

Firma
Mannesmann Line Pipe GmbH
In der Steinwiese 31

57074 Siegen

Versuchsbericht

Nummer: V24013001-1

vom: 11.06.2024

Auftraggeber: Mannesmann Line Pipe GmbH
Unterzeichner: Sachverständiger Dirk Merker
Auftrag erteilt: Januar 2024
Besichtigungsort: In der Steinwiese 31, 57074 Siegen
Besichtigungstag: 31.01.-02.02.2024, 14.-15.02.2024



Abbildung 1, Zugfahrzeug und Anhänger für innerbetrieblichen Transport



Versuchsbericht



MANNESMANN
LINE PIPE

Ein Unternehmen der Salzgitter Gruppe

1. Vorwort

Dieser Versuchsbericht bezieht sich auf die Versuchsreihen vom 31.01. - 02.02.2024 sowie 14. - 15.02.2024 auf dem Gelände der Mannesmann Line Pipe GmbH in 57074 Siegen. Am Standort Siegen werden Rohre im Abmessungsbereich 114,3 bis 406,4mm produziert und entsprechend transportiert. Die Oberfläche der Rohre kann verschiedene Ausführungen haben (rohschwarz, beschichtet mit Kunststoffen sowie Zementmörteln, UV-Lacken und FBE-Beschichtungen). Die Rohrlänge kann bis zu 18 m betragen. Die Rohrladungen, auch Rohrpakete genannt, werden mit Portalkränen von den Transportanhängern (Mafi) gehoben und verladen oder auf Zwischenlagerflächen abgestellt.

Ziel ist die Durchführung von Versuchen, um das kundenseitig bereits erstellte Ladungssicherungskonzept (siehe Anhang 1) zu überprüfen. Das gilt für die Wege auf dem Betriebsgelände, welche regelmäßig mit beladenen Ladeeinheiten befahren werden. Dieser Versuchsbericht liefert Daten für die Gefahrenanalyse zur Durchführung des innerbetrieblichen Transportes.

Um das Ziel zu erreichen, wurde folgendes Vorgehen gewählt: Mit Hilfe der Streckenfahrten wurden die vorgegebenen und möglichen Geschwindigkeiten auf vielen Teilstrecken mit einer Versuchsladung gefahren. Die verbaute Messtechnik zeichnete sowohl Geschwindigkeiten [km/h] als auch die Beschleunigungswerte, gemessen in [g] bzw. [m/s²], auf. Die maximal vorgegebenen Geschwindigkeiten durch die Mannesmann Line Pipe GmbH auf dem Betriebsgelände sowie der maximale g-Wert über 80 ms bildeten die Basis für die gesamten nachfolgenden Versuche zur Überprüfung des Ladungssicherungskonzeptes. Nach den Streckenfahrten folgten Vollbremsversuche, Kreisfahrten und Zugversuche an den Rungen ausgewählter Mafis.

Der Versuchsbericht ist in zwei Teile unterteilt. Der erste Teil bezieht sich auf die dynamischen Fahrversuche mit innerbetrieblich genutzten Transporteinheiten. Der zweite Teil des Versuchsberichtes bezieht sich auf statische Versuche an den Transportanhängern der Transporteinheiten.



*Abbildung 2, Betriebsgelände Mannesmann Line Pipe GmbH, Siegen, GoogleMaps,
Lageplan siehe Anhang 3*



2. Erklärung erster Teil des Versuchsberichtes:

Die hier in Frage stehenden Transporteinheiten sind Eigentum der Mannesmann Line Pipe GmbH. Sie bestehen aus den Zugfahrzeugen (nachstehend auch „Fendt“ genannt) und den Transportanhängern für Roh- und Fertigprodukte (nachstehend auch „Mafi“ genannt). Eine zu den Versuchstagen aktuelle Aufstellung des betreffenden Fuhrparks wurde durch den Kunden vorgelegt (siehe Anhang 2). Die Roh- und Fertigprodukte werden nach der kundenseitig erstellten Vorgabedokumentation auf die Mafis verladen und zwischen den Produktionsstätten und Außenlagern transportiert.

Es ist anzumerken, dass ein Transportwege-Lageplan (siehe Anhang 3) klar definierte Kurven und Geradeausstrecken mit festen Geschwindigkeitsvorgaben enthält und dieser Bestandteil der Fahreranweisung ist.

Die Ladungssicherung der Roh- und Fertigprodukte (nachstehend auch „Rohre“ genannt) ist in der Verladerrichtlinie (siehe Anhang 1) detailliert beschrieben. Die Rohre werden lageweise auf den Mafis abgelegt und zwischen den Lagen mit Auflagebalken getrennt. Die Auflagebalken werden mit Antirutschmatten auf der Oberseite und der Unterseite versehen, mit Ausnahme von Waggonverladungen, wo auf die Antirutschmatten verzichtet wird. Maximale Beladehöhen, -längen und -gewichte sind beschrieben.

Die Rohrpakete, bestehend aus mehreren Lagen Rohre, werden im Ganzen entladen. Hierzu werden Kräne und Stahltraversen genutzt, um die Rohrblöcke komplett vom Mafi zu heben und an einen vorbestimmten Lagerplatz abzustellen. Die in diesem Bericht beschriebenen Versuche schließen das Entladen sowie Beladen der Mafi nicht mit ein. Kräne und Stahltraversen wurden in dieser Versuchsreihe nicht betrachtet.

Aus innerbetrieblichen Gründen und auf Grundlage von eigenen Praxisfahrversuchen werden die Ladeeinheiten nicht zusätzlich für den Transport zwischen den beiden Punkten gesichert (z.B. durch Zurrgurte). Es stellt sich nun noch die Frage, welche Beschleunigungseinflüsse sich während des Transportes bei bestimmten Geschwindigkeiten einstellen können. Es ist anzumerken, dass durch Mannesmann Line Pipe GmbH die maximale Geschwindigkeit der Transporteinheiten je nach Streckenabschnitt auf 6 km/h oder 20 km/h nach Erfahrungswerten festgelegt wurde.

Die Mafis sind nicht mit einer eigenen Bremsanlage ausgerüstet. Die Zugfahrzeuge wurden so modifiziert, dass sie auf die Maximalgeschwindigkeit von 20 km/h gedrosselt sind.

Im Rahmen der dynamischen Fahrversuche wurden Streckenfahrten, Kreisfahrten sowie Vollbremsversuche durchgeführt. Die Erfassung der erreichten Beschleunigung erfolgte über drei triaxiale Beschleunigungsaufnehmer.

TÜV SÜD Auto Plus GmbH

Institut für Ladungssicherung
Industriestraße 30, D-48629 Metelen
Tel. +49 2556 507 8181
thorsten.ludwig@tuvsud.com



Diese Sensoren wurden unter dem Fahrzeugboden auf der Längsachse vorne, in der Mitte und am Heck positioniert (siehe Anhang 5).

In den Versuchen des zweiten Versuchstages galt es zunächst herauszufinden, welche Beschleunigungswerte zur Seite auf Kurven-Streckenabschnitten entstehen. Der höchste ermittelte Beschleunigungswert (Mittelwert aus 80 ms) wurde für die späteren Kreisfahrten als Grundlage genutzt.

Am dritten Versuchstag wurden die Vollbremsversuche durchgeführt. Es ist durch den Unterzeichner an dieser Stelle deutlich zu sagen, dass die ermittelten Werte nicht den Vorgaben der VDI 2700 sowie den Beschleunigungsvorgaben der DIN EN 12195-1 entsprechen.

