): „Der eCitaro im Überblick“. Leinfelden-Echterdingen.
- MERCEDES-BENZ (Hrsg.) (2023b): „eCitaro Wendekreis und Schleppkurven“. Mannheim.
- MERCEDES-BENZ (Hrsg.) (2023c): „eCitaro G Wendekreis und Schleppkurven“. Mannheim.
- NATIONALE ORGANISATION WASSER- UND BRENNSTOFFZELLENTechnologie (NOW) (2022): „Abschlussbericht – Programmbegleitforschung Innovative Antriebe und Fahrzeuge“. URL: https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2022/04/NOW_Abschlussbericht_Begleitforschung-Bus.pdf. (Zuletzt geprüft: 01.12.2023)

- ROHRBACH, M. (2023): Videoaufnahmen. DVB Betriebshof Gruna. Dresden. (04.11.2023)
- STVO2GO (2023): Zulässige Länge von Bussen. URL: https://www.stvo2go.de/zulaessige-laenge-bus/#zulaessige-laenge-eines-busses-mit-3-achsen-und-anhaenger?utm_content=cmp-true. (Zuletzt geprüft: 22.08.23)
- TRANSOFT SOLUTION (2023): AutoTURN – Schleppkurven Software und Mehr. URL: <https://www.transoftsolutions.com/de/schleppkurve/software/autoturn/>. (Zuletzt geprüft: 09.08.23)
- VANEK, RICHARD (Hrsg.) (2023): Sachschadensunfälle im Busverkehr: Neue Einblicke durch Auswertung einer Versicherungsdatenbank. Kirschbaum Verlag. Bonn.
- VAN HOOL (Hrsg.) (2020): „Van Hool A12-LF-FC Wendekreis“. VH Nummer 11 753 216/2. Belgien.
- VAN HOOL (Hrsg.) (2022): „Van Hool A12-LF-FC Angebotszeichnung“. OF5591. Barnim.
- VDL (Hrsg.) (2022a): „VDL New Generation Citea Baubeschreibung Hinterachse“. Spoorbreedte NGC 1ste as. Niederlande.
- VDL (Hrsg.) (2022a): „VDL New Generation Citea Baubeschreibung Hinterachse“. Spoorbreedte NGC 2de as. Niederlande.
- VDL (Hrsg.) (2023): „NGC LF/LE-122 Diagramm Wendekreis“. Niederlande.
- VERBAND DEUTSCHER VERKEHRSUNTERNEHMEN (VDV) (2023): „Umsetzung der Clean Vehicles Directive (CVD)“. URL: <https://www.vdv.de/umsetzung-cvd.aspx>. (Zuletzt geprüft: 01.12.2023)
- VOLVO (Hrsg.) (2020): „Volvo 7900 electric articulated“. Datenblatt. Schweden.

ANHANG

ANLAGE 1

Schleppkurvenschablonen nach RBSV

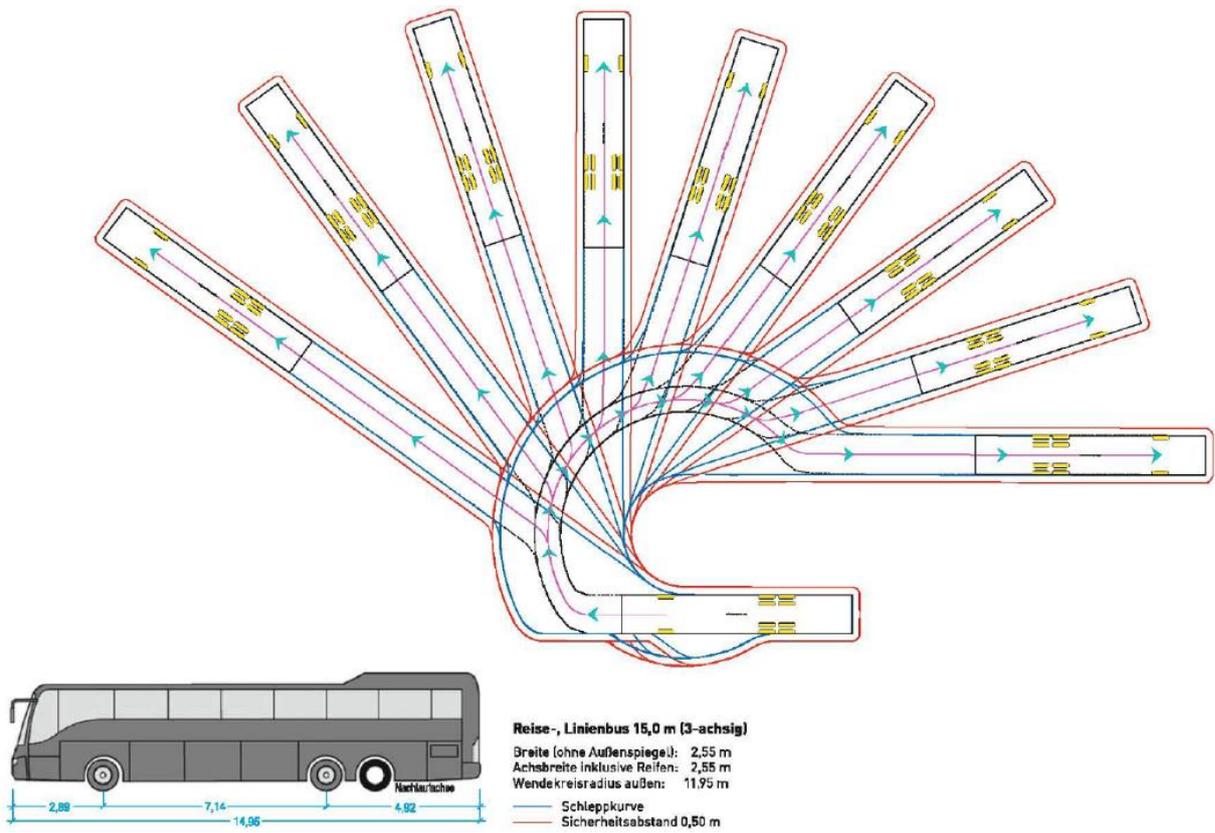


Reise-, Linienbus 12,0 m (2-achsig)

Breite (ohne Außenspiegel): 2,55 m
 Achsbreite inklusive Reifen: 2,55 m
 Wendekreisradius außen: 10,50 m

— Schleppkurve
 — Sicherheitsabstand 0,50 m

Anlage 1.1: Schleppkurve Reise-, Linienbus 12,0 m (2-achsig)

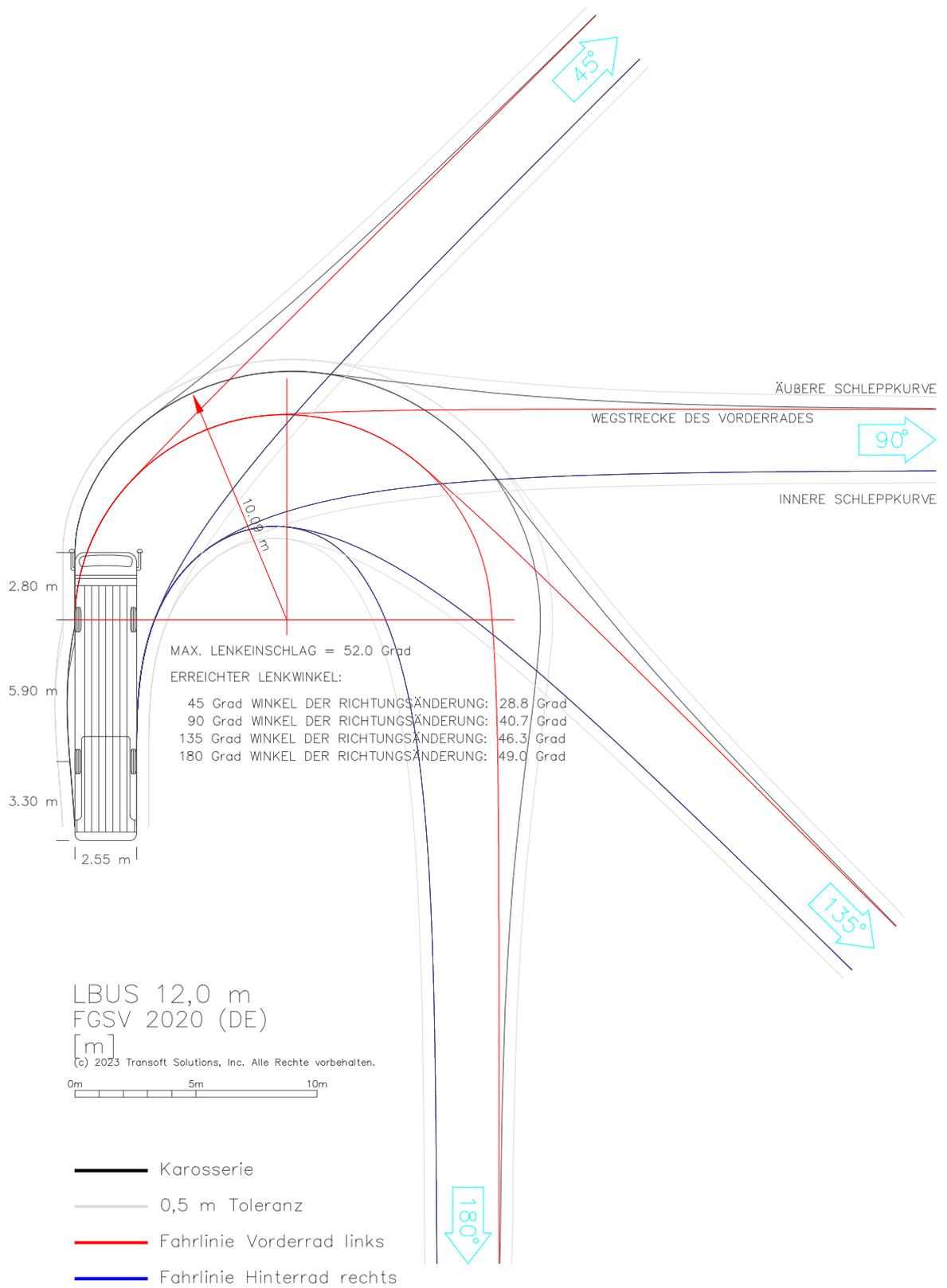


Anlage 1.2: Schleppekurve Reise-, Linienbus 15,0 m (3-achsig)

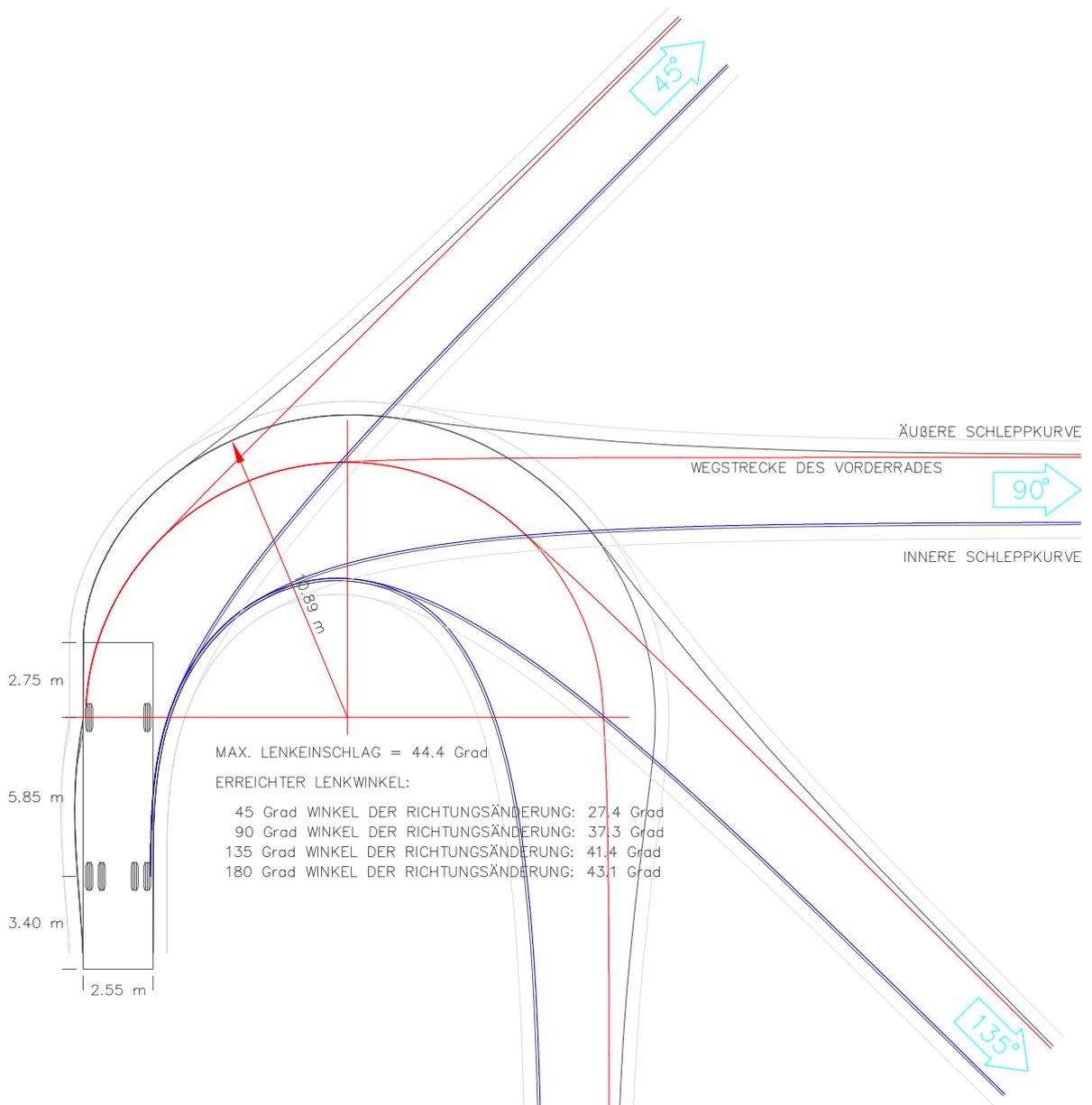
ANLAGE 2

AutoTURN Schleppkurvenschablonen

12 Pläne 9x A4, 3x A3



Auftraggeber	Technische Universität Dresden		Bearbeitet	Henriette Strübing	
Projektpartner	Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH				
Projekt	DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis		Planinhalt	Schleppkurvenschablone FGSV LBUS 12m	
			Datum:	11/2023	Maßstab: 1:250
					Anlage 2.1



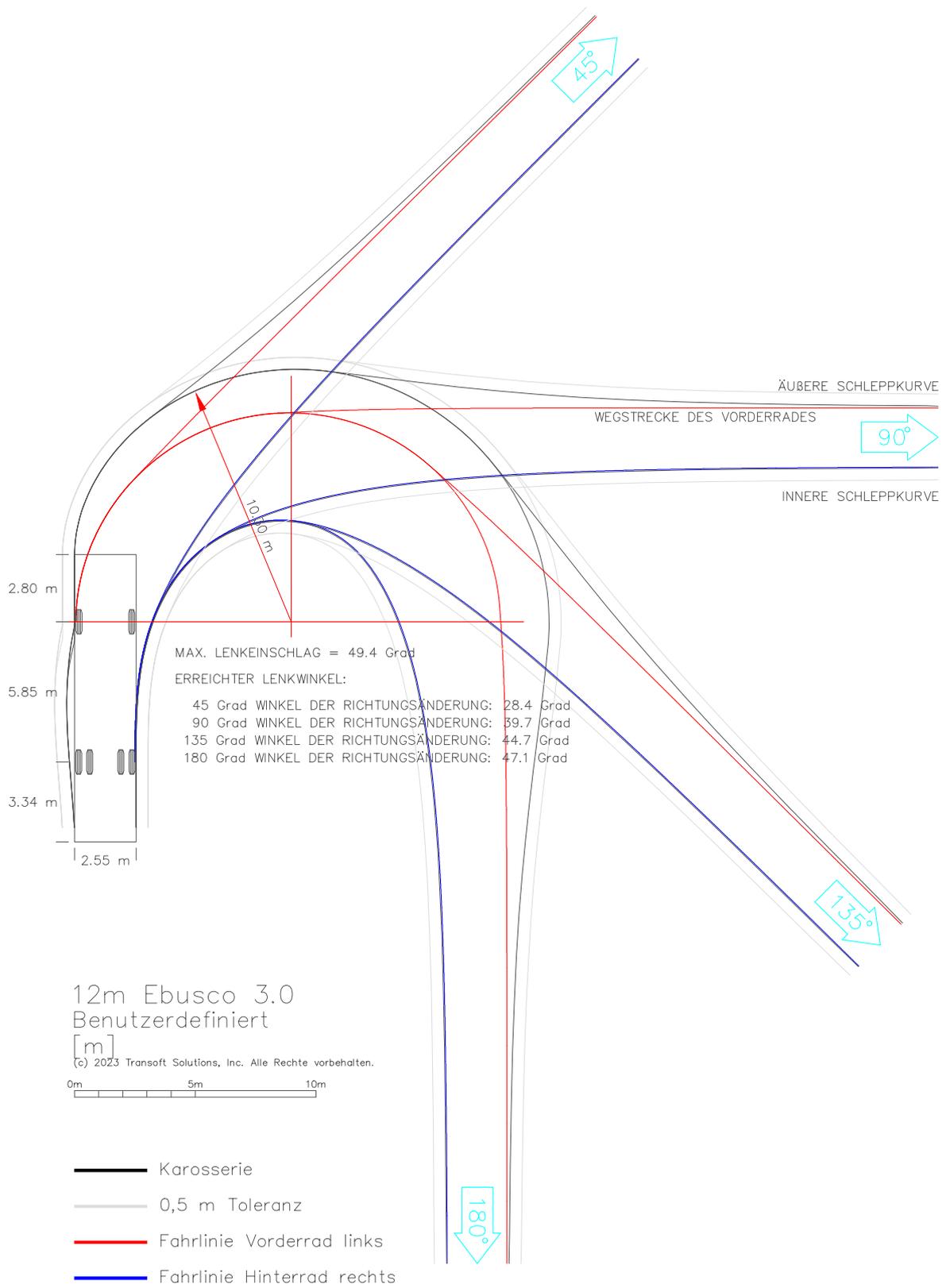
12m Ebusco 2.2 Benutzerdefiniert

[m]
(c) 2023 Transoft Solutions, Inc. Alle Rechte vorbehalten.