3. Erklärung zweiter Teil des Versuchsberichtes:

Im zweiten Teil des Versuchsberichtes wird eine Betrachtung der durch die Mannesmann Line Pipe GmbH genutzten Mafis durchgeführt. Mit statischen Versuchen, u.a. auf Grundlage der ermittelten Beschleunigungswerte, soll ermittelt werden, ob die seitlichen Ladungssicherungsmittel der Mafis (nachstehend auch „Rungen“ genannt) geeignet sind, das maximale Ladungsgewicht je Mafi zu halten.

Im Vorfeld der statischen Versuche werden dazu alle für den innerbetrieblichen Rohrtransport zur Verfügung stehenden Mafis dokumentiert und in Clustern zusammengefasst. Ein Cluster enthält in Bezug auf Maße, Maximalgewichte und Anzahl der Rungen gleichartige Mafis.



Abbildung 3, Zugversuch an Runge eines Mafi

4. Beschreibung der Versuchsfahrzeuge:

Am Versuchstag waren drei Zugfahrzeuge („Fendt“) aktiv in Betrieb.

Bezeichnung	Fzg.-Art.	Typ	Fzg.-Ident.-Nr.	Baujahr
Fendt 2	Schlepper	Fendt 916 Vario	916211383	2000
Fendt 3	Schlepper	Fendt 916 Vario	916237342	2006
Fendt 4	Schlepper	Fendt 930 Vario	943231648	2013

Tabella 1, Liste der Zugfahrzeuge



Abbildung 4, Fendt 2



Abbildung 5, Fendt 3



Abbildung 6, Fendt 4



Durch den Kunden wurde eine Aufstellung der Rohrtransportwagen („Mafi“) vorgelegt (siehe Anhang 2), wobei Mafi 13 nicht mehr in Betrieb ist.

Die Mafis wurden dokumentiert und wo möglich entsprechend der Faktoren Abmessungen, max. Beladegewichte, Anzahl Rungen und Hersteller zusammengefasst („Cluster“).

Cluster-Nr.	Mafi-Nr.	Fabrikat	Abmessung [L/B/H in m]	Anzahl Rungen [Stk.]	max. Zulad. MLP Praxis [t]	dokumentierter Mafi [Nr.]
1	1, 2	Plan	8 / 2,5 / 2,16	8	16	2
2	3 – 8	Plan	11 / 2,5 / 2,23	8	20	4
3	9 – 12, 14, 15	Mafi	11 (9 – 10) bzw. 13 (11 – 15) / 2,7 / 2,78	12	20 (9 – 12) 27 (14,15)	12
4	16 – 19	Plan	13 / 2,68 / 2,99	12	27	16
5	20 – 24	Plan	13 / 2,73 / 3,51	12	27	21
6	25 – 27	Fels	13 / 3,23 / 3,45	12	27	26
7	28	Plan	11 / 2,5 / 2,235	8	20	28
8	29, 30	Mafi	13 / 2,26 / 3,48	12	27	30

Tabelle 2, Clusterung der Transportanhänger



Abbildung 7, Sicherung Auflagebalken, Gummikeile für erste Rohrlage, Beispiel Mafi 26



Abbildung 8, Mafi 2



Abbildung 9, Mafi 4



Abbildung 10, Mafi 12



Abbildung 11, Mafi 16



Abbildung 12, Mafi 21



Abbildung 13, Mafi 26



5. Beschreibung des Versuchsgeländes:

Im Vorfeld der Versuchsreihen wurde die Vorgabedokumentation zum innerbetrieblichen Transport durch den Auftraggeber zur Verfügung gestellt. Hierzu gehören Vorgaben zur Sicherung der Ladungen auf den Mafi, Fahreranweisungen, Verladeanweisungen, die Festlegung von Fahrstrecken auf einem Lageplan und die Festlegung von Höchstgeschwindigkeiten auf bestimmten Streckenabschnitten.

Die in Anhang 4 dargestellten gelben und grünen Streckenabschnitte sind jene, auf denen die innerbetrieblichen Transporteinheiten standardmäßig leer und beladen fahren.

Zur Vereinfachung wurden Streckenabschnitte in der Vorgabedokumentation der Mannesmann Line Pipe entweder mit gelb (max. 6 km/h) oder grün (20 km/h) gekennzeichnet.

Der Lageplan wurde am ersten Versuchstag abgegangen und die Kurven dokumentiert. Für die Einzelkurvenbeschreibung siehe Anhang 4. Die Streckenfahrten des zweiten Versuchstages orientieren sich an diesen Kurven. Einzelne Streckenabschnitte betreffen nicht die Standardtransportwege für den innerbetrieblichen Transport, sondern zeigen lediglich auf, wo die Fendts allein oder mit angehängtem leeren Mafi fahren könnten.

6. Beschreibung der Versuchsladung:

Für die dynamischen Fahrversuche wurden zwei Ladungen auf die für die Versuche ausgewählten Mafis verladen. Gewählt wurden für beide Ladungen dieselben Rohrartikel. Als Artikel wurden jene mit möglichst glatter Oberfläche und möglichst kleinem Rohrdurchmesser ausgewählt. Durch diese Auswahl werden mehrere Ziele erreicht:

- Die Artikel weisen den geringsten Reibbeiwert und die kleinste Auflagefläche zu der darunterliegenden Antirutschmatten als universell für alle Artikel genutzten Ladungssicherungsmittel auf. Damit können die Versuchsergebnisse diesbezüglich auf die anderen Artikel übertragen werden, da diese ja „bessere“ Eigenschaften aufweisen.
- Die hohe Anzahl an Artikeln bietet eine hohe Anzahl an Beobachtungspunkten.

Artikel	Länge	Durchmesser	Einz.-Gewicht	Anzahl je Lage / Gesamt	Ges.-Gewicht Ladung	Oberfläche
RSKU_V280	12 m	114,3 mm	131 kg	18x4 = 72 Stk.	9.432 kg	Kunststoff glatt

Tabelle 3, Beschreibung der Versuchsladung „Halbladung“ für Strecken- und Vollbremsversuchsfahrten



Abbildung 14, Halbladung

Artikel	Länge	Durchmesser	Einz.-Gewicht	Anzahl je Lage / Gesamt	Ges.-Gewicht Ladung	Oberfläche
RSKU_V280	12 m	114,3 mm	131 kg	18x10 = 180 Stk.	23.580 kg	Kunststoff glatt

Tabelle 4, Beschreibung der Versuchsladung „Vollladung“ für Kreis- und Vollbremsversuchsfahrten



Abbildung 15, Vollladung



7. Beschreibung der dynamischen Versuche:

Die dynamischen Versuchsreihen umfassen die Streckenfahrten anhand der zuvor aufgenommenen Teilstrecken, Vollbremsversuche und Kreisfahrten auf Basis der Beschleunigungswerte, die in den Streckenfahrten festgestellt wurden.

7.1 Beschreibung Streckenfahrten:

Am zweiten Versuchstag (01.02.2024) wurde Mafi 22 mit einer Halbladung (siehe Kapitel 6) beladen. Gezogen wurde der Mafi von Fendt 4.

Der Transportwege-Lageplan wies zum Versuchstag bestimmte Geschwindigkeiten aus. Um die Unterweisung und Regelung des innerbetrieblichen Verkehrs zu vereinfachen, hatte sich die Mannesmann Line Pipe GmbH im Vorfeld auf Geschwindigkeitszonen zu 6 km/h und 20 km/h entschieden und diese auf dem Lageplan markiert, welcher für die Unterweisung der Fahrer genutzt wird.

Die Geschwindigkeitszonen dienen als Grundlage für die Fahrversuche. Auch wenn Geschwindigkeiten bis 20 km/h auf bestimmten Streckenabschnitten theoretisch möglich sind, ist dies praktisch nicht immer möglich, da Fahrbahnbeschaffenheit, Personen- und Kraftfahrzeugverkehr und Sichtverhältnisse intuitiv durch die Fahrer mitberücksichtigt werden. Die Fahrer werden mittels Unterweisungen und durch dokumentierte Informationen zu einer sicherheitsorientierten angepassten Fahrweise angehalten.

Mit Hilfe der Messtechnik wurden Beschleunigungswerte je Kurve aufgezeichnet. Die Versuche wurden mit Kamera- und Videotechnik dokumentiert.

7.2 Ergebnisse Streckenfahrten:

Die Streckenfahrten wurden am 01.02.2024 durchgeführt. In 22 Streckenfahrversuchen wurden Geschwindigkeiten zwischen 6 und 18,5 km/h gefahren.

In den Versuchen wurde die maximal zulässige Geschwindigkeit von 20 km/h nicht erreicht. Das war auf Grund der Zusammensetzung der Versuchsladung und unter Berücksichtigung von Fahrbahnbeschaffenheit, Personen- und Kraftfahrzeugverkehr und Sichtverhältnissen nicht möglich.



Tabelle 5 sowie Abbildung 18 zeigen die erreichten Beschleunigungswerte maximal und auf 80 ms gemittelt.

Versuchs-Nr.	einbez. Kurve	Geschw. max [km/h]	Geschw. mittel [km/h]	g-Wert max [m/s ²]	g-Wert 80 ms [m/s ²]
1.1	K22	7,5	5,9	0,560	0,051
1.3	K24	8,2	6,5	0,560	0,097
1.4	K25	6,2	3,6	0,369	0,052
1.6	K23, K26	7,2	5,3	0,408	0,032
1.7	K25	6,8	5,0	0,397	0,031
1.8	K24	6,2	4,5	0,404	0,049
1.9	K22	6,8	4,9	0,354	0,004
1.10	K22	16,1	10,6	0,510	0,141
1.11	K1, K2, K8	6,9	5,4	0,844	0,238
1.12	K1, K2, K8	13,1	8,4	0,987	0,200
1.13	K9	6,4	4,7	0,473	0,075
1.14	K9	15,4	8,7	0,724	0,113
1.15	K6, K5	9,0	5,9	0,223	0,077
1.16	K6, K5	7,1	5,1	0,123	0,073
1.17	K14a, K15a	7,1	6,2	0,233	0,139
1.18	K15a, K14a	6,9	5,5	0,342	0,125
1.20	K15a, K14a	18,5	13,8	0,579	0,126
1.21	K11	7,3	4,5	0,297	0,104
1.22	K10	6,3	3,6	0,553	0,144

Tabelle 5, Ergebnisse der einzelnen Streckenfahrversuche

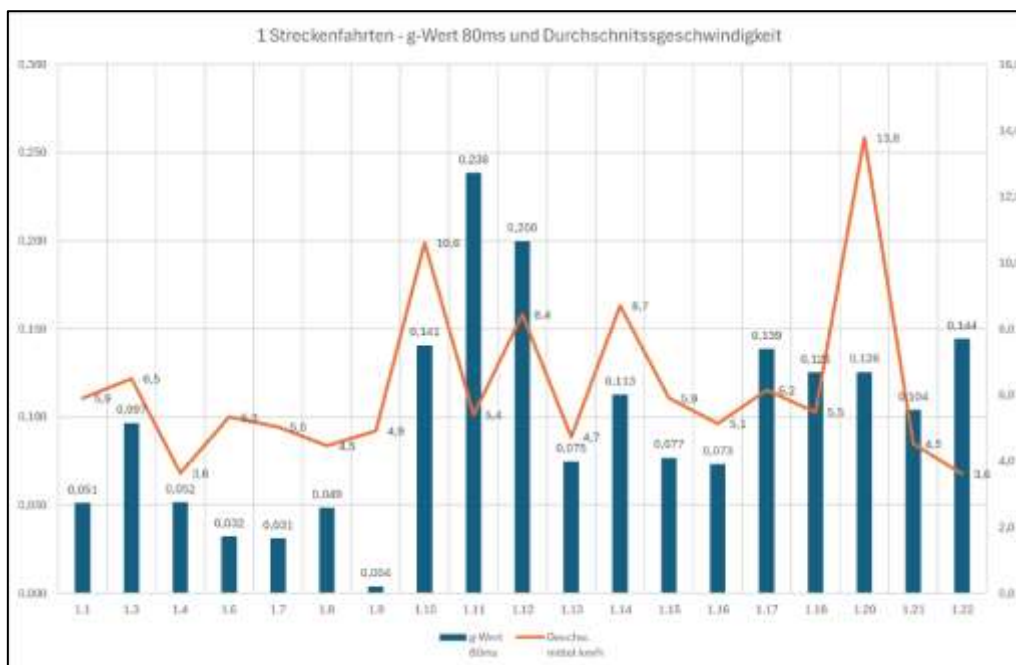


Abbildung 16, je Fahrversuch auf 80 ms gemittelter maximaler Beschleunigungswert zur Seite, im Vergleich zur Durchschnittsgeschwindigkeit

Die Fahrversuche verliefen mit einer Ausnahme ohne besondere Feststellungen.

Feststellung:

Versuch 1.12: Das Befahren von Kurve 1 (Tor 1 zu Kreuzung 1) bedingt das Überfahren von Bahnschienen. Bei der Geschwindigkeit von 9 km/h hat sich ein Rohr aus der untersten Lage ca. 8 cm nach hinten, d.h. entgegen der Fahrtrichtung, herausgeschoben.

Bewertung:

Der Auftraggeber hat für diesen Bereich die Höchstgeschwindigkeit auf 20 km/h festgelegt. Geeignete Maßnahmen, um eine solche Verschiebung zukünftig zu vermeiden, könnten entweder die Begrenzung der Geschwindigkeit auf 6 km/h sein oder die Durchführung einer baulichen Maßnahme zur Beseitigung der Bodenunebenheiten.



Abbildung 17, in Versuch 1.12 festgestellte Verschiebung eines Rohres um ca. 8 cm nach Überfahren von Bahnschienen.

7.3 Beschreibung Vollbremsversuche:

Die Vollbremsversuche wurden am 02.02.2024 vollständig durchgeführt. 8 Vollbremsversuche in verschiedenen Konstellationen ergaben nur minimale Verschiebungen von max. 10 mm bei einzelnen Rohren. Die dafür verwendeten Ladungen sind in Kapitel 6, Tabellen 3 und 4 beschrieben.

Die Temperatur betrug ca. 8°C, die Luftfeuchtigkeit lag bei 70-80%. Als Fahrbahn stand eine asphaltierte, ebene Fläche zur Verfügung. Sie kann zum Versuchszeitpunkt als „trocken bis leicht feucht“ sowie „besenrein“ beschrieben werden.