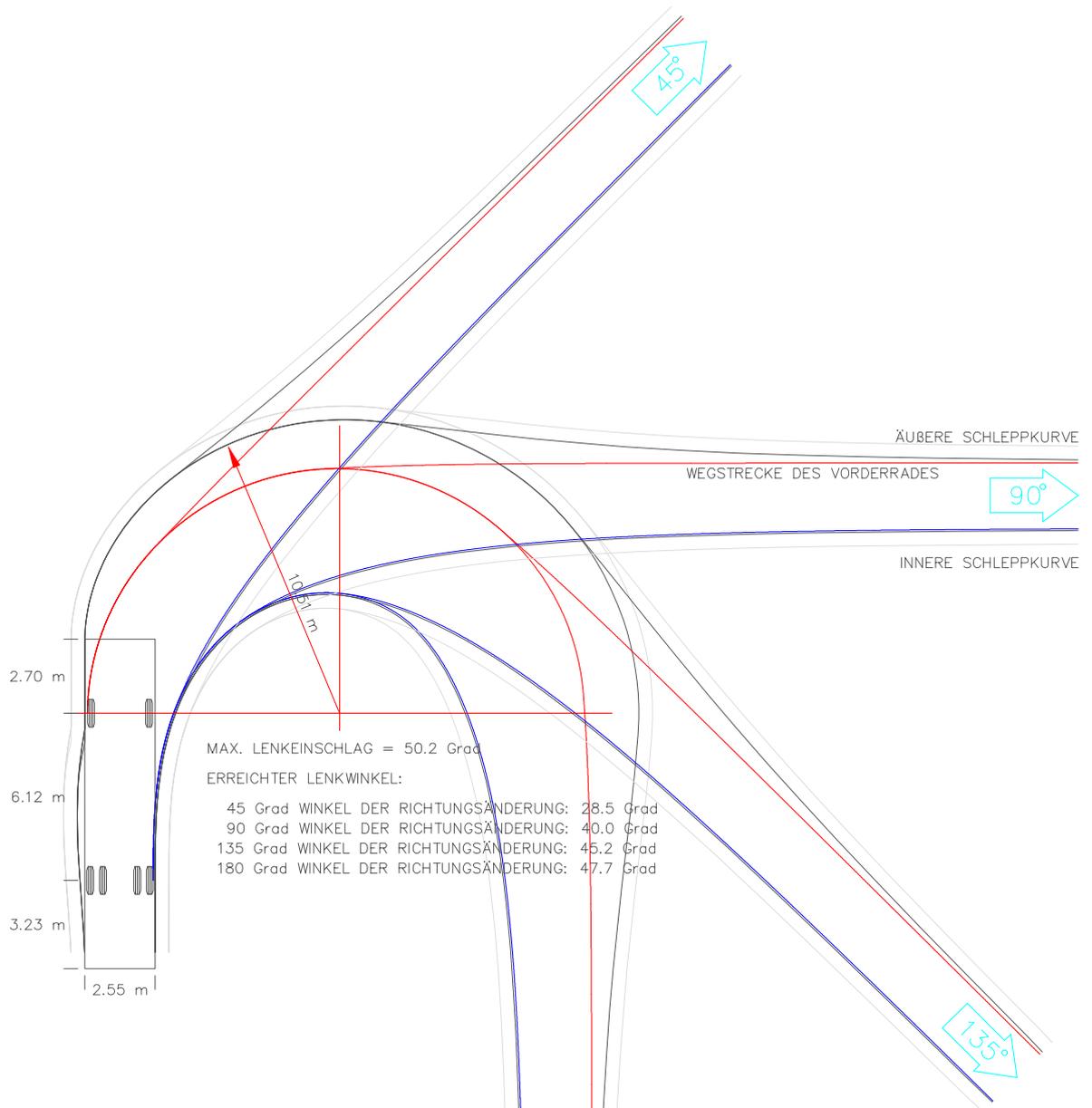


- Karosserie
- 0,5 m Toleranz
- Fahrlinie Vorderrad links
- Fahrlinie Hinterrad rechts

Auftraggeber		Bearbeitet	
Technische Universität Dresden		Henriette Strübing	
Projektpartner			
Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH			
Projekt		Planinhalt	
DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis		Anlage 2.2 Schleppkurvenschablone Ebusco 2.2	
		Datum:	Maßstab:
		11/2023	1:250



Auftraggeber	Technische Universität Dresden		Bearbeitet	Henriette Strübing	
Projektpartner	Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH				
Projekt	DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis		Planinhalt	Anlage 2.3 Schleppkurvenschablone Ebusco 3.0	
	Datum:	11/2023	Maßstab:	1:250	



12.1m IVECO E-WAY Benutzerdefiniert

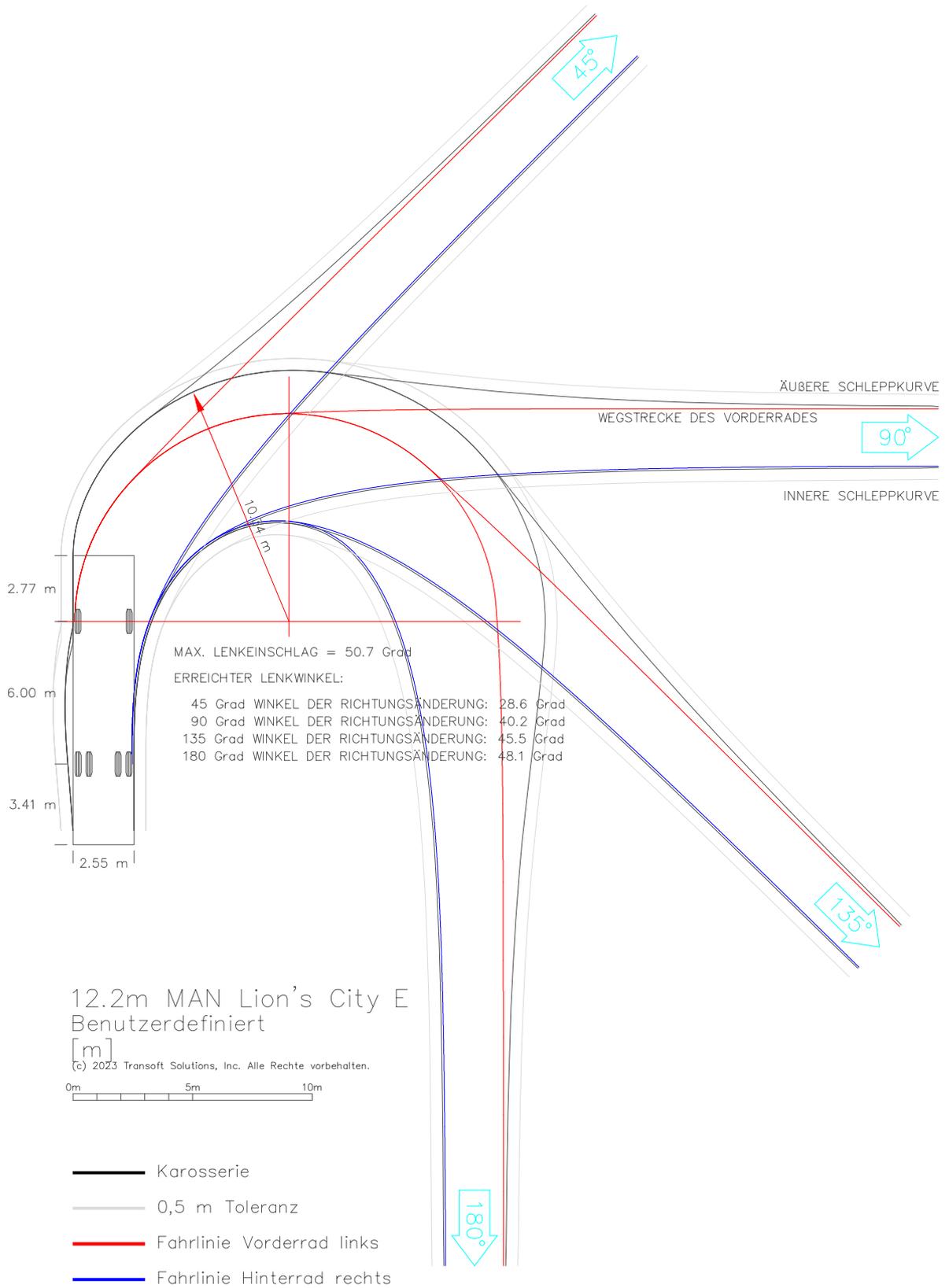
[m]

(c) 2024 Transoft Solutions, Inc. Alle Rechte vorbehalten.

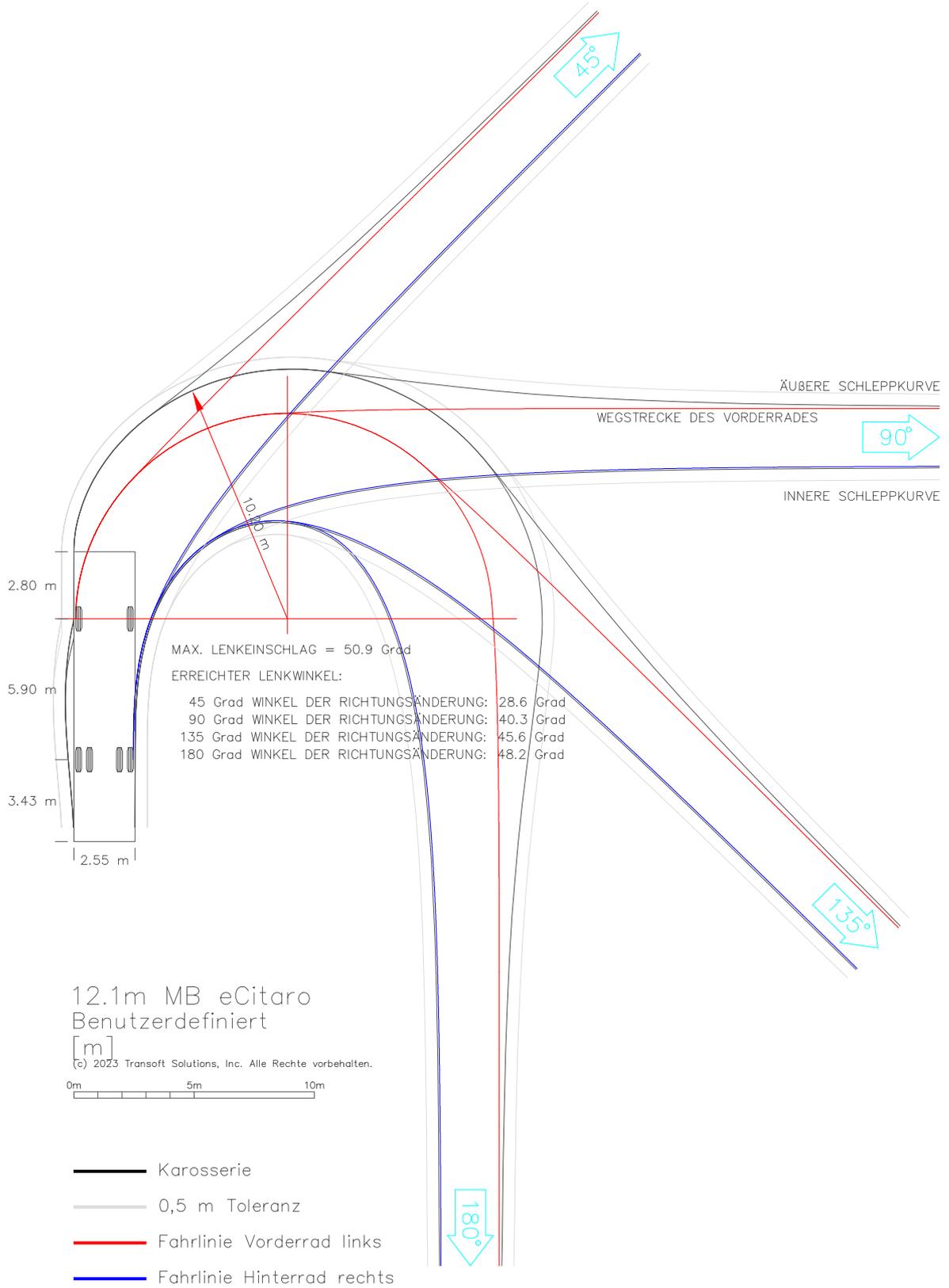


- Karosserie
- 0,5 m Toleranz
- Fahrlinie Vorderrad links
- Fahrlinie Hinterrad rechts

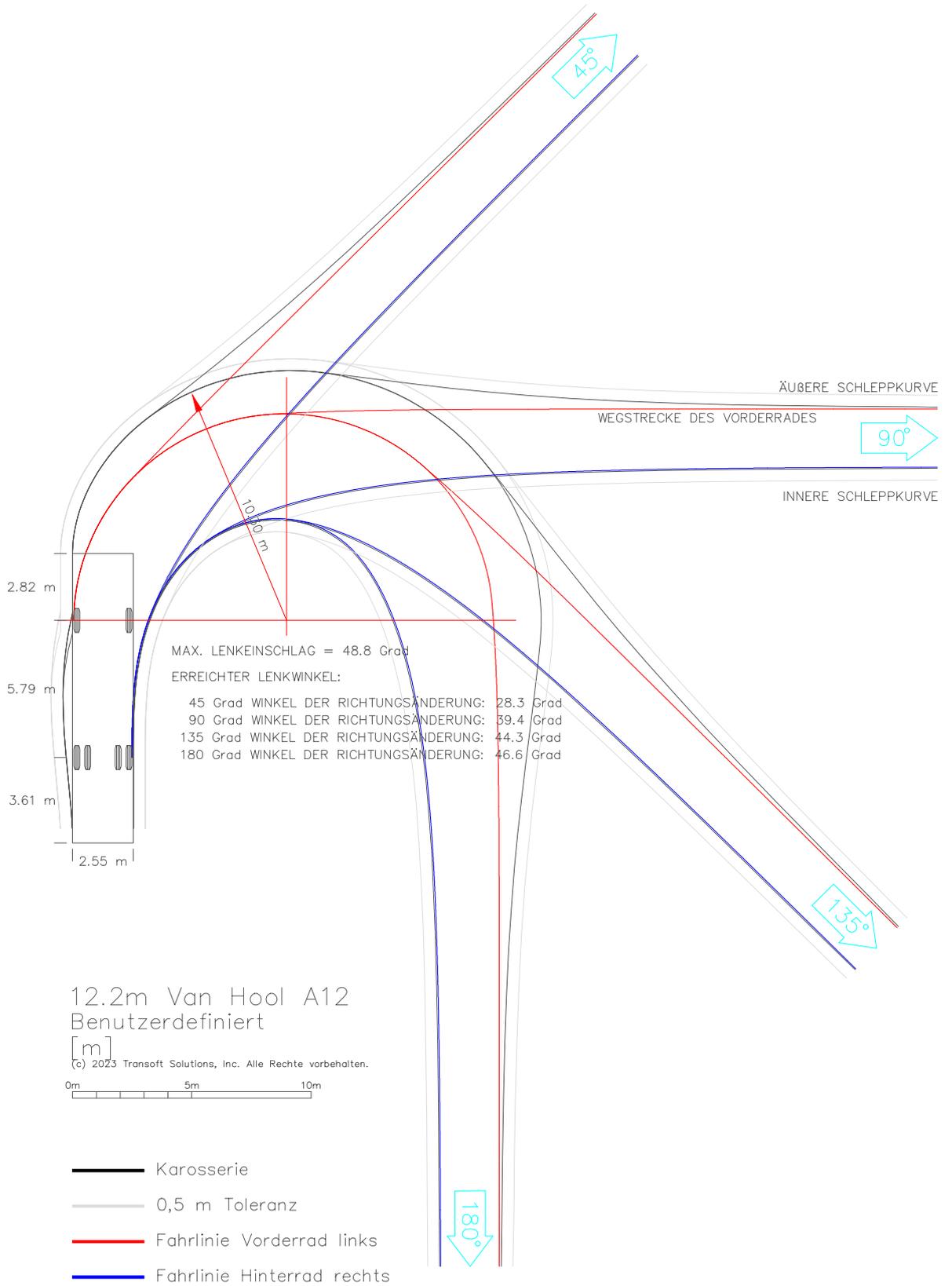
Auftraggeber Technische Universität Dresden		Bearbeitet Henriette Strübing	
Projektpartner Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH			
Projekt DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis		Planinhalt Schleppkurvenschablone IVECO E-WAY	
		Datum: 11/2023	Maßstab: 1:250



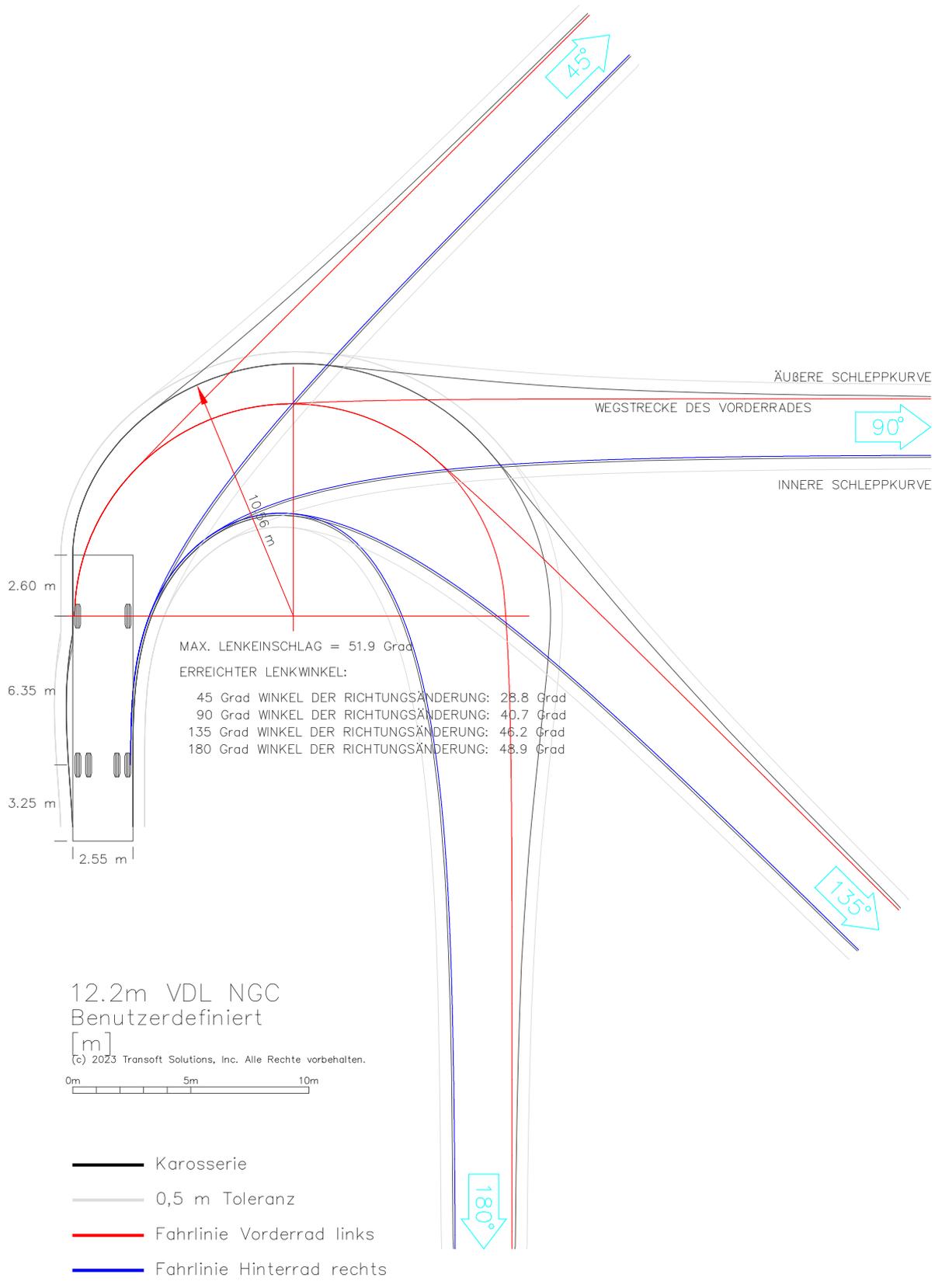
Auftraggeber	Technische Universität Dresden		Bearbeitet	Henriette Strübing	
Projektpartner	Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH				
Projekt	DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis		Planinhalt	Schleppkurvenschablone MAN Lion's City E	
			Datum:	11/2023	Maßstab: 1:250
					Anlage 2.5



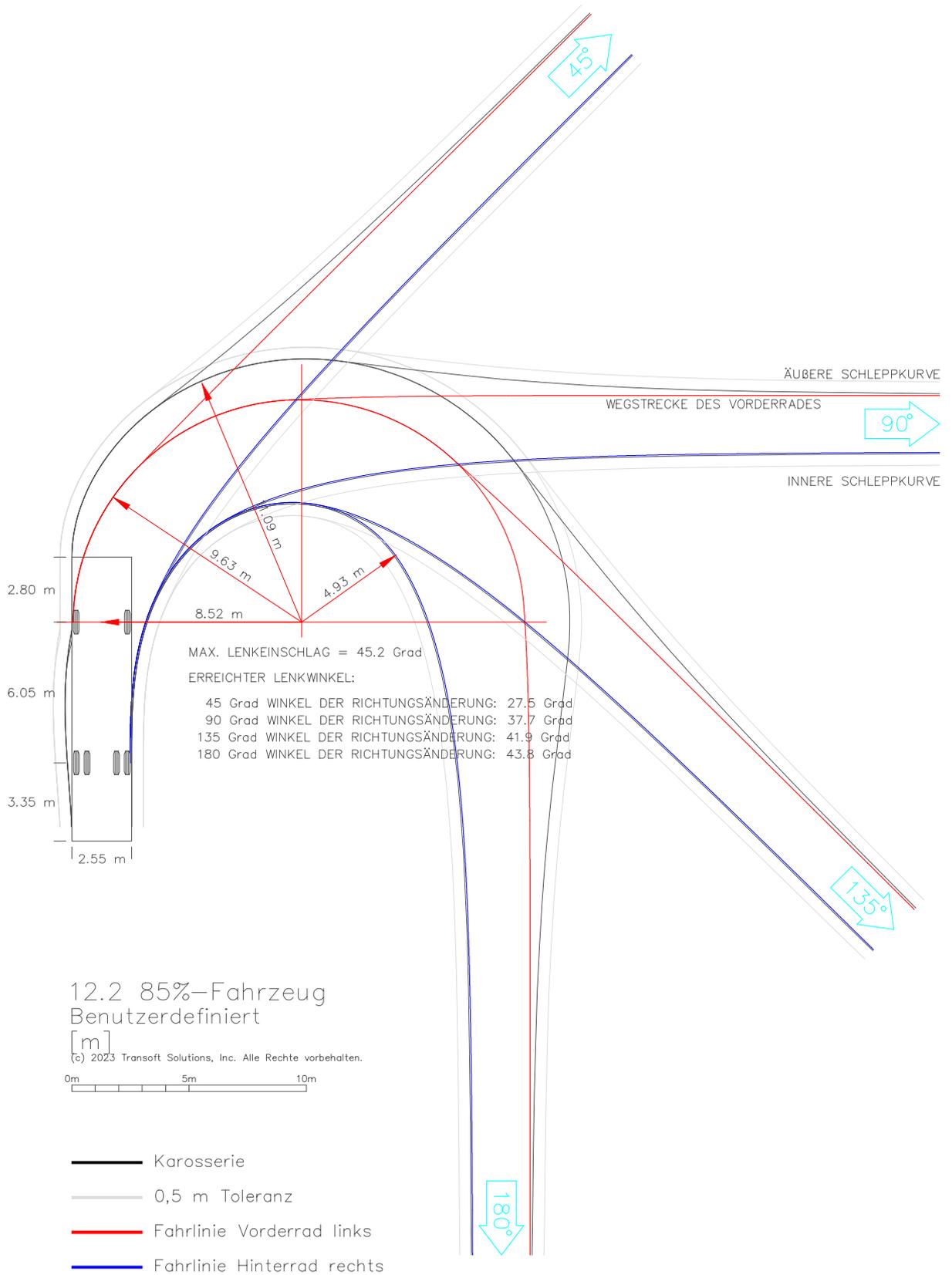
Auftraggeber Technische Universität Dresden		Bearbeitet Henriette Strübing	
Projektpartner Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH			
Projekt DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis		Planinhalt Schleppkurvenschablone MB eCitaro	
		Datum: 11/2023	Maßstab: 1:250



Auftraggeber	Technische Universität Dresden		Bearbeitet	Henriette Strübing	
Projektpartner	Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH				
Projekt	DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis		Planinhalt	Schleppkurvenschablone Van Hool A12-LF-FC Anlage 2.7	
	Datum:	11/2023	Maßstab:	1:250	

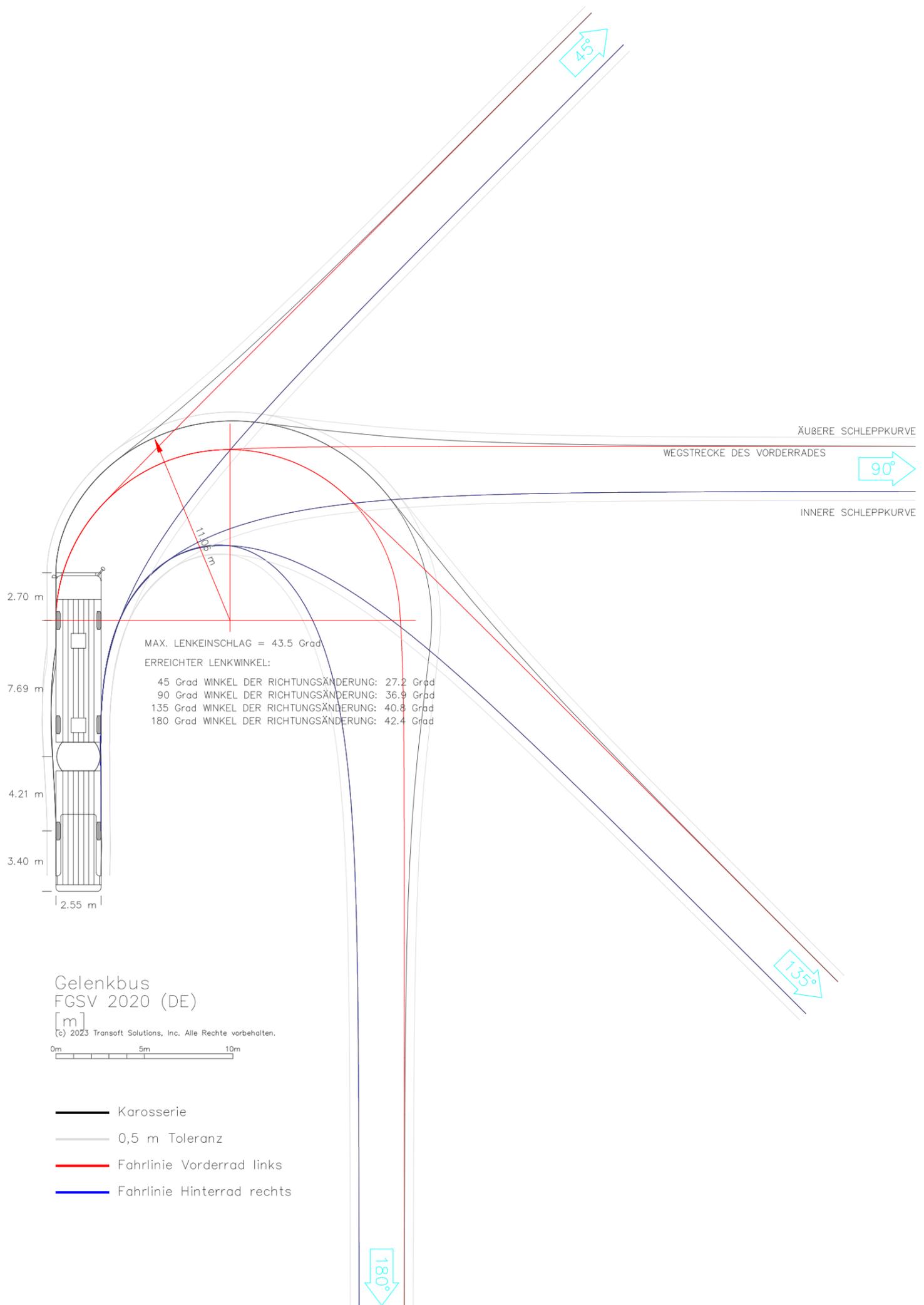


Auftraggeber	Technische Universität Dresden		Bearbeitet	Henriette Strübing	
Projektpartner	Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH				
Projekt	DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis		Planinhalt	Schleppkurvenschablone VDL NGC	
	Datum:	11/2023	Maßstab:	1:250	

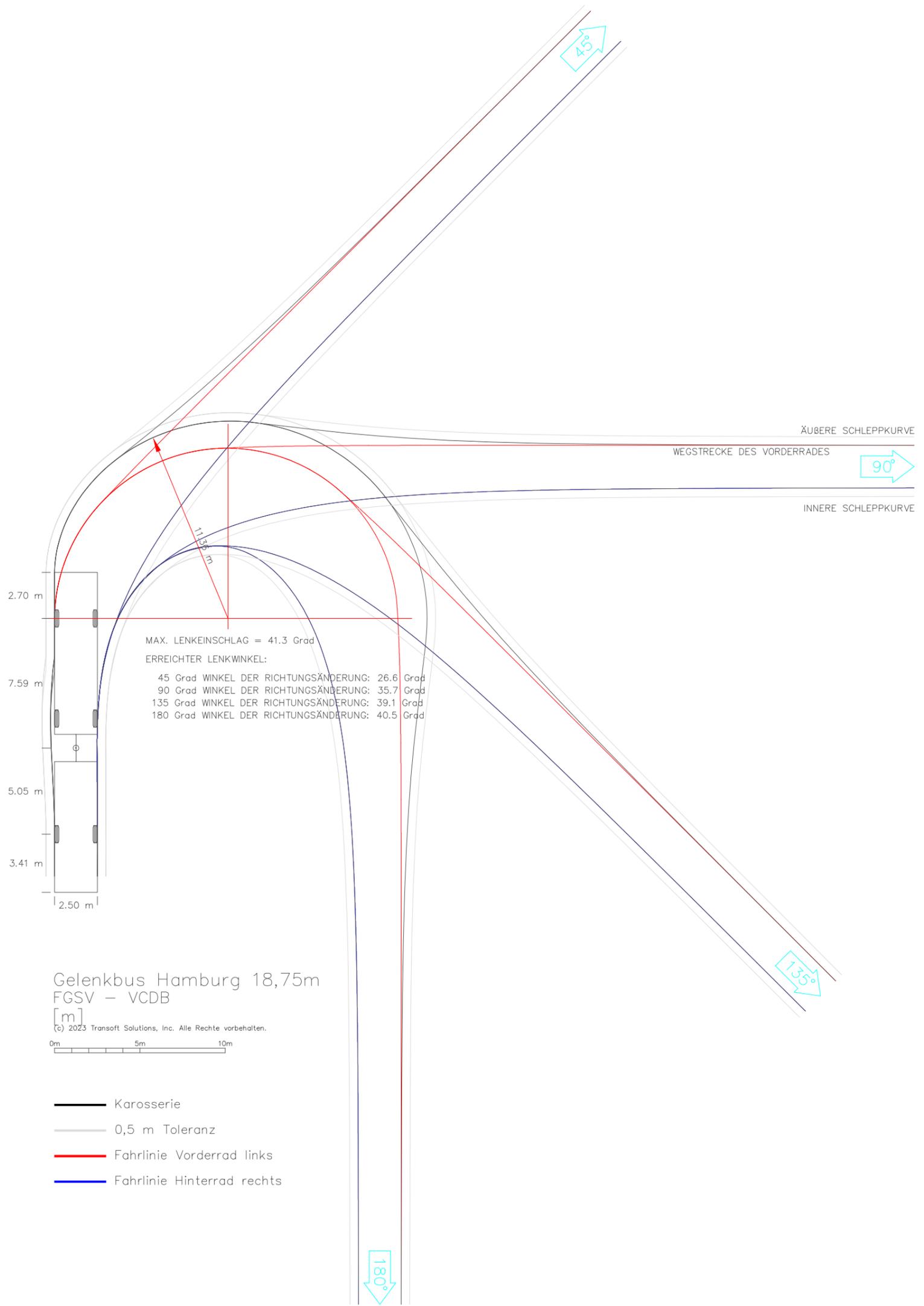


Auftraggeber Technische Universität Dresden		Bearbeitet Henriette Strübing	
Projektpartner Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH			
Projekt DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis		Planinhalt Schleppkurvenschablone 85%-Bemessungsfahrzeug	
		Datum: 11/2023	Maßstab: 1:250

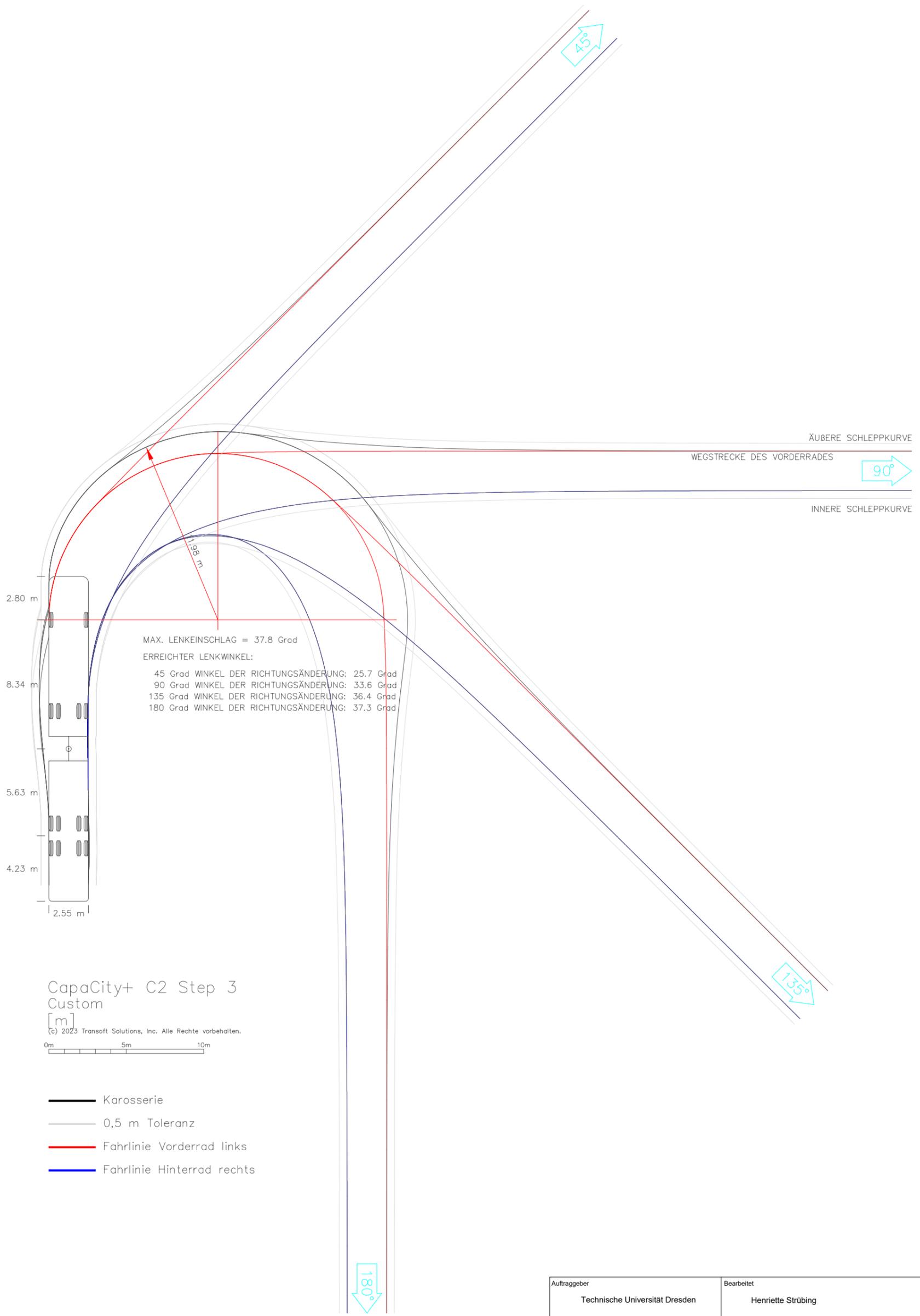
Anlage 2.9



Auftraggeber Technische Universität Dresden		Bearbeitet Henriette Strübing	
Projektpartner Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH			
Projekt DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis		Planinhalt Schleppkurvenschablone FGSV Gelenkbus Datum: 11/2023 Maßstab: 1:250	
		Anlage 2.10	



Auftraggeber Technische Universität Dresden	Bearbeitet Henriette Strübing
Projektpartner Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH	
Projekt DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis	Planinhalt Schleppkurvenschablone Gelenkbus 18.75 m Datum: 11/2023 Maßstab: 1:250
Anlage 2.11	



CapaCity+ C2 Step 3
Custom

[m]
(c) 2023 Transoft Solutions, Inc. Alle Rechte vorbehalten.



- Karosserie
- 0,5 m Toleranz
- Fahrlinie Vorderrad links
- Fahrlinie Hinterrad rechts

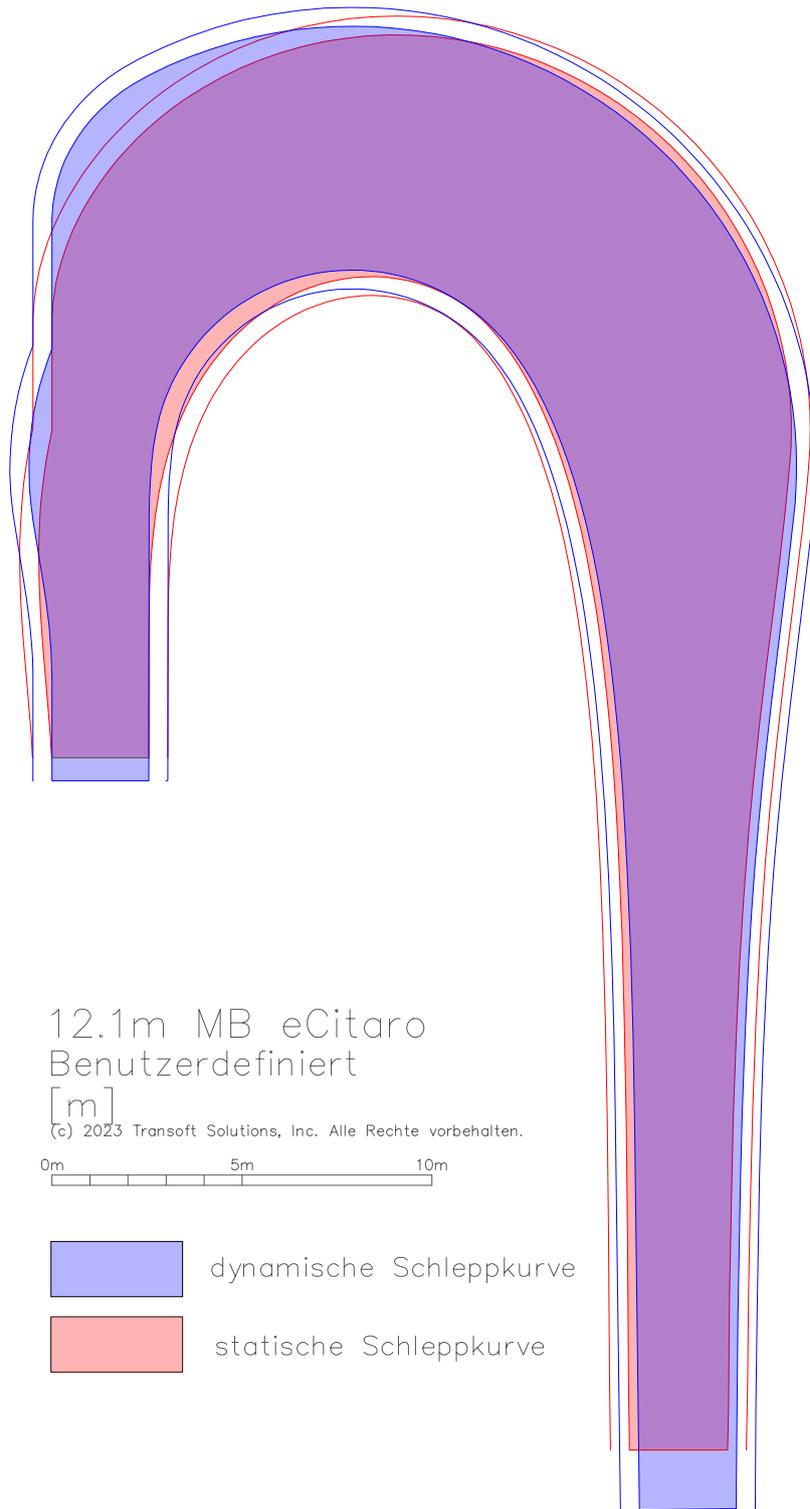
Auftraggeber Technische Universität Dresden	Bearbeitet Henriette Strübing
Projektpartner Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH	
Projekt DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis	Planinhalt Schleppkurvenschablone MB CapaCity L Datum: 11/2023 Maßstab: 1:250
Anlage 2.12	

ANLAGE 3

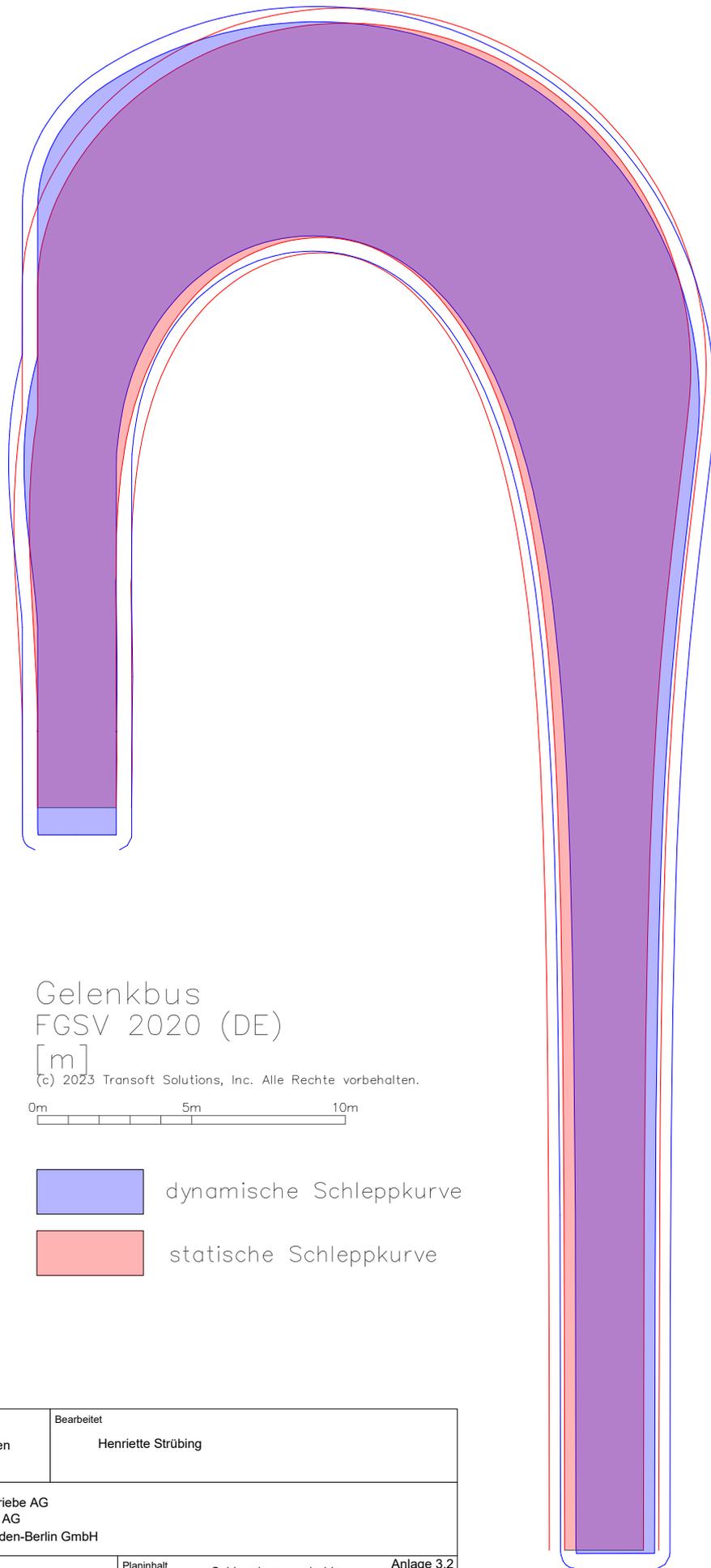
AutoTURN Schleppkurvenschablonen

Vergleich statisch – dynamisch

4 Pläne A4



Auftraggeber Technische Universität Dresden		Bearbeitet Henriette Strübing	
Projektpartner Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH			
Projekt DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis		Planinhalt Schleppkurvenschablone Vergleich statisch / dynamisch MB eCitaro_Vergleich	
		Datum: 11/2023	Maßstab: 1:250
		Anlage 3.1	



Gelenkbus FGSV 2020 (DE)

[m]

(c) 2023 Transoft Solutions, Inc. Alle Rechte vorbehalten.