7.4 Ergebnisse Vollbremsversuche:

Versuchs-Nr.	Fahrzeug	Ladung	g-Wert max peak	g-Wert über 80 ms	Geschw. bei Vollbremsung	Ver-rutschen in mm
2.1	Fendt 4	Halb	1,4776	0,04	7,0	0
2.2	Fendt 4	Halb	1,5910	0,19	19,1	0
2.3	Fendt 3	Halb	1,7376	0,03	5,5	0
2.4	Fendt 3	Halb	1,8165	0,09	17,8	< 5
2.5	Fendt 4	Voll	1,5864	0,04	7,2	0
2.6	Fendt 4	Voll	1,8267	0,24	19,6	< 10
2.7	Fendt 3	Voll	1,6989	0,03	5,9	< 5
2.8	Fendt 3	Voll	1,5447	0,25	16,6	< 5

Tabelle 6: Übersicht Vollbremsversuchsfahrten

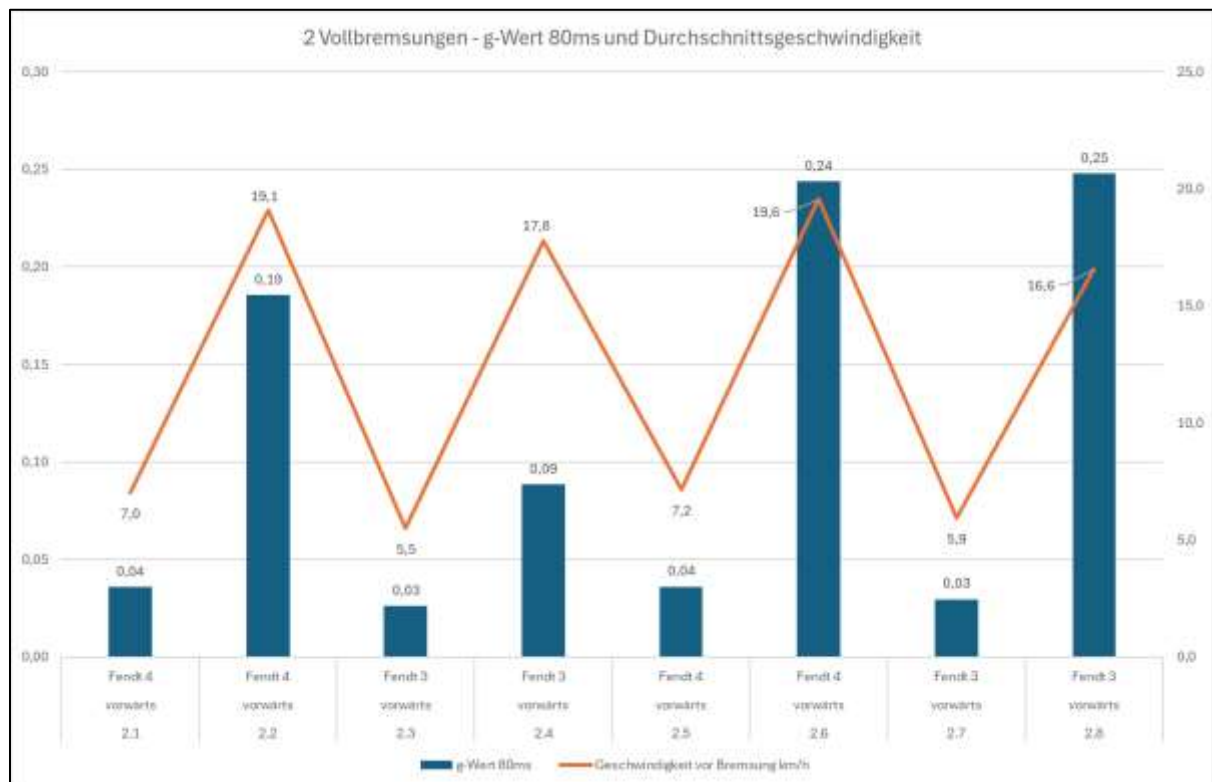


Abbildung 18, Übersicht Vollbremsversuche, g-Werte über 80 ms gemittelt und Durchschnittsgeschwindigkeit

**Feststellung:**

In den Versuchen 2.4, 2.6, 2.7 und 2.8 konnten Verschiebungen einzelner Rohre um <5mm gemessen werden. Im Versuch 2.6 wurde das Verrutschen der obersten Rohrlage um weniger als 10 mm festgestellt.

Bewertung:

Unter Berücksichtigung der Ladung (Reibwert, Anzahl der Rohre, Ladungshöhe), der mittleren Geschwindigkeit von 19,6 km/h und dem über 80 ms maximalen g-Wert von 0,24 m/s², ist dieser Wert als marginal zu interpretieren.

Von der Ladung geht in diesem Versuchsszenario kein Risiko aus.

Gestützt wird diese Aussage durch die Tatsache, dass in den Streckenfahrten die maximale Geschwindigkeit 18,5 km/h und die maximale Durchschnittsgeschwindigkeit über alle Streckenfahrtenversuche 13,8 km/h betrug.

7.5 Beschreibung Kreisfahrten:

Die Kreisfahrten wurden am 15.02.2024 vollständig durchgeführt. Hierzu wurde Fendt 4 mit Mafi 19 und einer Vollladung Rohre (vgl. Kapitel 6, Tabelle 4) kombiniert. Der Ziel-g-Wert für die Kreisfahrten wurde in den Streckenfahrten ermittelt. Dafür wurde der höchste g-Wert, gemittelt auf 80 ms, verwendet (Versuch 1.11, 0,238 g).

Es galt in diesen Versuchen zu beweisen, dass auch bei Überschreiten dieses Wertes, ebenfalls gemittelt über 80 ms, die Ladungssicherungsmaßnahmen vollständig greifen und es nicht zu einem deutlichen Verrutschen kommt.

Die Temperatur betrug ca. 10°C, die Luftfeuchtigkeit lag bei 70-80%. Als Fahrbahn stand eine asphaltierte, ebene Fläche zur Verfügung. Sie kann zum Versuchszeitpunkt als „feucht“ sowie „besenrein“ beschrieben werden.

Versuchs-Nr.	Fahrzeug Mafi	Ladung	Ladungsgewicht	Breite Ladung	Höhe Ladung	Breite Mafi	Höhe Mafi
1 – 3	Fendt 4 Mafi 19	Vollladung	23.580 kg	2.180 mm	2.000 mm	2.682 mm	3.000 mm

Tabelle 7, Übersicht Kreisversuchsfahrten – Beschreibung Fahrzeug und Ladung

Die Transporteinheit wurde je Versuch mehrfach im Kreis gefahren.



7.6 Ergebnisse Kreisfahrten:

Versuchs-Nr.	g-Wert max peak	g-Wert über 80 ms	Geschw. max peak vor Bremsung	Geschw. mittel während Versuch
1	1,4221	0,4979	15,74	8,26
2	2,0233	0,4666	18,15	13,44
3	1,6950	0,2881	18,15	13,44

Tabelle 8, Ergebnisse Kreisversuchsfahrten

Feststellung:

Die Ladung blieb insgesamt während der Fahrversuche stabil und konnte durch die Ladungssicherungsmaßnahmen (Keile, Zwischenlagenbretter mit Antirutschmatten) auf dem Mafi gehalten werden.

Ein Verrutschen in Längsrichtung wurde nach allen 3 Versuchsfahrten nicht festgestellt. Ein Verrutschen in Querrichtung wurde nach allen 3 Versuchsfahrten nicht festgestellt.

Bewertung:

Von der Ladung geht in diesem Versuchsszenario kein Risiko aus.

Gestützt wird diese Aussage durch die Tatsache, dass in den Streckenfahrten die maximale Geschwindigkeit 18,5 km/h und die maximale Durchschnittsgeschwindigkeit über alle Streckenfahrtenversuche 13,8 km/h betrug.

Ebenso wurden über alle Streckenfahrversuche hinweg eine durchschnittliche Geschwindigkeit von 6,2 km/h bei einem durchschnittlichen g-Wert max peak von 0,5 m/s² festgestellt. Das Testszenario der Kreisfahrten stellte höhere als üblicherweise zu erwartende Anforderungen an die Ladungssicherung und deckt somit die üblichen Verkehrssituationen im innerbetrieblichen Transport ab.



7.7 Beschreibung statischen Versuche:

Ziel der statischen Versuche ist der Beweis, dass die an den Transportanhängern fest verbauten Rungen die Kräfte aufnehmen können, welche maximal auf sie wirken, sollte die gesamte Ladung auf die Rungen drücken. Diese Kräfte werden nachfolgend als BC („Blocking capacity“ = Blockierkapazität) ausgedrückt, welche es in den Versuchen galt zu verifizieren.

Die Bestimmung der theoretisch zu verifizierenden Kräfte auf eine Runge erfolgte wie folgt:

$$BC = \frac{F_{max} * a}{n}$$

Formel 1, theoretische Berechnung des BC in kg/Runge

wobei

BC = blocking capacity = Blockierkraft in kg

F_{max} = maximale Traglast des Mafi-Herstellers bzw. gem. Festlegung der Mannesmann Line-Pipe

a = Beschleunigungswert, hier: quer zur Fahrtrichtung, aufgerundeter und in den dynamischen Fahrversuchen maximal ermittelter Wert für die zur Seite auftretenden Kräfte (vgl. Abbildung 13 Ergebnisse Streckenfahrten).

n = Anzahl der Rungen

Daraus ergibt sich bspw. für Mafi der größten Traglastklasse (vgl. Cluster in Kap. 4, Tab. 2):

$$BC = \frac{27.000kg * 0,238m/s^2}{6 Stk.} = 1.071 kg/Runge$$

Formel 2, theoretische Berechnung des BC in kg/Runge mit eingesetzten Beispielwerten

Für die Berechnung des BC wurde a auf 0,3m/s² aufgerundet, was den Soll-BC etwas erhöht, mit dem Ziel, Messunsicherheiten und Besonderheiten zu berücksichtigen. Damit ergibt sich als Soll-BC und Grundlage für die statischen Zugversuche an den Rungen folgender Wert (Beispiel, je Mafi-Cluster separat berechnet und getestet):

$$BC = \frac{27.000kg * 0,3m/s^2}{6 Stk.} = 1.350 kg/Runge$$

Formel 3: Berechnung des Soll-BC für die Versuche mit eingesetzten Beispielwerten

Aus den geclusterten Transportanhängern („Mafis“, vgl. Kapitel 4) wurde je ein repräsentatives Beispiel gewählt. Relevant für die statischen Versuche sind die unterschiedlichen Bauarten, Anzahl der Rungen und die von Mannesmann Line Pipe GmbH maximal festgelegten Traglasten.

Nach Vermessung der Rungenhöhe wurde ihr Mittelpunkt bestimmt. Um diesen wurde eine Rundschlinge gelegt und an deren anderem Ende eine Zugwaage befestigt. Diese Kombination wurde mit Hilfe eines Zurrgurtes so an einem Stapler befestigt, dass sich die Zugwaage auf der gleichen horizontalen Höhe wie der Mittelpunkt der Runge befand.



Abbildung 19, Darstellung Versuchsaufbau Zugversuche Rungen

Zunächst wurde ein Zug mit einfachem BC, berechnet nach Formel 2, durchgeführt. Der Sicherheitsfaktor von 25% wurde aus Erfahrungswerten durch die Sachverständigen festgelegt. Ein zweiter Zug erfolgte dementsprechend auf den 1,25-fachen BC.

Bei Zugversuchen dieser Art wird zwischen der elastischen und der plastischen Verformung unterschieden. Die elastische Verformung wird durch die Verformung des Versuchsobjektes während des Versuches definiert. Die plastische Verformung ist die nach dem Versuch verbleibende Verformung des Versuchsobjektes. Zur Messung der entsprechenden Werte kamen Winkelmesser und Laserentfernungsmesser zum Einsatz.



7.8 Ergebnisse der statischen Zugversuche:

Die Kurzfassung der Ergebnisse findet sich nachstehend in Tabelle 9. Bei einigen Versuchen wurde versuchsaufbaubedingt direkt der 1,25-BC Sollwert erreicht bzw. überschritten. Die Aussagekraft der drei Einzelversuche ist dennoch gegeben. Sie sind in der nachstehenden Tabelle mit „n.d.“ gekennzeichnet.

Versuchs-Nr.	Mafi	repräsentiert Cluster	BC Soll [daN]	BC-Erg. [daN]	1,25-BC Soll [daN]	1,25-BC Erg. [daN]
1.1	7	1 und 2	1.500	1.655	1.875	2.144
2.1	9	3	1.350	1.372	1.688	1.738
2.2	9	3	n.d.	n.d.	2.500	2.527
3.1	27	6	1.350	1.587	1.688	2.020
4.1	30	8	n.d.	n.d.	1.688	1.742
5.1	21	5	1.350	1.420	1.688	1.834
6.1	2815 00	7	1.500	1.512	1.875	1.954
7.1	19	4	1.350	1.689	1.688	2.118
7.2	19	4	n.d.	n.d.	2.500	2.596

Tabelle 9, Ergebnisse Kreisversuchsfahrten (n.d. = nicht durchgeführt)

Feststellungen:

In den Versuchen wurden elastische Verformungen zwischen 0 und 70 mm gemessen. Plastische Verformungen wurden in den Versuchen nicht festgestellt.

Bewertung:

Die elastischen Verformungsergebnisse werden vom Versuchsteam als „in Ordnung“ gewertet, da es zu keinerlei plastischer Verformung kam. Die getesteten Rungen hielten den Anforderungen stand, woraus abgeleitet werden kann, dass die eingesetzten Mafi in der Lage sind, im Falle eines Versagens der Ladungssicherungsmittel die Ladung zur Seite aufzuhalten. Gestützt wird diese Aussage von der gemäß der Streckenfahrversuche maximal zu erwartenden Beschleunigung zur Seite von 0,238 m/s².

Dieser wurde in der Ermittlung der BC-Werte aufgerundet auf 0,3 m/s² berücksichtigt, womit die Rungen in den Versuchen höheren Belastungen ausgesetzt wurden, womit sie die üblicherweise zu erwartenden Fahrsituationen abdecken.



8. Zusammenfassung der Versuchsreihen:

An fünf Versuchstagen wurden dynamische und statische Versuche durchgeführt, um

- a) Eingaben für die Überarbeitung der Gefahrenanalyse des Auftraggebers zum innerbetrieblichen Transport zu liefern,
- b) zu beweisen, dass die vom Auftraggeber genutzten Transportanhänger und Ladungssicherungsmittel geeignet sind, die gemäß der durch den Auftraggeber erstellten Vorgabedokumentation verladenen Ladeeinheiten sicher zu transportieren.

Die Vorgabedokumentation beinhaltet unter anderem Verladeanweisungen, Fahreranweisungen, Transportwege-Lagepläne mit Geschwindigkeitsvorgaben und die Festlegung der maximal zulässigen Traglast je Mafi auf 27.000 kg.