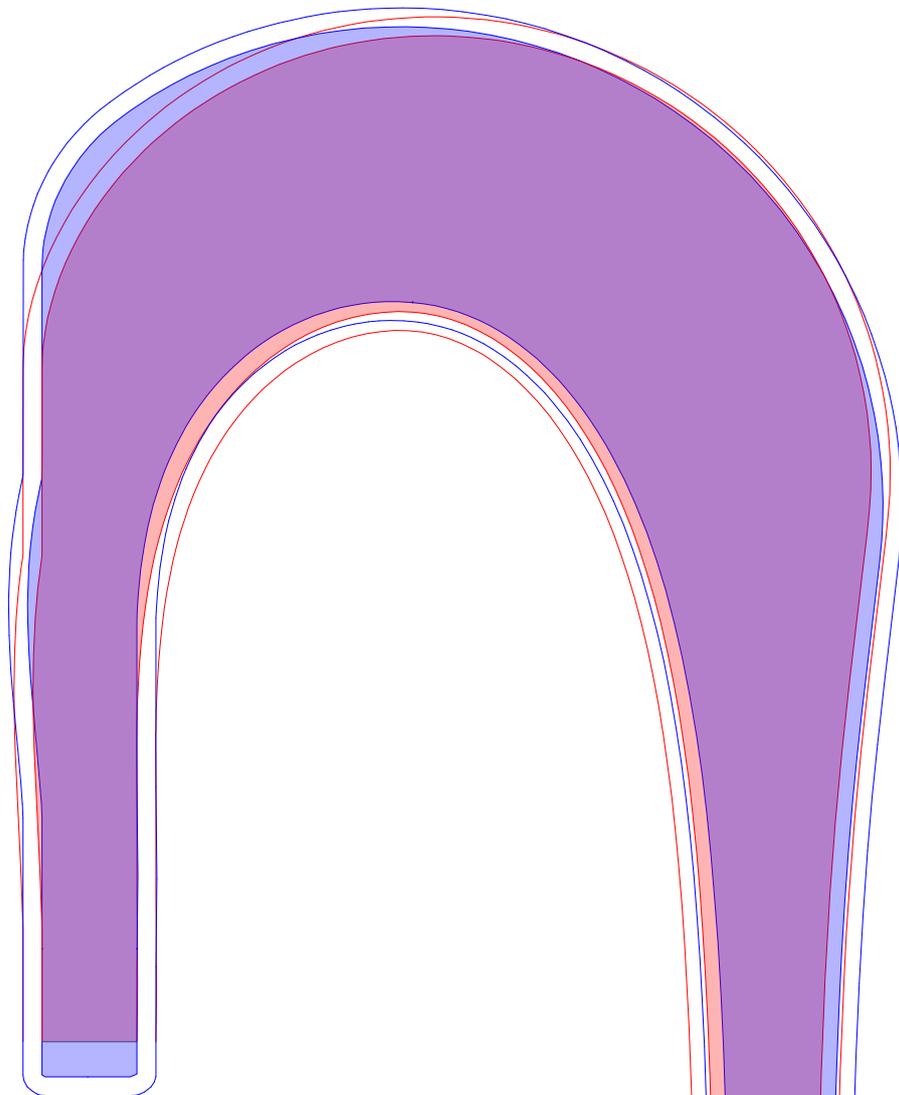


dynamische Schleppkurve



statische Schleppkurve

Auftraggeber Technische Universität Dresden		Bearbeitet Henriette Strübing	
Projektpartner Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH			
Projekt DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis		Planinhalt Schleppkurvenschablone Vergleich statisch / dynamisch Gelenkbus FGSV_Vergleich	
		Datum: 11/2023	Maßstab: 1:250
		Anlage 3.2	



Gelenkbus Hamburg 18,75m FGSV – VCDB

[m]

(c) 2023 Transoft Solutions, Inc. Alle Rechte vorbehalten.

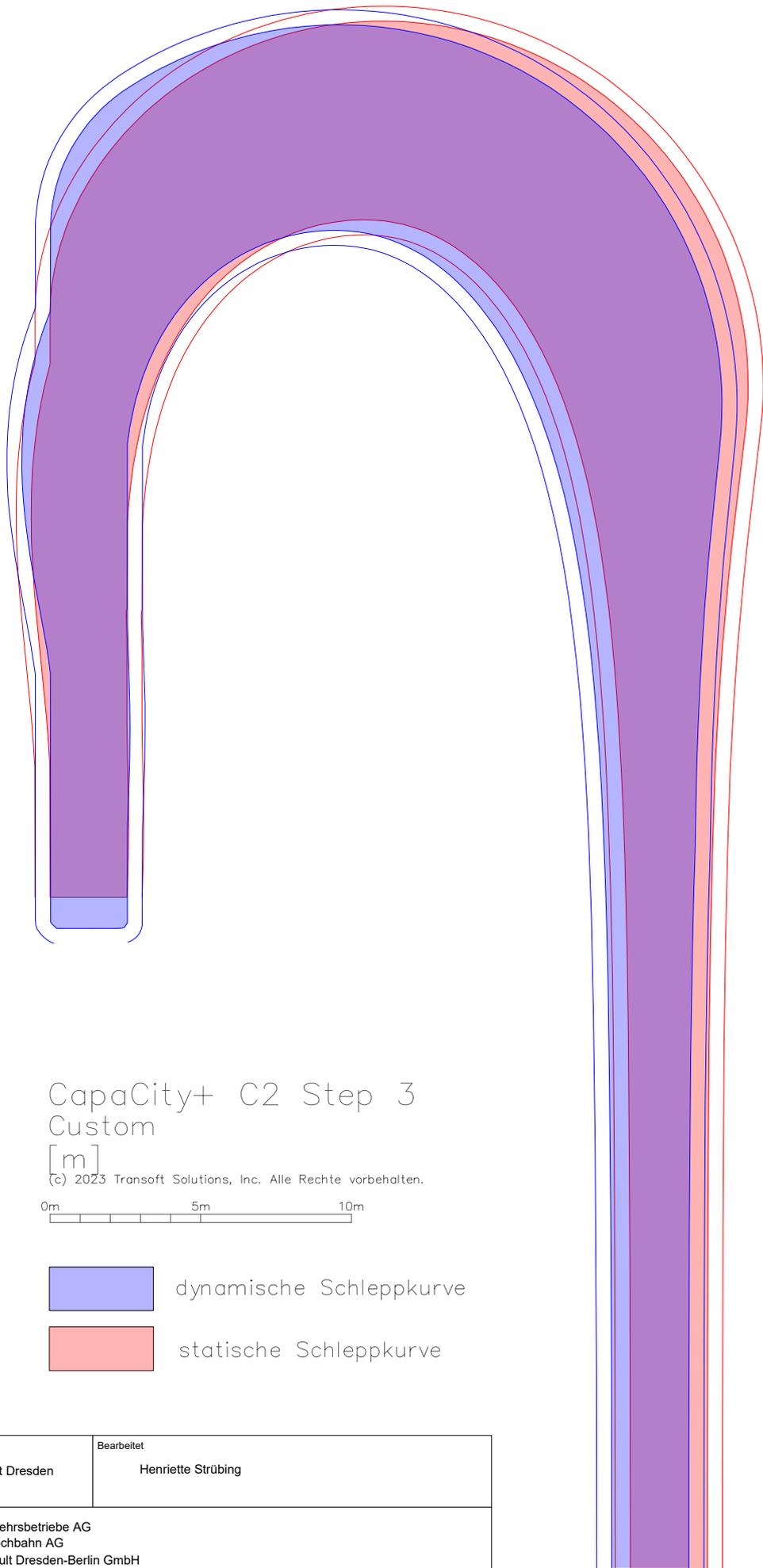


dynamische Schleppkurve



statische Schleppkurve

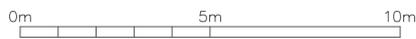
Auftraggeber Technische Universität Dresden		Bearbeitet Henriette Strübing	
Projektpartner Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH			
Projekt DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis		Planinhalt Schleppkurvenschablone Vergleich statisch / dynamisch Gelenkbus 18.75 m_Vergleich Anlage 3.3	
		Datum: 11/2023	Maßstab: 1:250



CapaCity+ C2 Step 3 Custom

[m]

(c) 2023 Transoft Solutions, Inc. Alle Rechte vorbehalten.



dynamische Schleppkurve



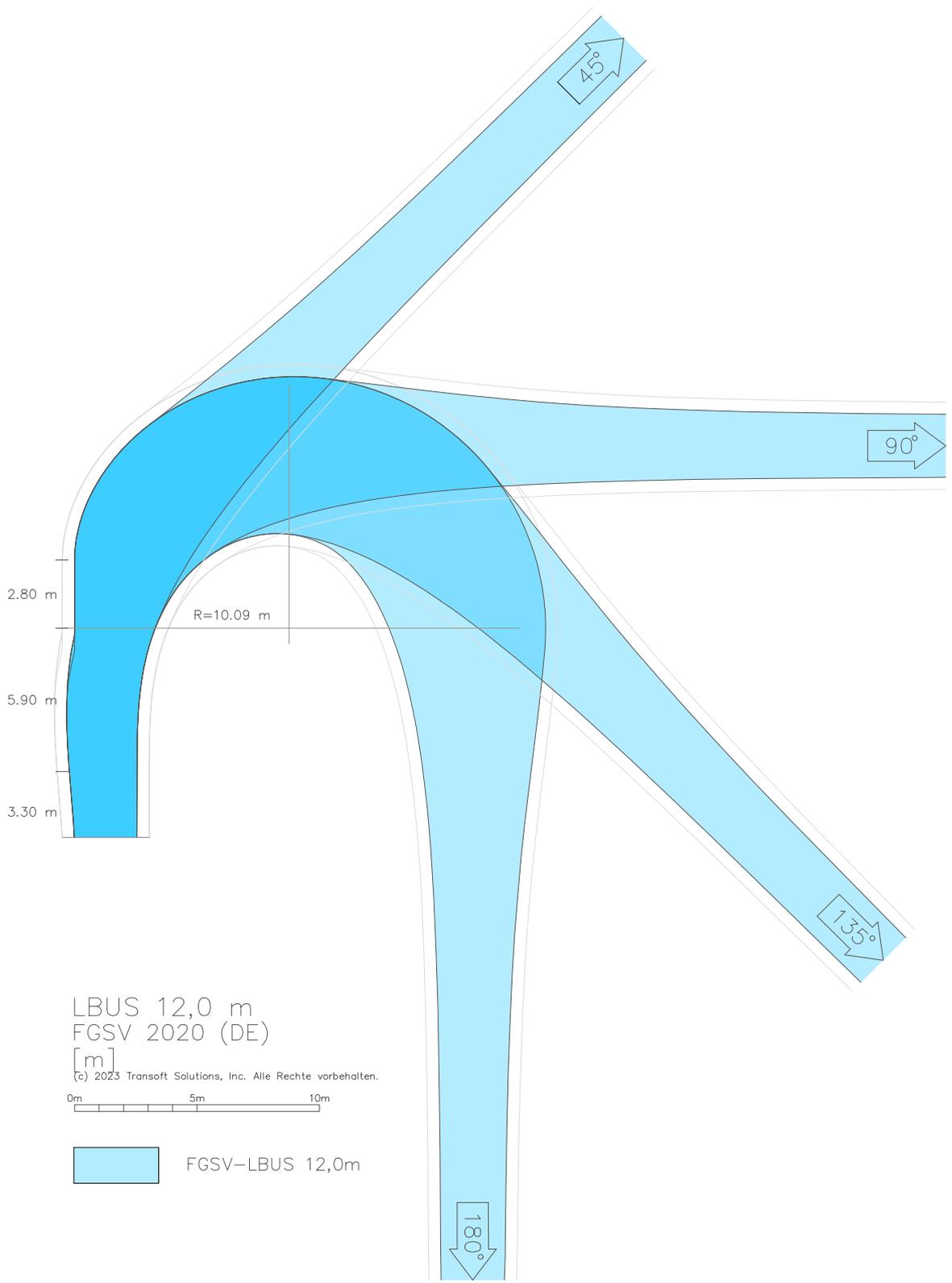
statische Schleppkurve

Auftraggeber Technische Universität Dresden	Bearbeitet Henriette Strübing
Projektpartner Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH	
Projekt DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis	Planinhalt Schleppkurvenschablone Vergleich statisch / dynamisch MB CapaCity L_Vergleich Anlage 3.4 Datum: 11/2023 Maßstab: 1:250