Aufgebaut wurde die Versuchsreihe wie folgt:

Nach der Segmentierung des gesamten Betriebsgeländes in Transporteinheiten-relevante Teilstrecken auf Basis eines Transportwege-Lageplans und eines Rundganges, wurden Streckenfahrten durchgeführt. Die Streckenfahrten auf den Teilstrecken wurden einzeln aufgezeichnet und mit den Vorgabegeschwindigkeiten abgefahren. Versuchsweise wurden einzelne Abschnitte mit höheren Geschwindigkeiten gefahren. Hauptergebnis der Streckenfahrten war die Ermittlung des höchsten, auf 80 ms gemittelten g-Wertes ($0,238 \text{ m/s}^2$) quer zur Fahrtrichtung, um festzustellen, mit welcher Beschleunigung die Ladung in Kurvenfahrten zur Seite gedrückt wird. Der Wert war Grundlage für die Kreisfahrten und die Zugversuche.

Die Vollbremsversuche wurden ergänzend durchgeführt, um Beschleunigungsdaten in Fahrtrichtung zu ermitteln.

Die dynamischen und statischen Versuche wurden an den Versuchstagen mit Unterstützung des Auftraggebers erfolgreich durchgeführt.



Hieraus ergeben sich Feststellungen und Empfehlungen.

Feststellungen:

- Die dynamischen Streckenfahrten haben gezeigt, dass die Versuchsladung unter Einhaltung der Ladungssicherungsmaßnahmen (Gummikeile, Holzbretter mit darauf befestigten Antirutschmatten, Geschwindigkeits- und Beladungsvorgaben) sicher auf dem Betriebsgelände bewegt werden konnte. Hierzu sei angemerkt, dass die Versuchsladung so ausgesucht wurde, dass ein möglichst geringer Reibwert zur Antirutschmatte sowie ein repräsentatives Gewicht mit mittleren Rohrlängen getestet wurde. Die Versuchsergebnisse können für Transportgüter mit geringer zu erwartenden Reibwerten zwischen Ladung und Antirutschmatten, sprich „schlechteren Ladungssicherungseigenschaften“, nicht herangezogen werden.
- Sie zeigten ebenfalls, dass es, bei korrekter Ladungssicherung entsprechend der Verlagerrichtlinie, zu geringen Verschiebungen der Ladung während der dynamischen Versuche kam. In einer Streckenfahrt verschob sich ein Rohr der unteren Lage durch eine Fahrbahnunebenheit bei 9 km/h, jedoch nicht bei 6 km/h. Bei den Vollbremsversuchen wurden Verschiebungen, insbesondere bei der Vollladung, der obersten Rohrlage von <10 mm gemessen. Dies betraf auch Versuche bei Geschwindigkeiten mit 6 km/h.

Empfehlungen:

- Nach Übernahme des Kamerasystems zur Personenerkennung, sollte dieses ebenfalls einem Test unterzogen werden, um die Risikoreduzierungsmaßnahmen zu verifizieren.

TÜV SÜD Auto Plus GmbH

Institut für Ladungssicherung
Industriestraße 30, D-48629 Metelen
Tel. +49 2556 507 8181
thorsten.ludwig@tuvsud.com



Die Versuche sind durch den Unterzeichner federführend in Zusammenarbeit mit Herrn Michael Sandfort und Herrn Daniel Niehenker nach bestem Wissen und Gewissen durchgeführt und in diesem Versuchsbericht dokumentiert worden.

TÜV SÜD
Metelen, 11.06.2024

Sachverständiger für Ladungssicherung
Dirk Merker

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Merker', written over a faint horizontal line.

Vorliegendes Druckexemplar wurde auf elektronischem Wege erzeugt. Der benannte Sachverständige versichert, dass der Inhalt die von ihm getroffenen Feststellungen korrekt wiedergibt. Es ist ohne Originalunterschrift gültig.



Anhang 1 – Ladungssicherungskonzept

Das vom Kunden erstellte Ladungssicherungskonzept beinhaltet folgende Dokumente, welche dem Unterzeichner in der genannten Version vorlagen:

- Betriebsanweisung „Rohrtransportwagen im innerbetrieblichen Betrieb“
T 12.01.015_S_L, Stand: 11/2023
beinhaltet u.a.: Auflistung der Mafi
- Arbeitsanweisung „Verladerichtlinie – Beladen von Rohrtransportwagen“
AA 12.01.012_S_L, Stand 12/2023
beinhaltet u.a.: Beschreibung der Ladungssicherungsmaßnahmen
- Arbeitsanweisung „Fahreranweisung“
AA 12.01.015_S_L, Stand: 12/2023
beinhaltet u.a. im Anhang einen Übersichtsplan, oben „Transportwege-Plan“
genannt, der Gefahrenpunkte und max. zulässige Geschwindigkeiten für den
innerbetrieblichen Transport ausweist.



Anhang 2 – Aufstellung der Rohrtransportwagen

Nr.	Fabrikat	Typ	Fabr.-Nr.	Länge [m]	Baujahr	Ausführung	Ausstattung / Nutzung alt		Ausstattung / Nutzung MLP Praxis		
							max. Zuladung	Bremsanlage	max. Zuladung	max. Geschw.	Bremsanlage
1	Plan	11/4/16	1533-1	8	1981	LKW	16t	ohne	16t	20 km/h	ohne
2	Plan	11/4/16	1533-1	8	1981	LKW	16t	ohne	16t	20 km/h	ohne
3	Plan	11/4/20	1917-1	11	1982	LKW	20t	ohne	20t	20 km/h	ohne
4	Plan	11/4/20	1917-2	11	1982	LKW	20t	ohne	20t	20 km/h	ohne
5	Plan	11/4/20	2417	11	1984	LKW	20t	ohne	20t	20 km/h	ohne
6	Plan	11/4	2639-1	11	1984	LKW	20t	ohne	20t	20 km/h	ohne
7	Plan	11/4	2639-2	11	1984	LKW	20t	ohne	20t	20 km/h	ohne
8	Plan	11/4	3169	11	1985	LKW	20t	ohne	20t	20 km/h	ohne
9	Mafi	1170-4S	222419/1	11	1986	LKW	20t	vorhanden	20t	20 km/h	ohne
10	Mafi	1170-4S	222419/2	11	1986	LKW	20t	vorhanden	20t	20 km/h	ohne
11	Mafi	1170-4	226213/1	13	1989	LKW	20t	vorhanden	20t	20 km/h	ohne
12	Mafi	1170-4	224027	13	1987	LKW	20t	vorhanden	20t	20 km/h	ohne