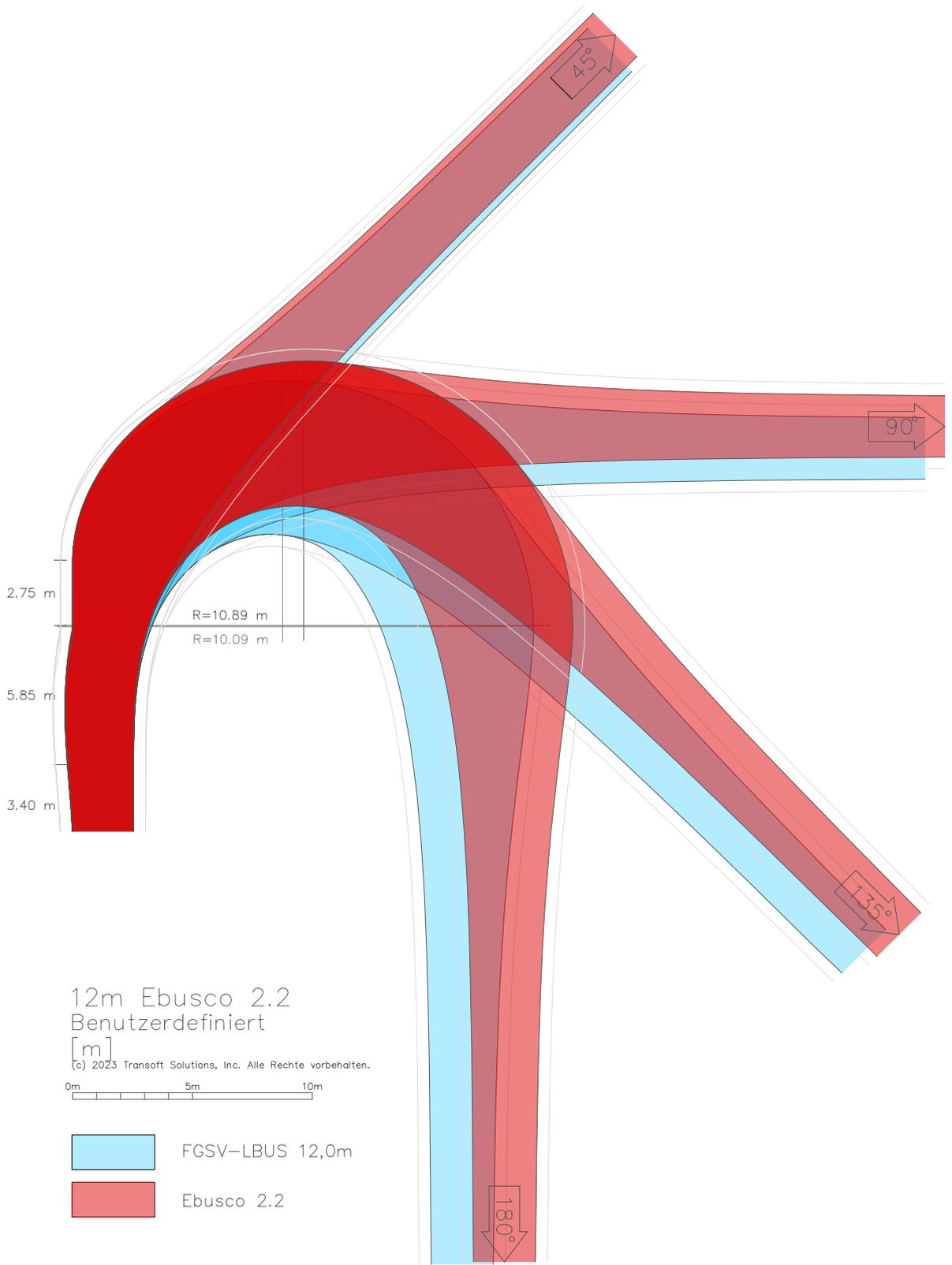
ANLAGE 4

AutoTURN Vergleich der Schleppkurvenschablone

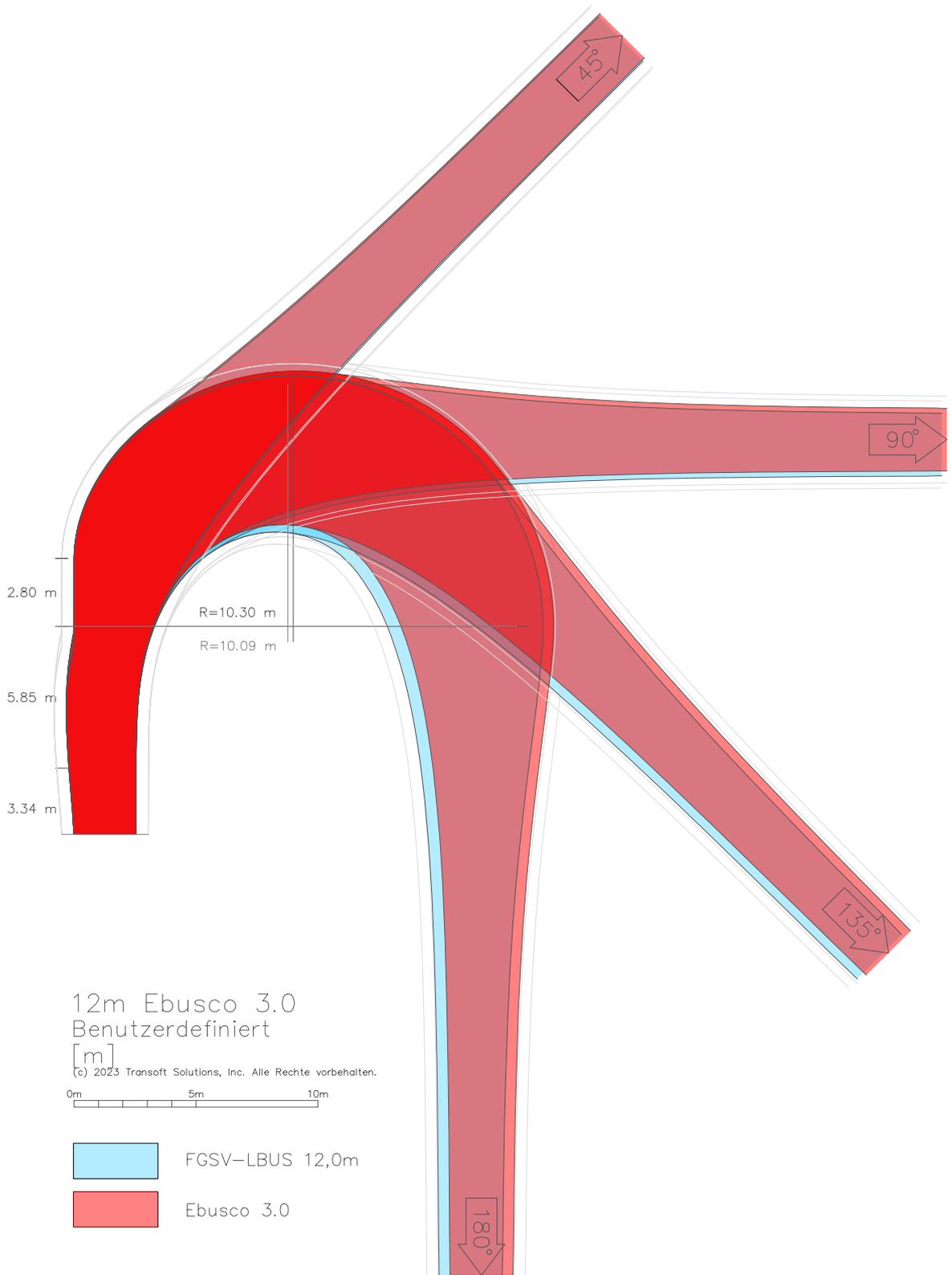
12 Pläne 9x A4, 3x A3



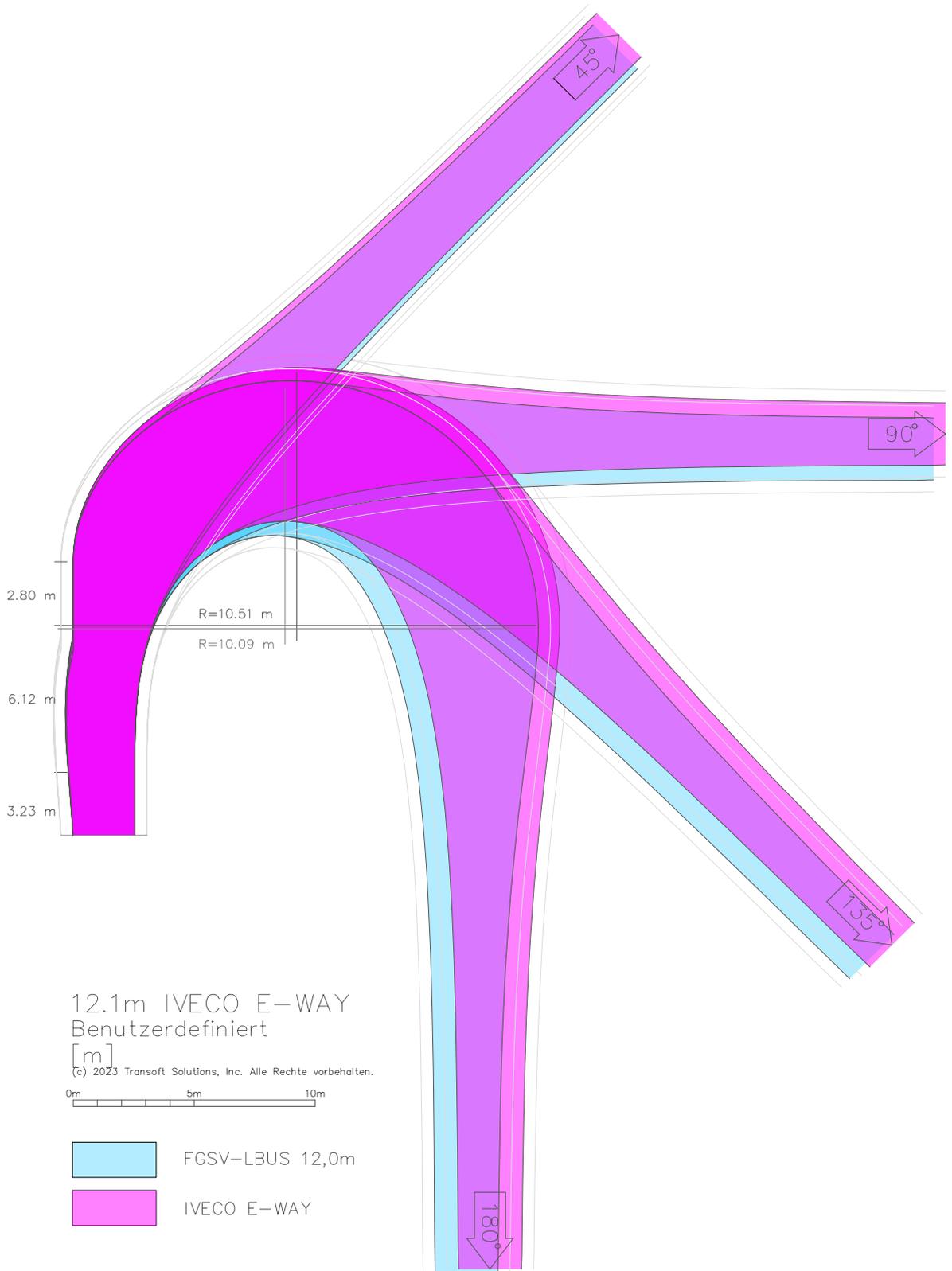
Auftraggeber	Technische Universität Dresden		Bearbeitet	Henriette Strübing	
Projektpartner	Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH				
Projekt	DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis		Planinhalt	Schleppkurvenschablone FGSV LBUS 12m	
			Datum:	11/2023	Maßstab:
					1:250



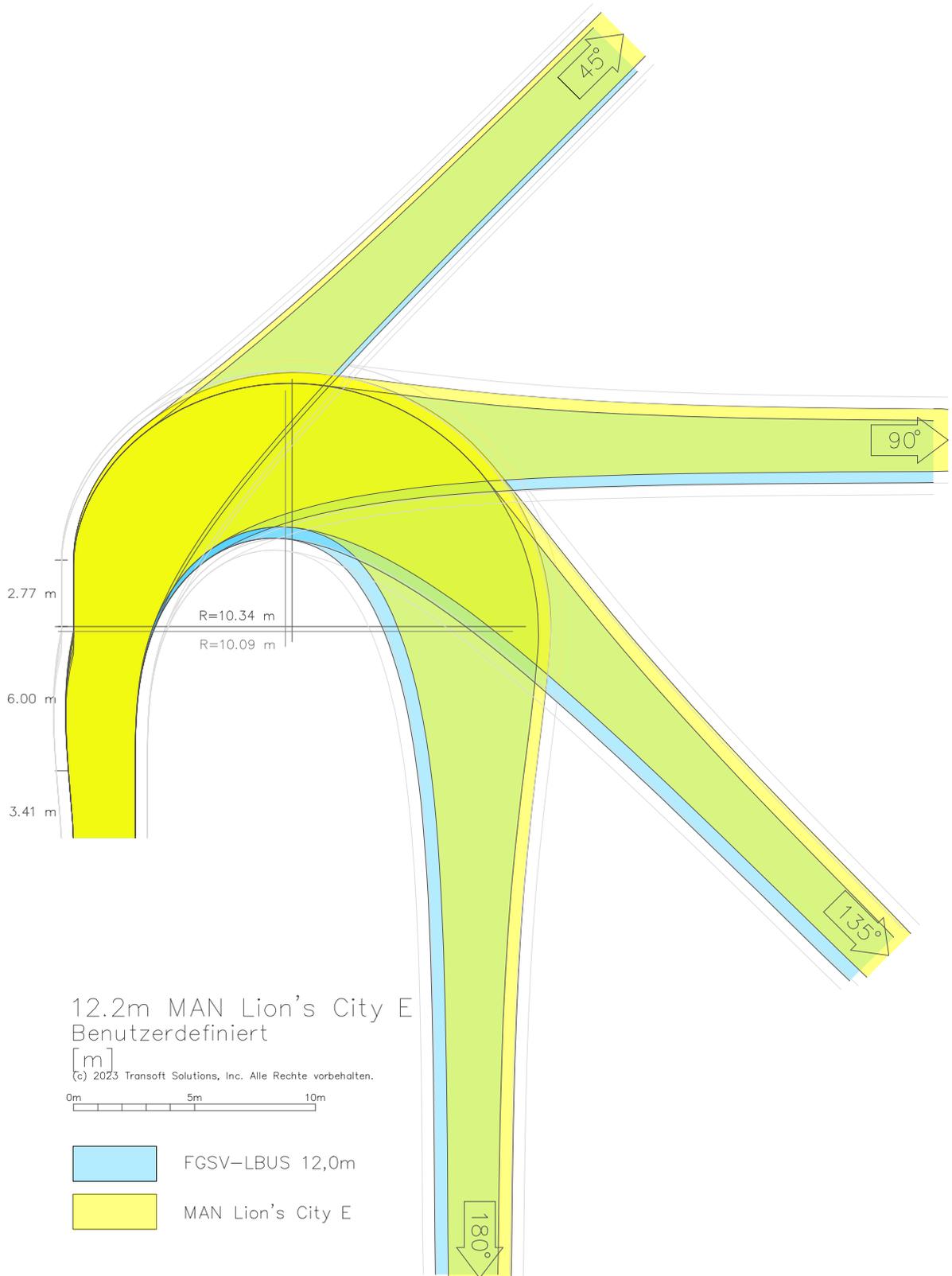
Auftraggeber	Technische Universität Dresden		Bearbeitet	Henriette Strübing	
Projektpartner	Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH				
Projekt	DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis		Planinhalt	Schleppkurvenschablone Vergleich mit FGSV-Referenz Ebusco 2.2 Anlage 4.2	
	Datum:	11/2023	Maßstab:	1:250	



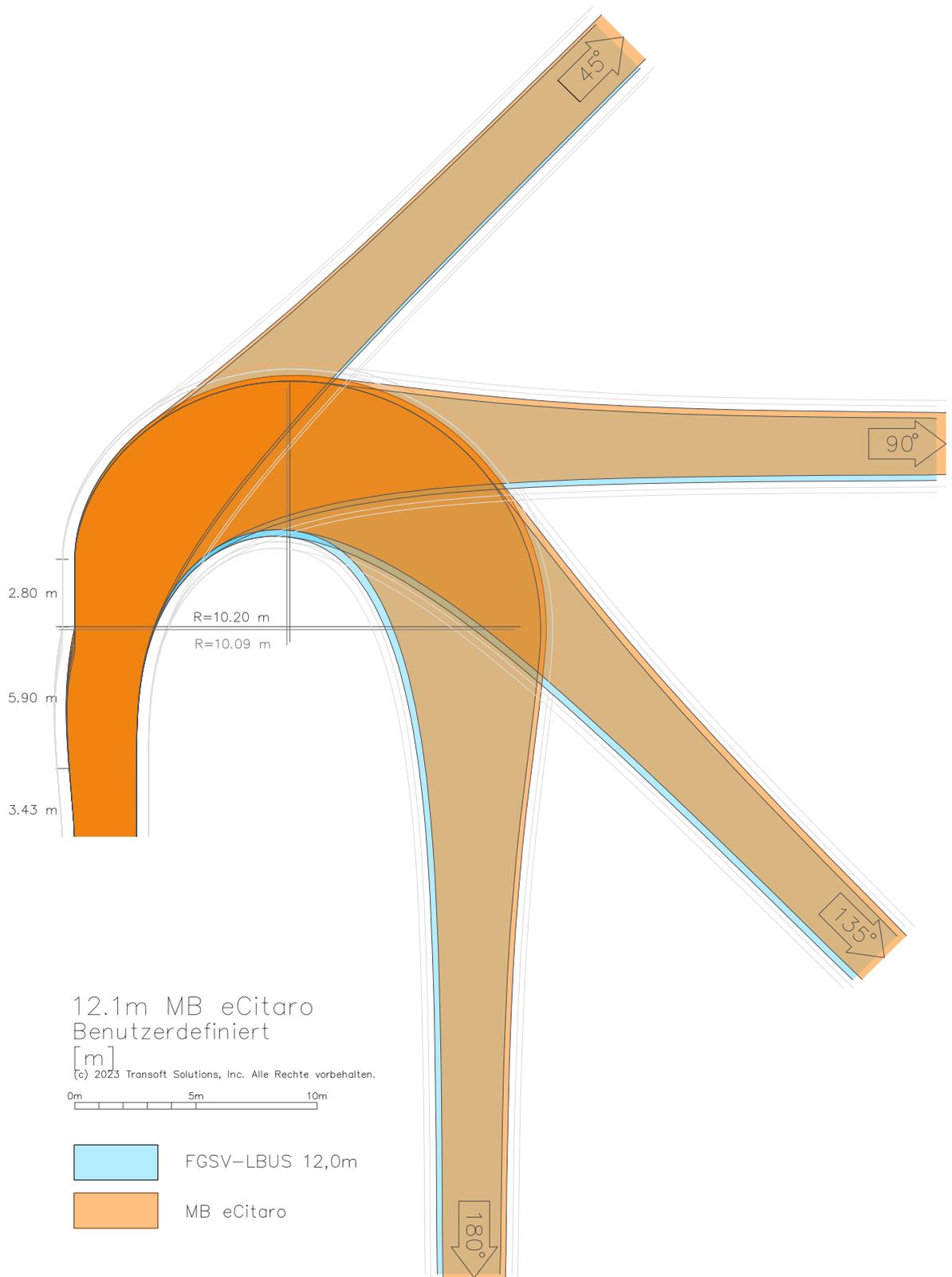
Auftraggeber	Technische Universität Dresden		Bearbeitet	Henriette Strübing	
Projektpartner	Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH				
Projekt	DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis		Planinhalt	Schleppkurvenschablone Vergleich mit FGSV-Referenz Ebusco 3.0	
			Datum:	11/2023	Maßstab:
					1:250



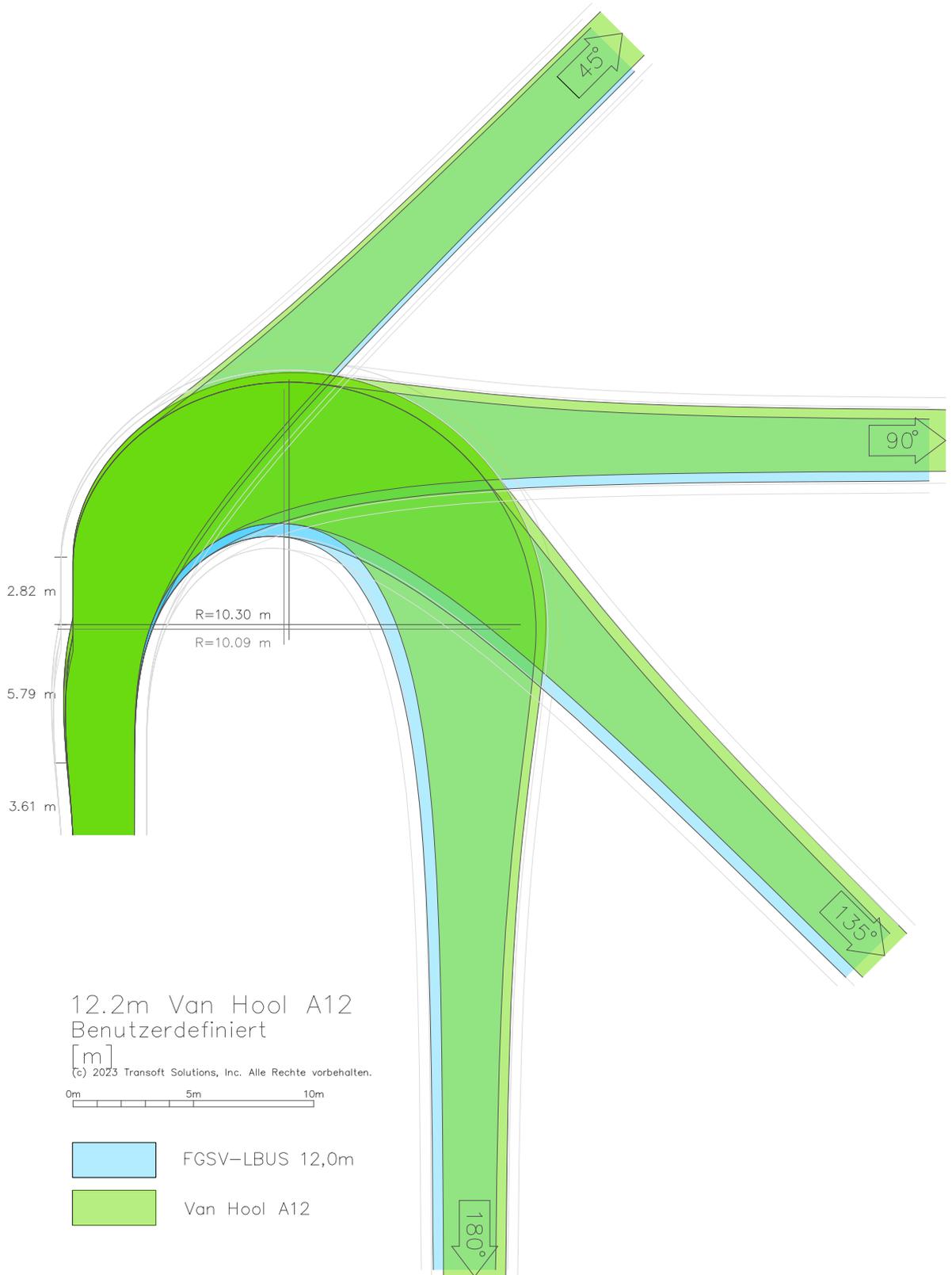
Auftraggeber	Technische Universität Dresden		Bearbeitet	Henriette Strübing	
Projektpartner	Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH				
Projekt	DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis		Planinhalt	Anlage 4.4 Schleppkurvenschablone IVECO E-WAY	
			Datum:	11/2023	Maßstab: 1:250



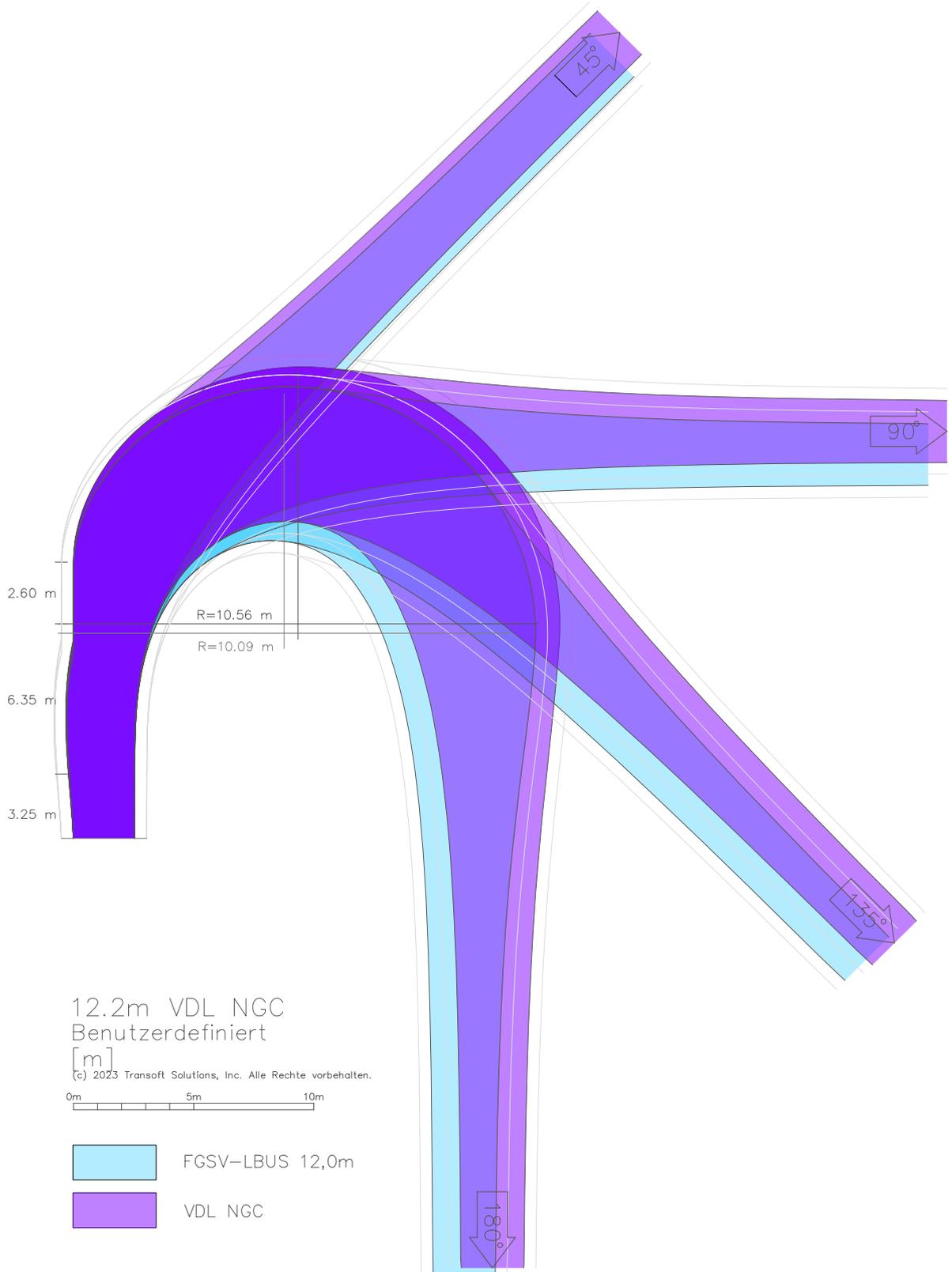
Auftraggeber	Technische Universität Dresden		Bearbeitet	Henriette Strübing	
Projektpartner	Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH				
Projekt	DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis		Planinhalt	Schleppkurvenschablone Vergleich mit FGSV-Referenz MAN Lion's City E	
			Datum:	11/2023	Maßstab:
			1:250		



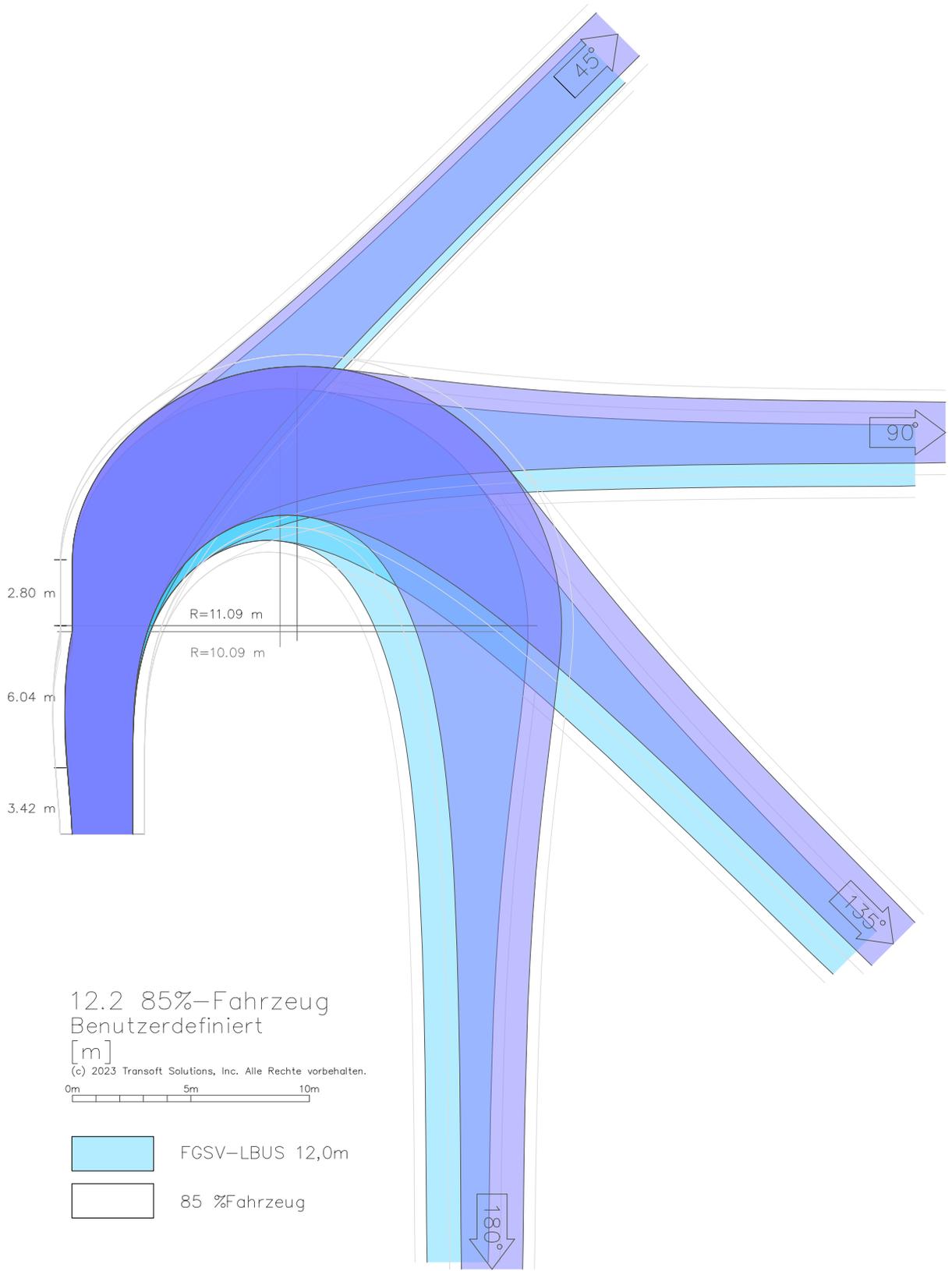
Auftraggeber	Technische Universität Dresden		Bearbeitet	Henriette Strübing	
Projektpartner	Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH				
Projekt	DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis		Planinhalt	Schleppkurvenschablone Vergleich mit FGSV-Referenz MB eCitaro	
			Datum:	11/2023	Maßstab: 1:250



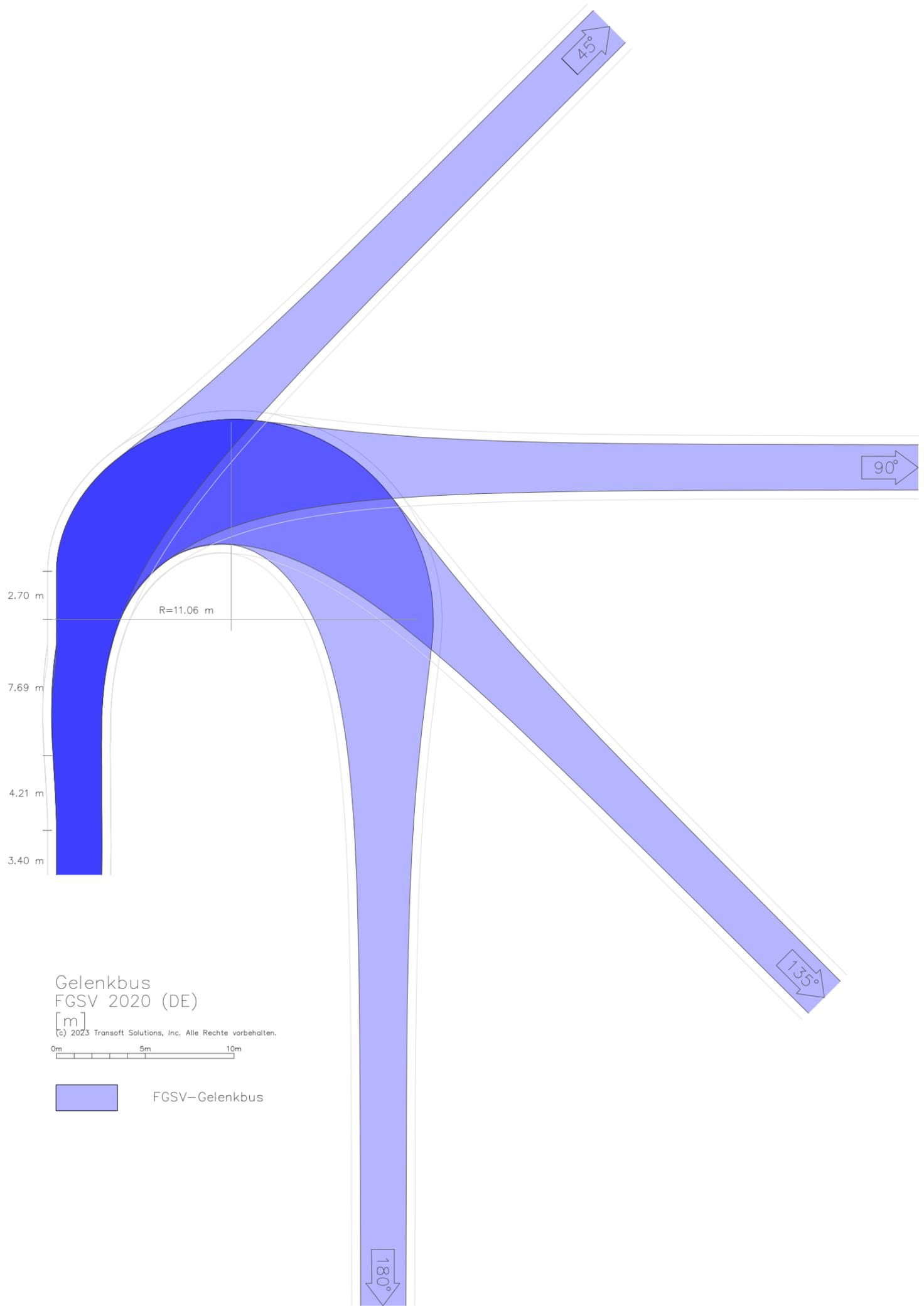
Auftraggeber	Technische Universität Dresden		Bearbeitet	Henriette Strübing	
Projektpartner	Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH				
Projekt	DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis		Planinhalt	Schleppkurvenschablone Vergleich mit FGSV-Referenz Van Hool A12-LF-FC	
			Datum:	11/2023	Maßstab: 1:250



Auftraggeber	Technische Universität Dresden		Bearbeitet	Henriette Strübing	
Projektpartner	Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH				
Projekt	DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis		Planinhalt	Schleppkurvenschablone Vergleich mit FGSV-Referenz VDL NGC	
			Datum:	11/2023	Maßstab: 1:250



Auftraggeber	Technische Universität Dresden		Bearbeitet	Henriette Strübing	
Projektpartner	Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH				
Projekt	DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis		Planinhalt	Schleppkurvenschablone Vergleich mit FGSV-Referenz 85%-Bemessungsfahrzeug	
			Datum:	11/2023	Maßstab: 1:250
				Anlage 4.9	

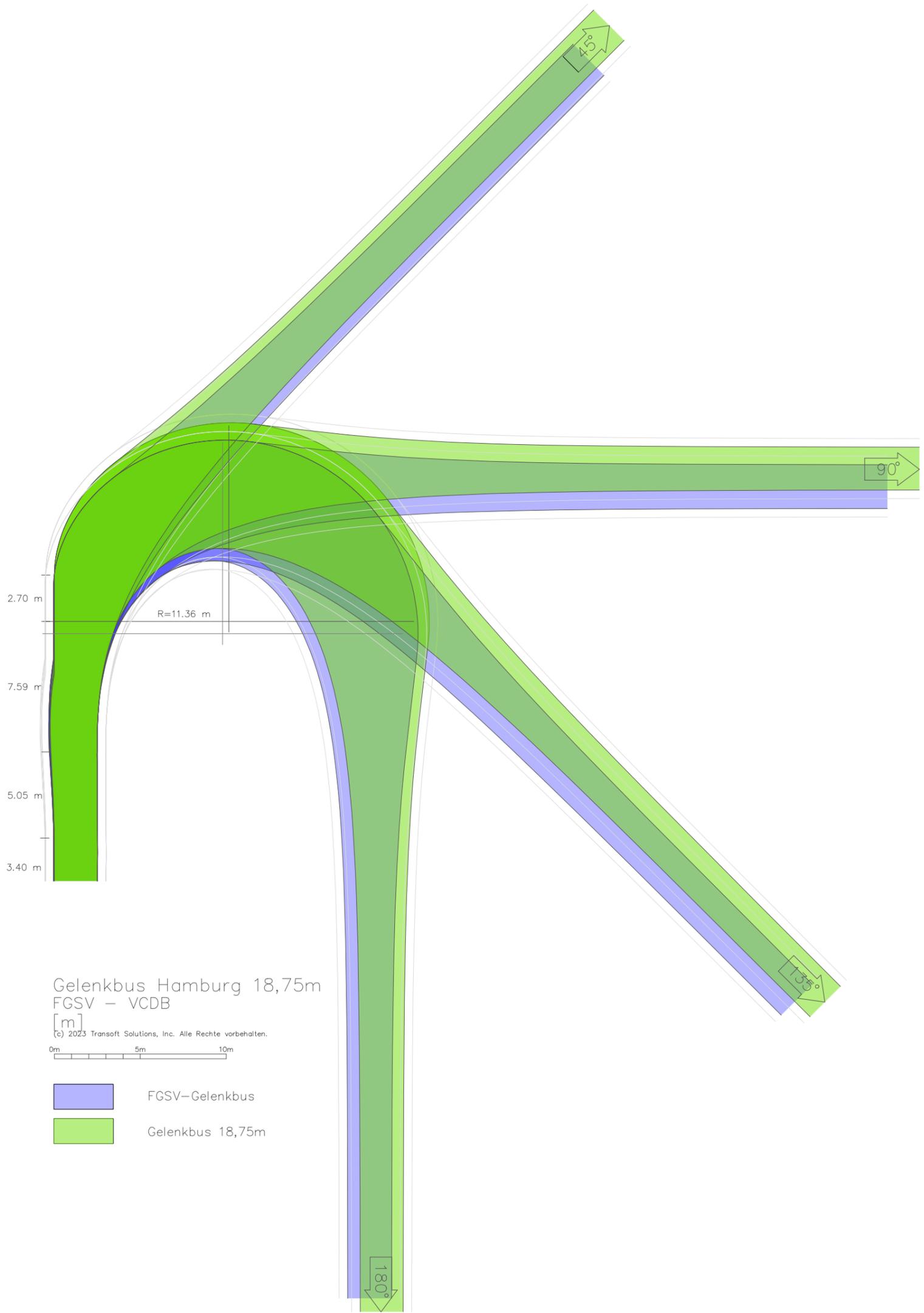


Gelenkbus
 FGSV 2020 (DE)
 [m]
 © 2023 Transoft Solutions, Inc. Alle Rechte vorbehalten.

0m 5m 10m

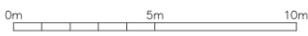
FGSV-Gelenkbus

Auftraggeber Technische Universität Dresden		Bearbeitet Henriette Strübing	
Projektpartner Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH			
Projekt DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis		Planinhalt Schleppkurvenschablone FGSV GBUS	
		Datum: 11/2023	Maßstab: 1:250
		Anlage 4.10	



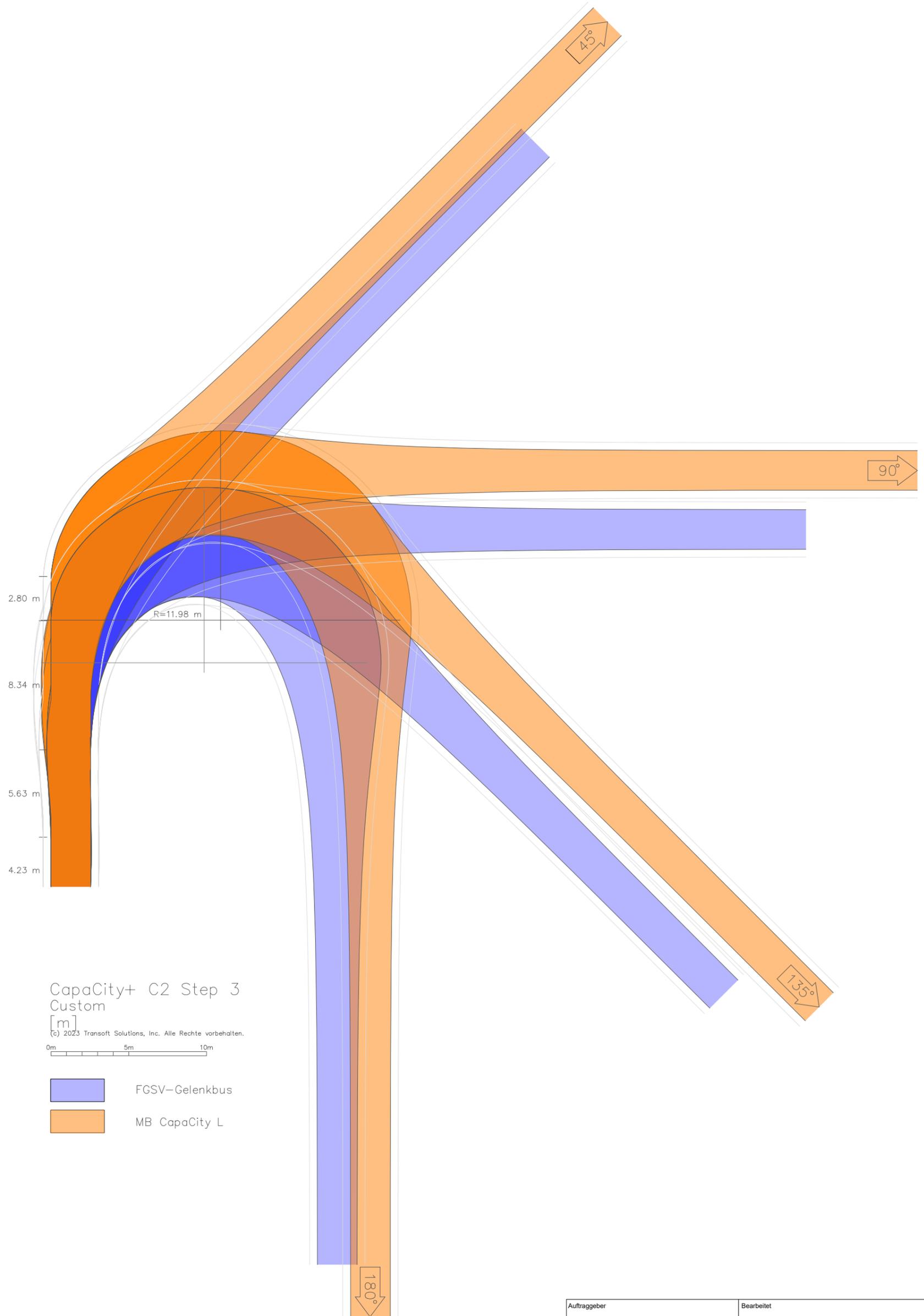
Gelenkbus Hamburg 18,75m
FGSV – VCDB

[m]
(c) 2023 Transoft Solutions, Inc. Alle Rechte vorbehalten.



- FGSV-Gelenkbus
- Gelenkbus 18,75m

Auftraggeber Technische Universität Dresden		Bearbeitet Henriette Strübing	
Projektpartner Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH			
Projekt DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis		Planinhalt Schleppkurvenschablone Vergleich mit FGSV-Referenz 18.75m GBUS	Anlage 4.11
		Datum: 11/2023	Maßstab: 1:250

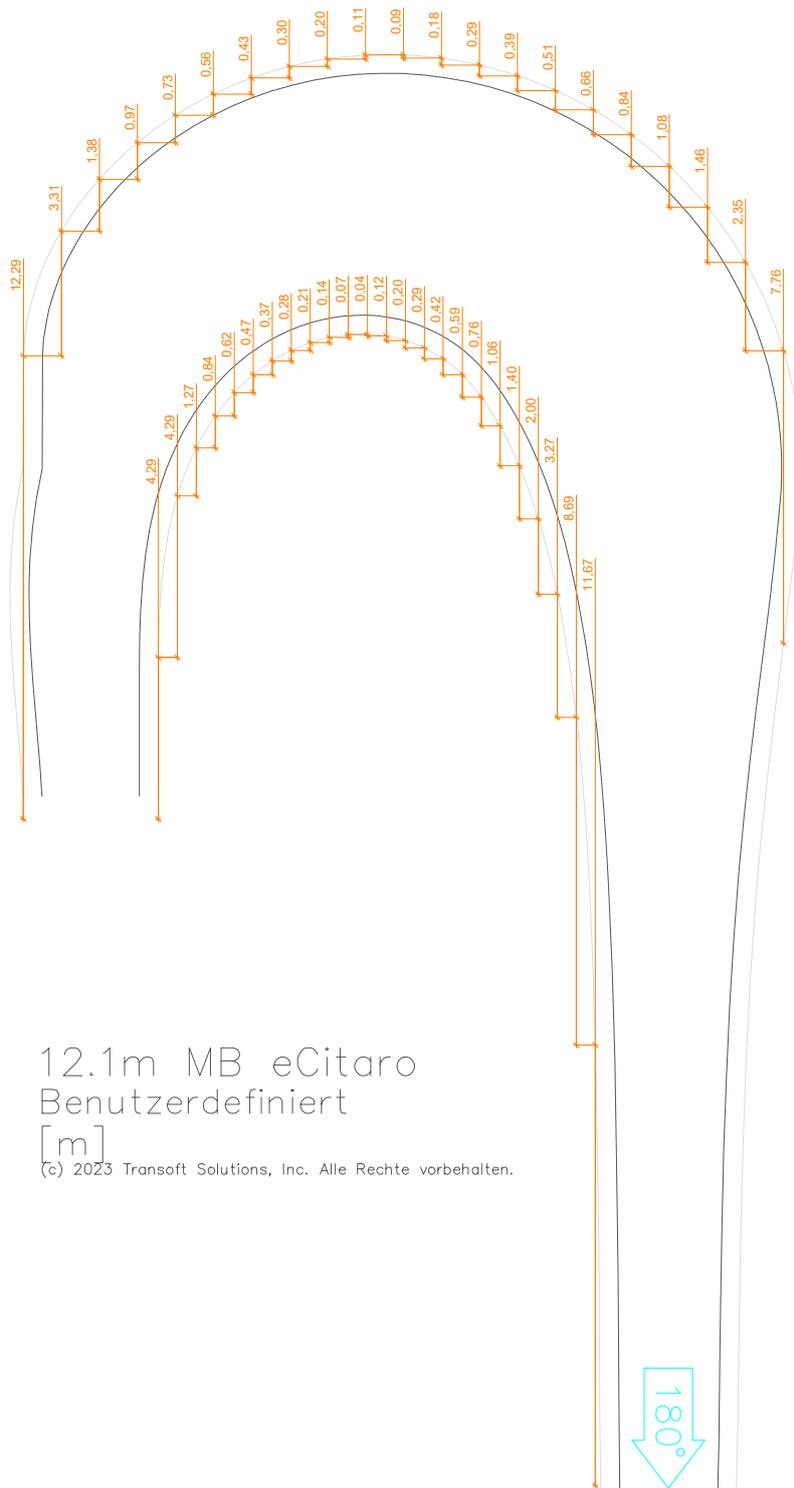


Auftraggeber Technische Universität Dresden	Bearbeitet Henriette Strübing
Projektpartner Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH	
Projekt DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis	Planinhalt Schleppkurvenschablone Vergleich mit FGSV-Referenz MB CapaCityL Datum: 11/2023 Maßstab: 1:250

ANLAGE 5

AutoTURN Messdatengrundlage Schleppkurvenschablone

4 Pläne A4



12.1m MB eCitaro
Benutzerdefiniert

[m]

(c) 2023 Transoft Solutions, Inc. Alle Rechte vorbehalten.