Nr.	Fabrikat	Typ	Fabr.-Nr.	Länge [m]	Baujahr	Ausführung	Ausstattung / Nutzung alt		Ausstattung / Nutzung MLP Praxis		
							max. Zuladung	Bremsanlage	max. Zuladung	max. Geschw.	Bremsanlage
13	Mafi	1170-4	226213/2	13	1989	MASE	20t	vorhanden	20t	20 km/h	ohne
14	Mafi	1170-4S	227895/1	13	1991	LKW	40t	vorhanden	27t	20 km/h	ohne
15	Mafi	1170-4S	227895/2	13	1991	LKW	40t	vorhanden	27t	20 km/h	ohne
16	Plan	70-4	7671-1	13	1992	LKW	40t	vorhanden	27t	20 km/h	ohne
17	Plan	70-4	7671-2	13	1992	LKW	40t	vorhanden	27t	20 km/h	ohne
18	Plan	70-4	8680-2	13	1993	LKW	40t	vorhanden	27t	20 km/h	ohne
19	Plan	70-4	8680-1	13	1993	LKW	40t	vorhanden	27t	20 km/h	ohne
20	Plan	70-4	10.995-1	13	1995	LKW	50t	vorhanden	27t	20 km/h	ohne
21	Plan	70-4	10.995-2	13	1995	LKW	50t	vorhanden	27t	20 km/h	ohne
22	Plan	70-4	10.995-5	13	1995	LKW	50t	vorhanden	27t	20 km/h	ohne
23	Plan	70-4	10.995-4	13	1995	LKW	50t	vorhanden	27t	20 km/h	ohne
24	Plan	70-4	10.995-3	13	1995	LKW	50t	vorhanden	27t	20 km/h	ohne
25	Fels	A70-4S	A1008109-1	13	1998	Waggon	50t	vorhanden	27t	20 km/h	ohne
26	Fels	A70-4S	A1008109-2	13	1998	Waggon	50t	vorhanden	27t	20 km/h	ohne
27	Fels	A70-4S	A1008109-3	13	1998	Waggon	50t	vorhanden	27t	20 km/h	ohne
28	Plan	11-4	3170	11	1985	LKW	20t	vorhanden	20t	20 km/h	ohne
29	Mafi	1170-4	653087	13	2006	Waggon	50t	ohne	27t	20 km/h	ohne

TÜV SÜD Auto Plus GmbH

Institut für Ladungssicherung
Industriestraße 30, D-48629 Metelen
Tel. +49 2556 507 8181
thorsten.ludwig@tuvsud.com



Nr.	Fabrikat	Typ	Fabr.-Nr.	Länge [m]	Baujahr	Ausführung	Ausstattung / Nutzung alt		Ausstattung / Nutzung MLP Praxis		
							max. Zuladung	Brems- anlage	max. Zuladung	max. Geschw.	Brems- anlage
30	Mafi	1170-4	653198	13	2008	Waggon	50t	ohne	27t	20 km/h	ohne

Anhang 3 – Übersichtsplan / Transportwege-Plan

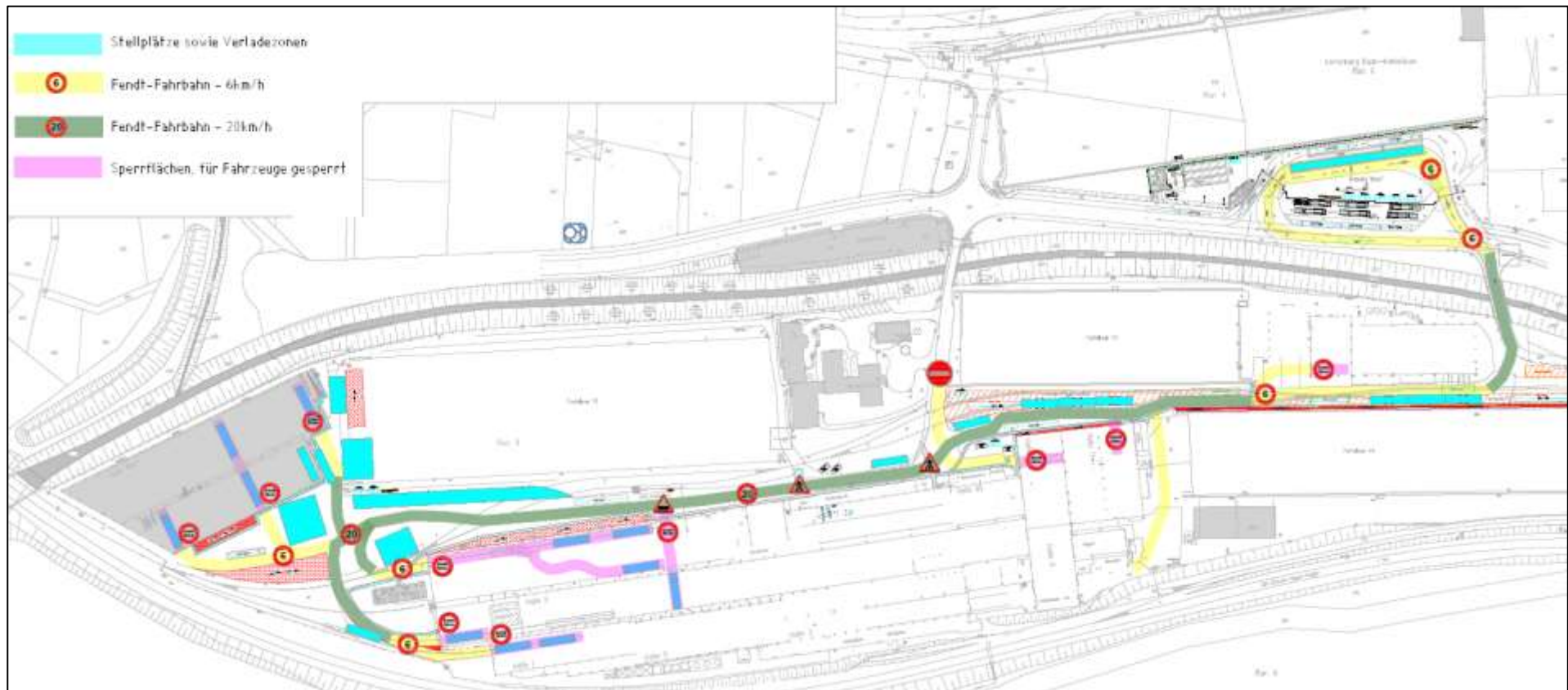


Abbildung 20

TÜV SÜD Auto Plus GmbH

Institut für Ladungssicherung
Industriestraße 30, D-48629 Metelen
Tel. +49 2556 507 8181
thorsten.ludwig@tuvsud.com



Anhang 4 – Einzelkurvendokumentation

Nachstehend sind alle einzelnen relevanten Kurven mit den zum Versuchstag aktuellen Angaben auf dem Transportwege-Lageplan (siehe Anhang 3) genannt. Bei der Aufnahme der Kurven am ersten Versuchstag wurden noch weitere Kurvennummern vergeben, die nach Einzelgesprächen mit den Beteiligten jedoch als irrelevant festgestellt wurden. Daher bestehen Lücken in der fortlaufenden Nummerierung der Kurven.

Zusätzlich zu den Kurven wurden auch zwei Kreuzungen auf dem Betriebsgelände definiert.