Auftraggeber Technische Universität Dresden	Bearbeitet Henriette Strübing
Projektpartner Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH	
Projekt DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis	Planinhalt Anlage 5.1 Messdatengrundlage Schleppkurvenschablone MB eCitaro Datum: 11/2023 Maßstab: 1:200



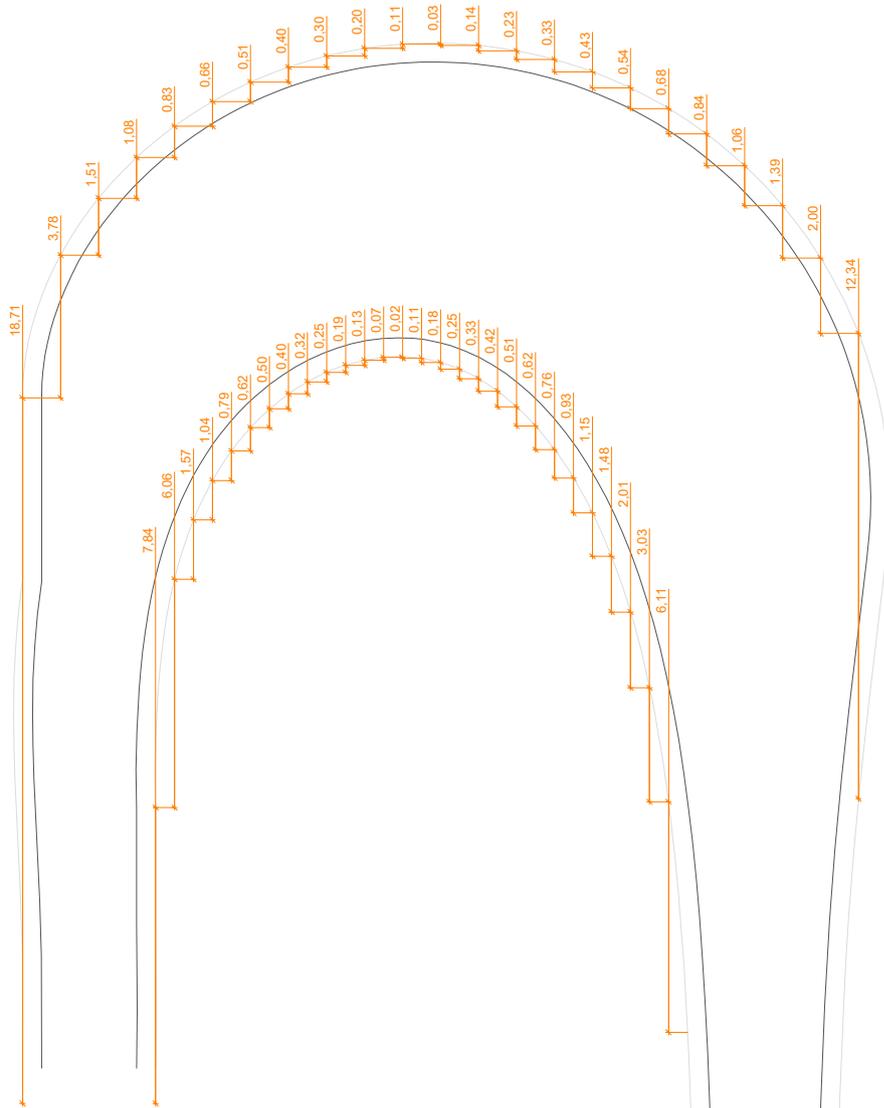
Gelenkbus
FGSV 2020 (DE)

[m]

(c) 2023 Transoft Solutions, Inc. Alle Rechte vorbehalten.

Auftraggeber Technische Universität Dresden		Bearbeitet Henriette Strübing	
Projektpartner Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH			
Projekt DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis		Planinhalt Anlage 5.2 Messdatengrundlage Schleppkurvenschablone Gelenkbus FGSV	
Datum: 11/2023		Maßstab: 1:200	





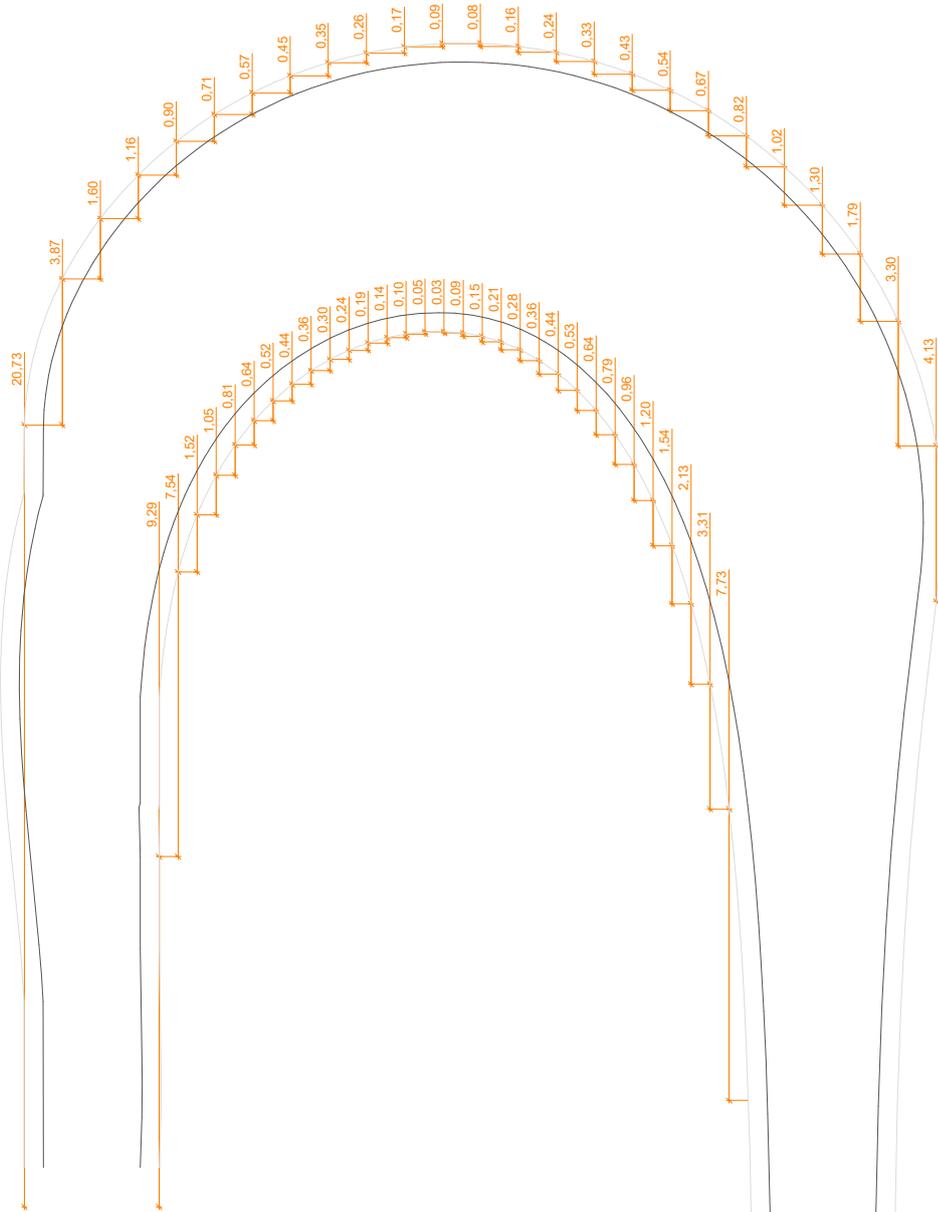
Gelenkbus Hamburg 18,75m
FGSV – VCDB

[m]

(c) 2023 Transoft Solutions, Inc. Alle Rechte vorbehalten.

Auftraggeber Technische Universität Dresden	Bearbeitet Henriette Strübing
Projektpartner Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH	
Projekt DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis	Planinhalt Anlage 5.3 Messdatengrundlage Schleppkurvenschablone Gelenkbus 18.75 m Datum: 11/2023 Maßstab: 1:200





CapaCity+ C2 Step 3 Custom

[m]
(c) 2023 Transoft Solutions, Inc. Alle Rechte vorbehalten.



Auftraggeber Technische Universität Dresden	Bearbeitet Henriette Strübing
Projektpartner Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH	
Projekt DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis	Planinhalt Anlage 5.4 Messdatengrundlage Schleppkurvenschablone MB CapaCity L Datum: 11/2023 Maßstab: 1:200

ANLAGE 6

AutoTURN Schleppkurvenschablonen

Überprüfung der Befahrung

5 Pläne A4



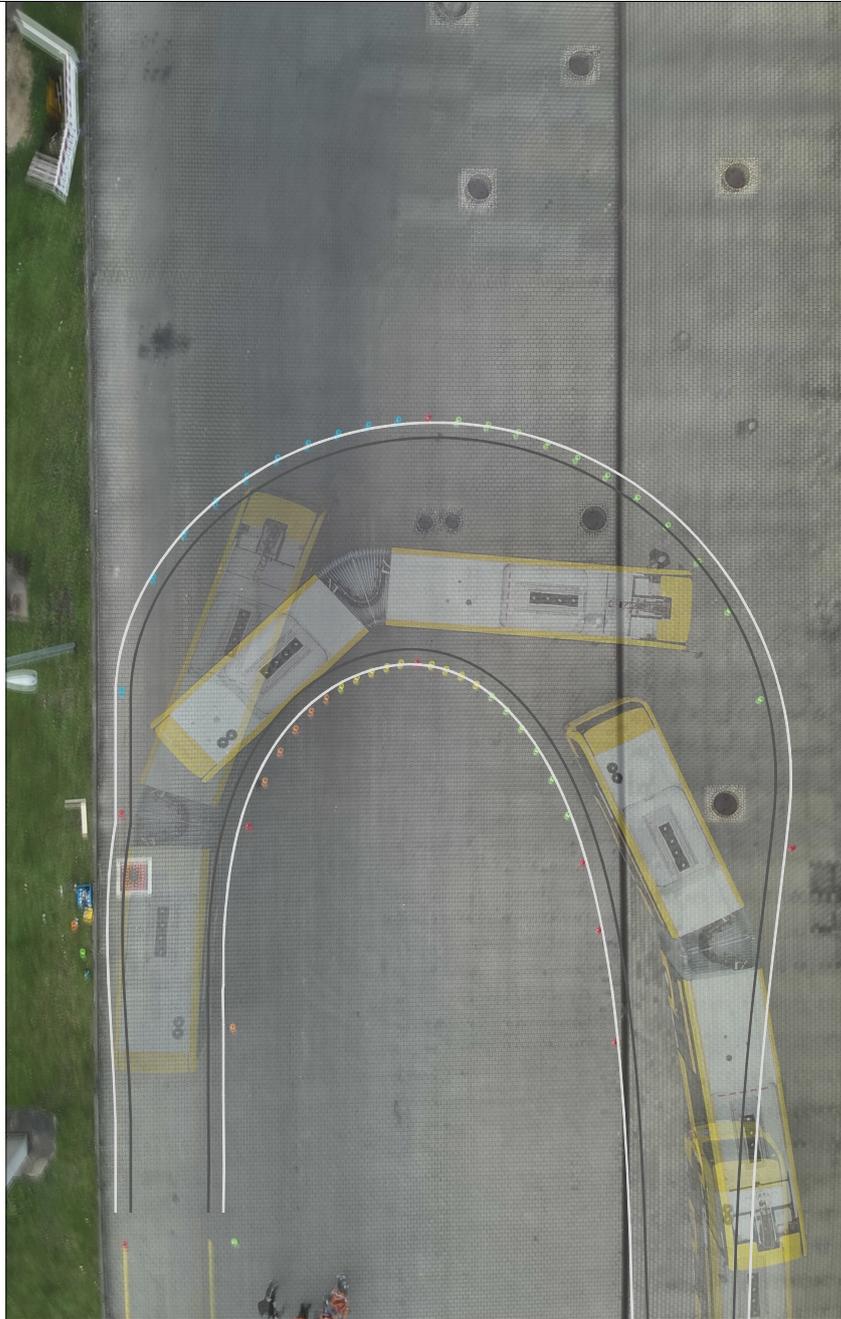
12.1m MB eCitaro
Benutzerdefiniert

[m]
(c) 2024 Transoft Solutions, Inc. Alle Rechte vorbehalten.

0m 5m 10m



Auftraggeber Technische Universität Dresden	Bearbeitet Henriette Strübing Paul Schmidt
Projektpartner Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH	
Projekt DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis	Planinhalt Überprüfung der Befahrung MB eCitaro Anlage 6.1 Datum: 11/2023 Maßstab: 1:250



Gelenkbus
FGSV 2020 (DE)

[m]

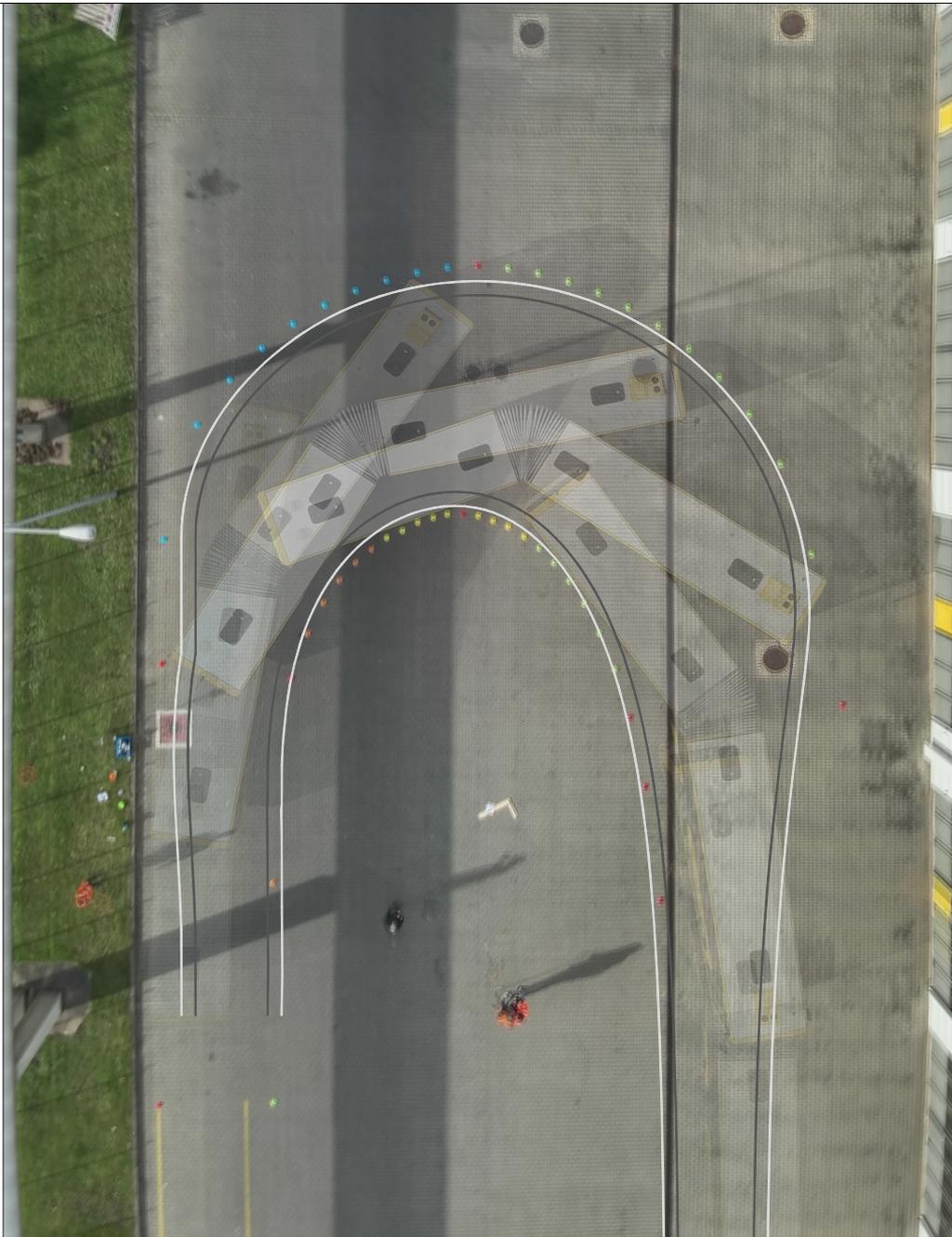
(c) 2024 Transoft Solutions, Inc. Alle Rechte vorbehalten.

0m 5m 10m



Auftraggeber Technische Universität Dresden	Bearbeitet Henriette Strübing Paul Schmidt
Projektpartner Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH	
Projekt DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis	Planinhalt Überprüfung der Befahrung MB eCitaro G Datum: 11/2023 Maßstab: 1:250

Anlage 6.2



Gelenkbus
FGSV 2020 (DE)

[m]

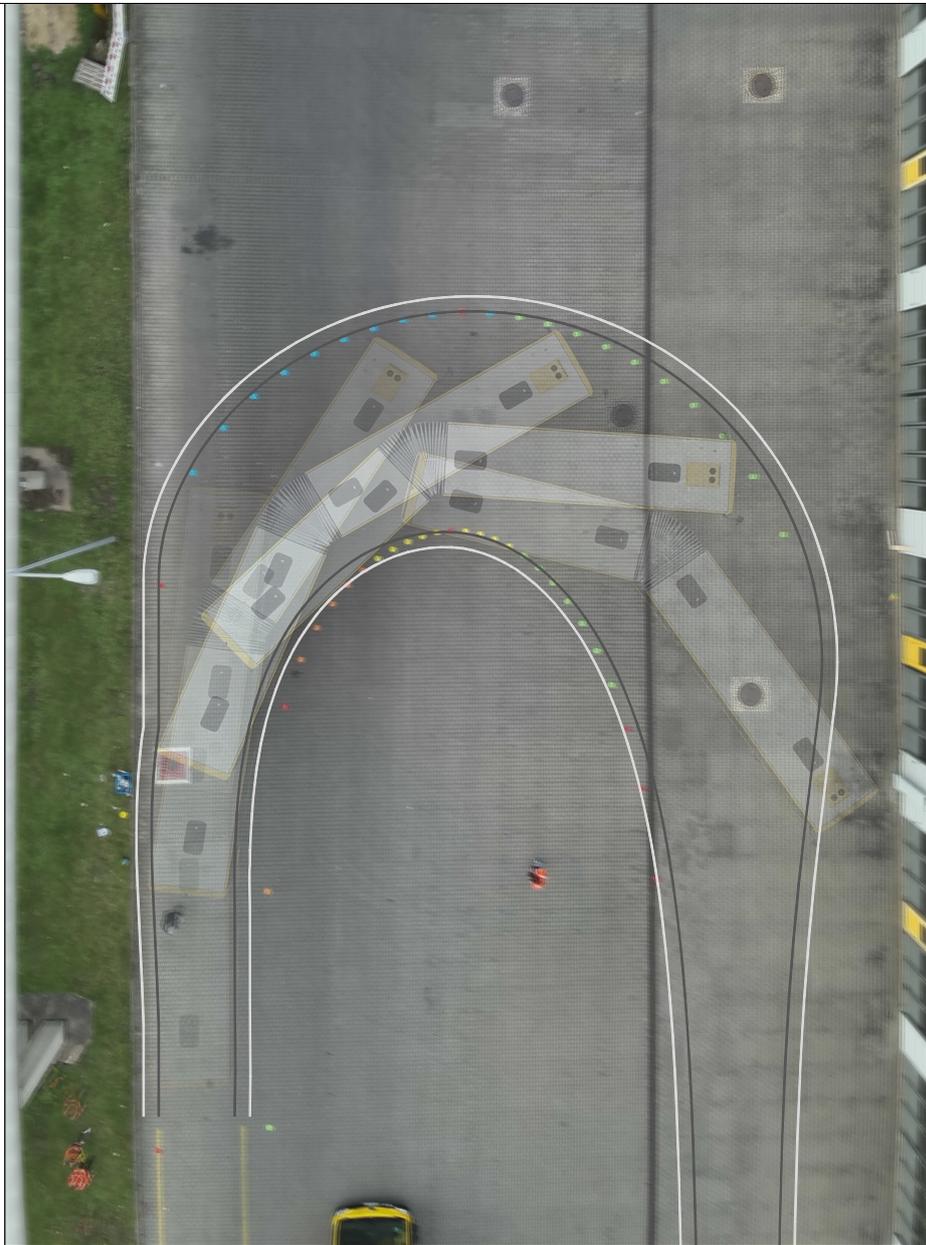
(c) 2024 Transoft Solutions, Inc. Alle Rechte vorbehalten.

0m 5m 10m



Auftraggeber Technische Universität Dresden	Bearbeitet Henriette Strübing Paul Schmidt
Projektpartner Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH	
Projekt DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis	Planinhalt Überprüfung der Befahrung MAN Lion's City (FGSV) Datum: 11/2023 Maßstab: 1:250

Anlage 6.3



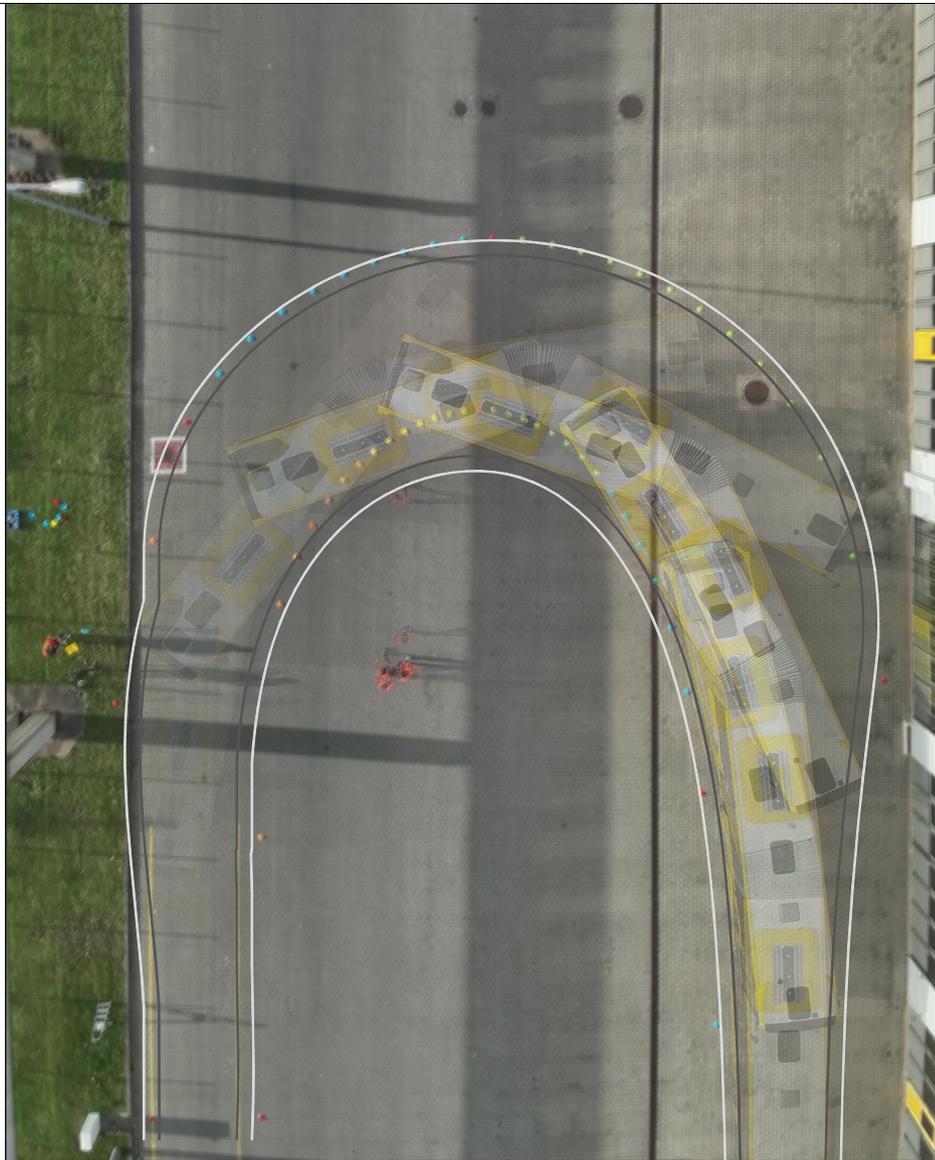
Gelenkbus Hamburg 18,75m
FGSV – VCDB

[m]

(c) 2024 Transoft Solutions, Inc. Alle Rechte vorbehalten.

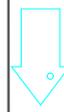


Auftraggeber Technische Universität Dresden	Bearbeitet Henriette Strübing Paul Schmidt
Projektpartner Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH	
Projekt DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis	Planinhalt Überprüfung der Befahrung MAN Lion's City Anlage 6.4 Datum: 11/2023 Maßstab: 1:250



CapaCity+ C2 Step 3
Custom

[m]
(c) 2024 Transoft Solutions, Inc. Alle Rechte vorbehalten.



Auftraggeber Technische Universität Dresden	Bearbeitet Henriette Strübing Paul Schmidt
Projektpartner Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH	
Projekt DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis	Planinhalt Überprüfung der Befahrung MB CapaCity L Datum: 11/2023 Maßstab: 1:250

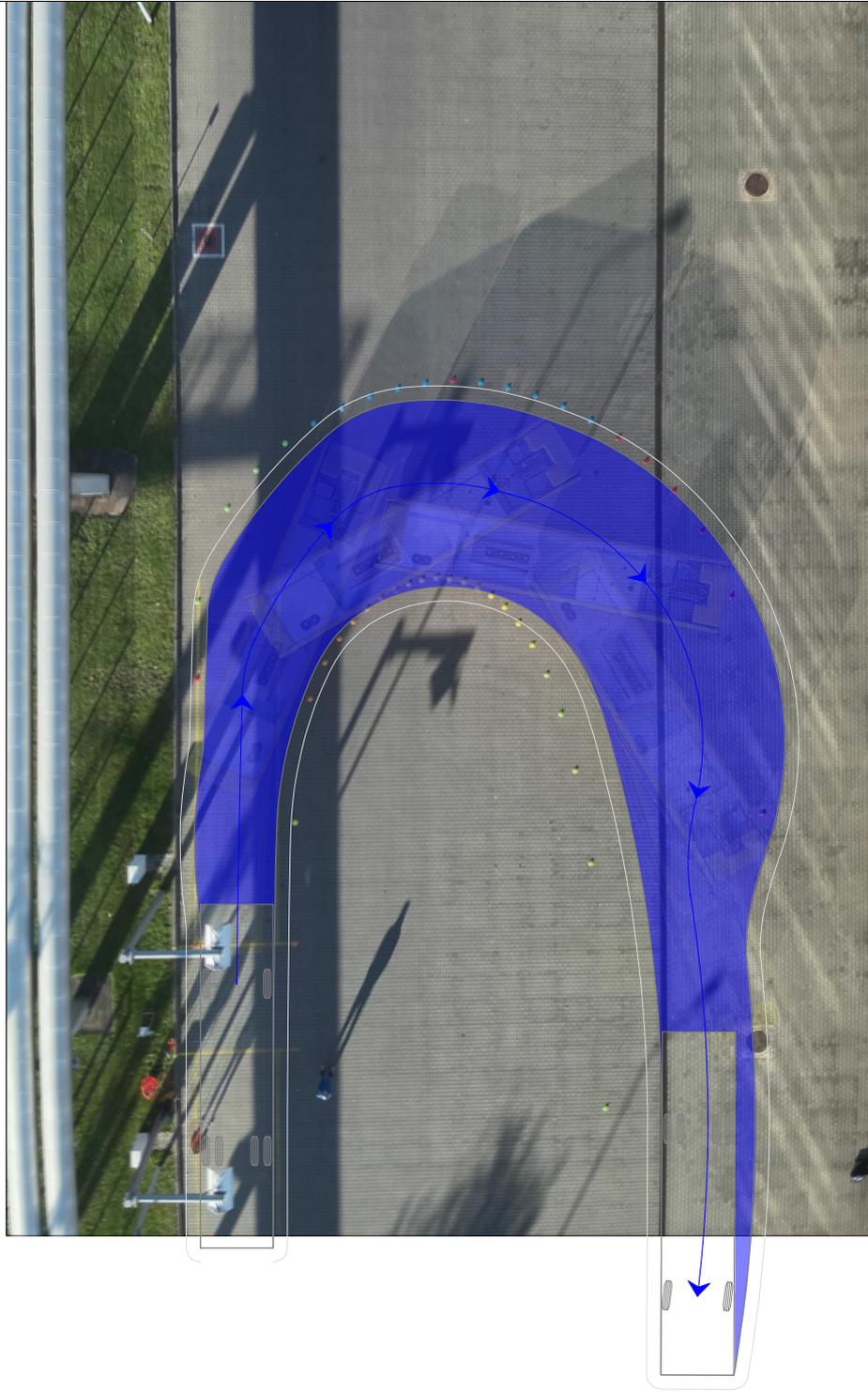
Anlage 6.5

ANLAGE 7

AutoTURN Dynamische Kurvenfahrt

Überprüfung der Befahrung

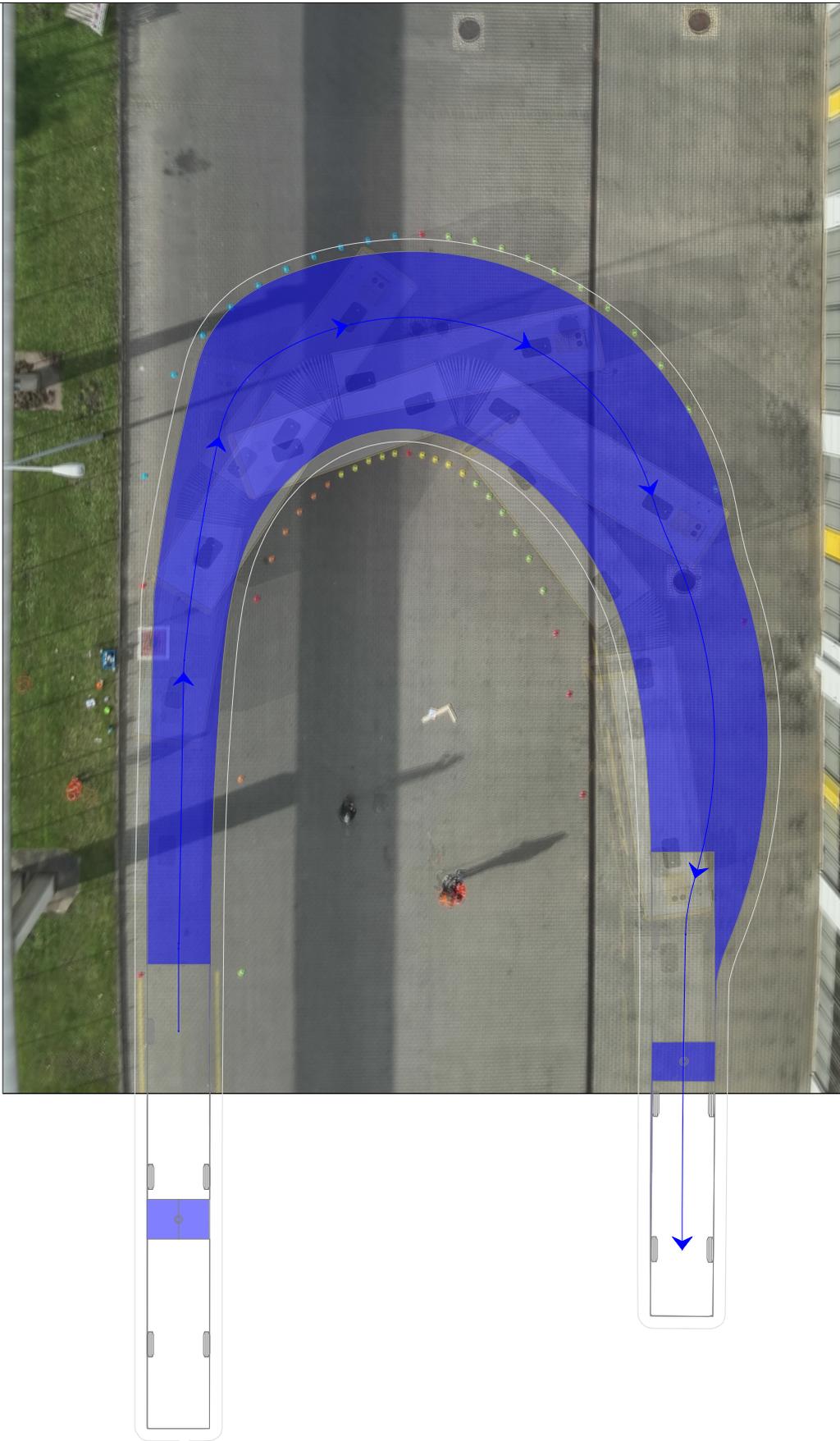
5 Pläne A4



Auftraggeber Technische Universität Dresden	Bearbeitet Henriette Strübing Paul Schmidt
Projektpartner Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH	
Projekt DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis	Planinhalt Überprüfung der Befahrung MB eCitaro Anlage 7.1 Datum: 11/2023 Maßstab: 1:250

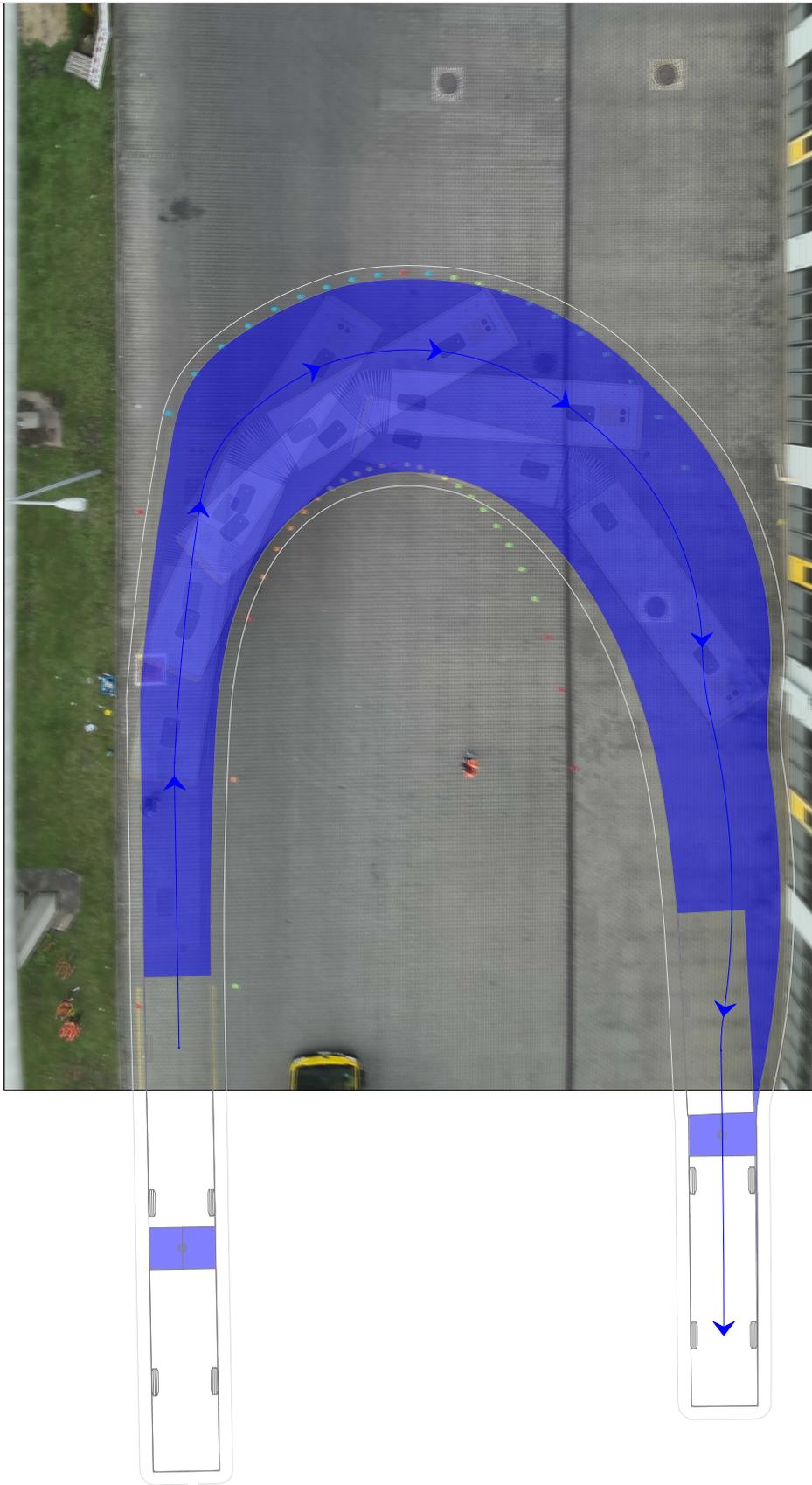


Auftraggeber Technische Universität Dresden	Bearbeitet Henriette Strübing Paul Schmidt
Projektpartner Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH	
Projekt DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis	Planinhalt Überprüfung der Befahrung MB eCitaro G Anlage 7.2 Datum: 11/2023 Maßstab: 1:250



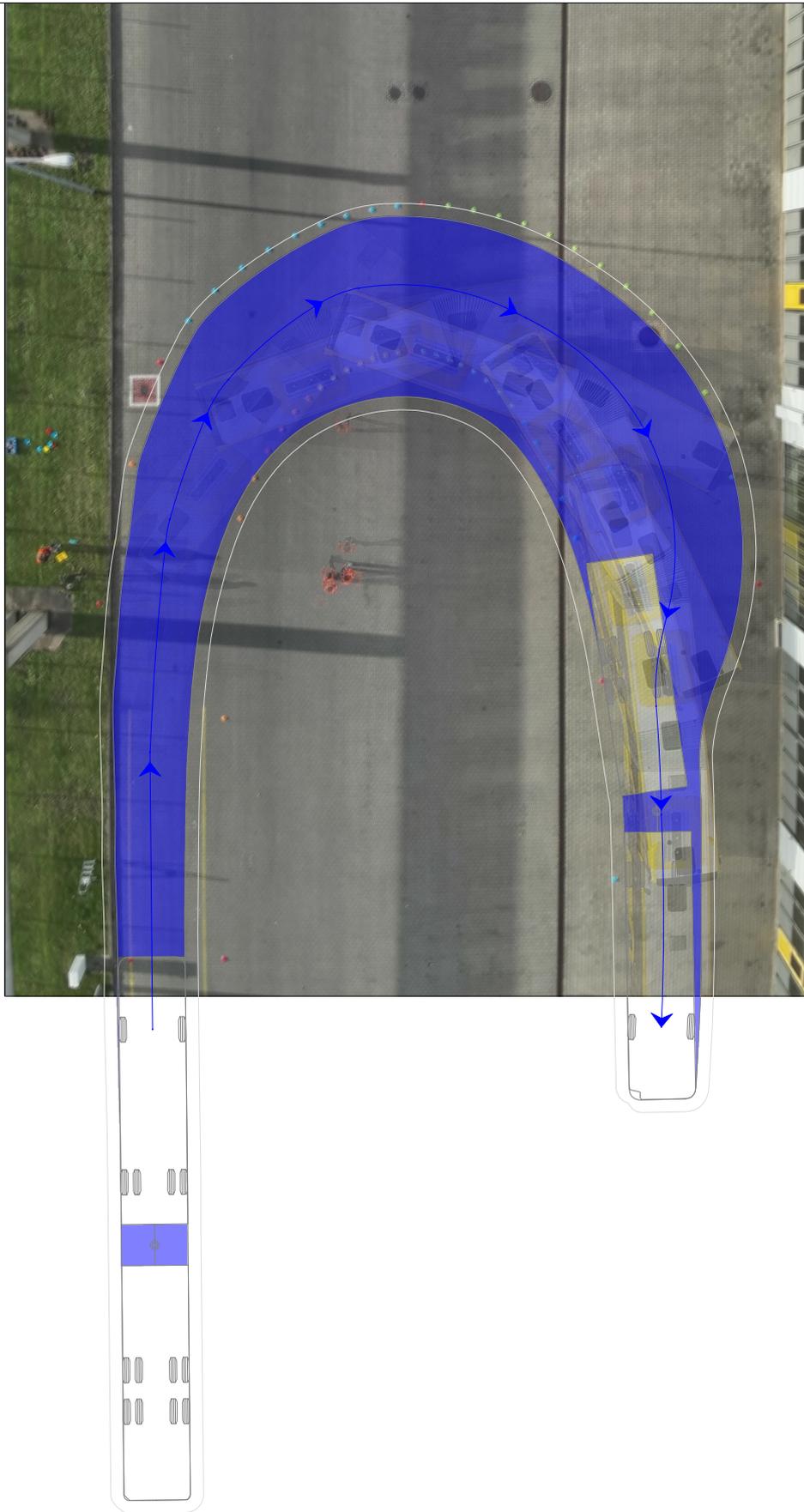
Auftraggeber Technische Universität Dresden	Bearbeitet Henriette Strübing Paul Schmidt		
Projektpartner Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH			
Projekt DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis	Planinhalt Überprüfung der Befahrung MAN Lion's City (FGSV) <table border="1" data-bbox="574 2145 997 2201"> <tr> <td data-bbox="574 2145 766 2201"> Datum: 11/2023 </td> <td data-bbox="766 2145 997 2201"> Maßstab: 1:250 </td> </tr> </table>	Datum: 11/2023	Maßstab: 1:250
Datum: 11/2023	Maßstab: 1:250		

Anlage 7.3



Auftraggeber Technische Universität Dresden	Bearbeitet Henriette Strübing Paul Schmidt
Projektpartner Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH	
Projekt DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis	Planinhalt Überprüfung der Befahrung MAN Lion's City Datum: 11/2023 Maßstab: 1:250

Anlage 7.4



Auftraggeber Technische Universität Dresden	Bearbeitet Henriette Strübing Paul Schmidt
Projektpartner Dresdner Verkehrsbetriebe AG Hamburger Hochbahn AG VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH	
Projekt DIPLOMARBEIT Schleppkurven im Omnibusbereich Diskrepanz zwischen normativen Vorgaben und der Praxis	Planinhalt Überprüfung der Befahrung MB CapaCity L Datum: 11/2023 Maßstab: 1:250

Anlage 7.5