Abbildung 21, Lageplan Kreuzung 1, 20 km/h



Abbildung 22, Kreuzung 1

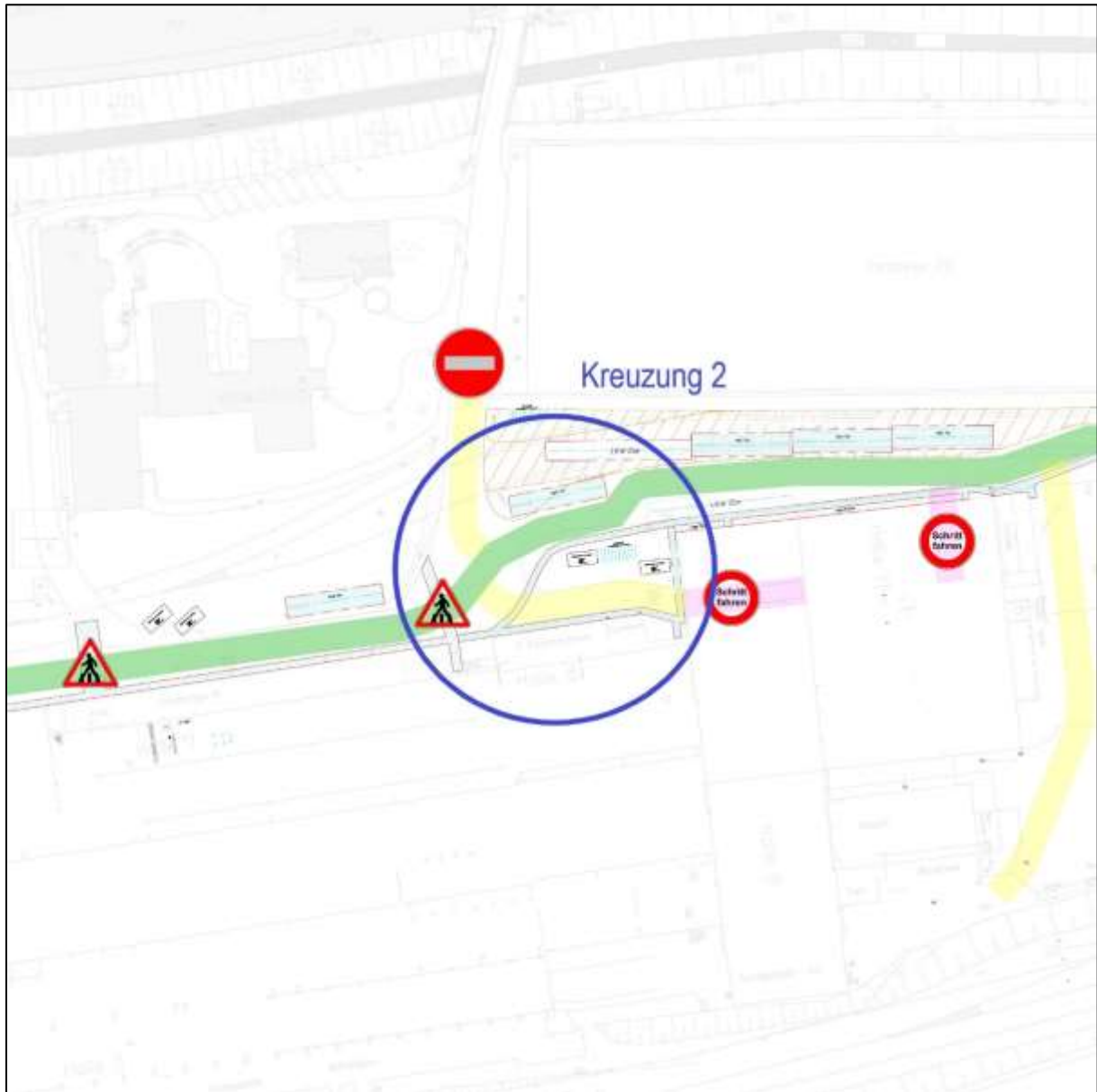


Abbildung 23, Lageplan Kreuzung 2, 20 km/h



Abbildung 24, Kreuzung 2

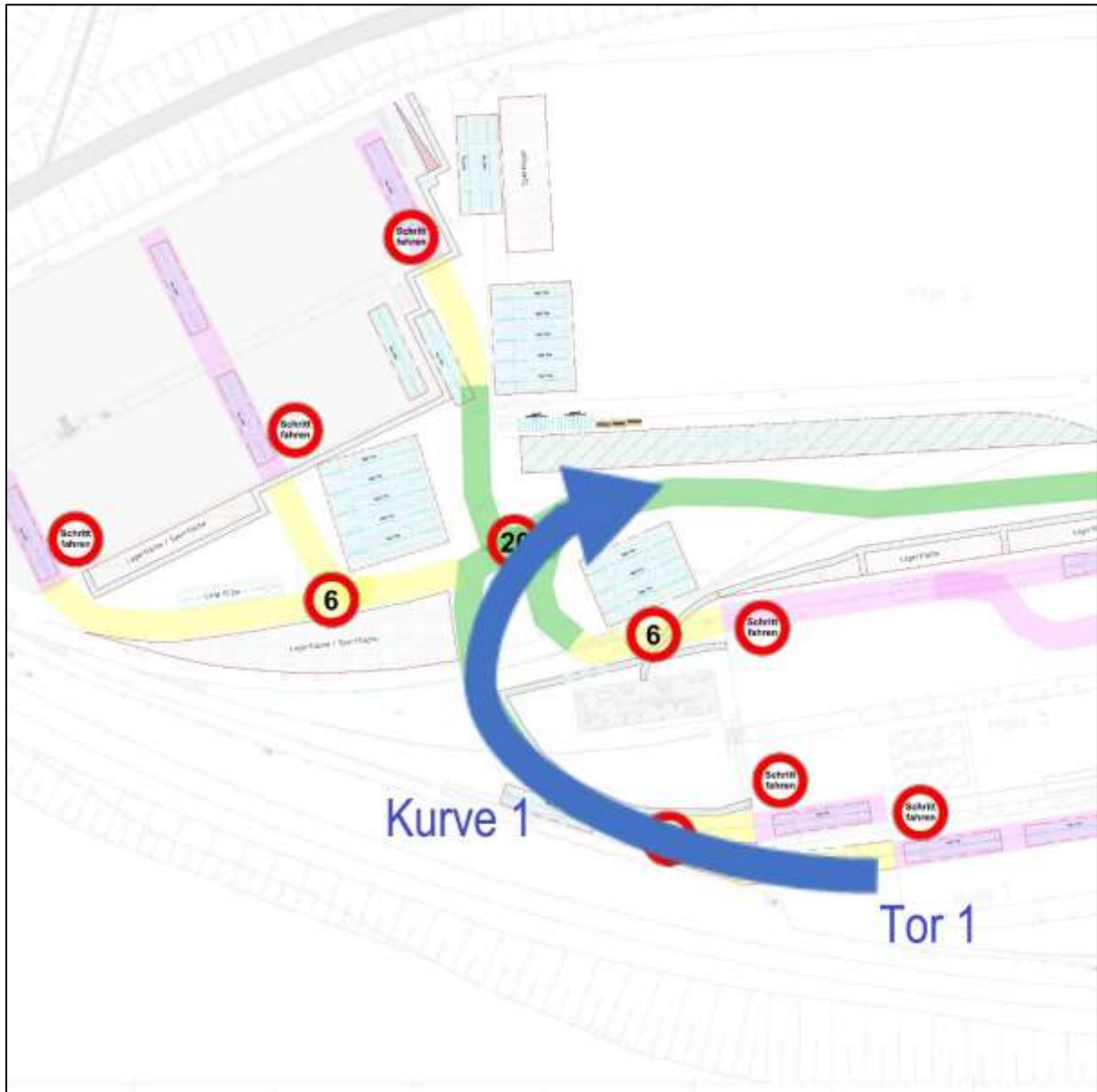


Abbildung 25, Lageplan Kurve K1
Bem.: K2 und K9 münden in K1.
Geschwindigkeit: 6 und 20 km/h



Abbildung 26, Foto 1 von K1



Abbildung 27, Foto 2 von K1



Abbildung 28, Foto 3 von K1

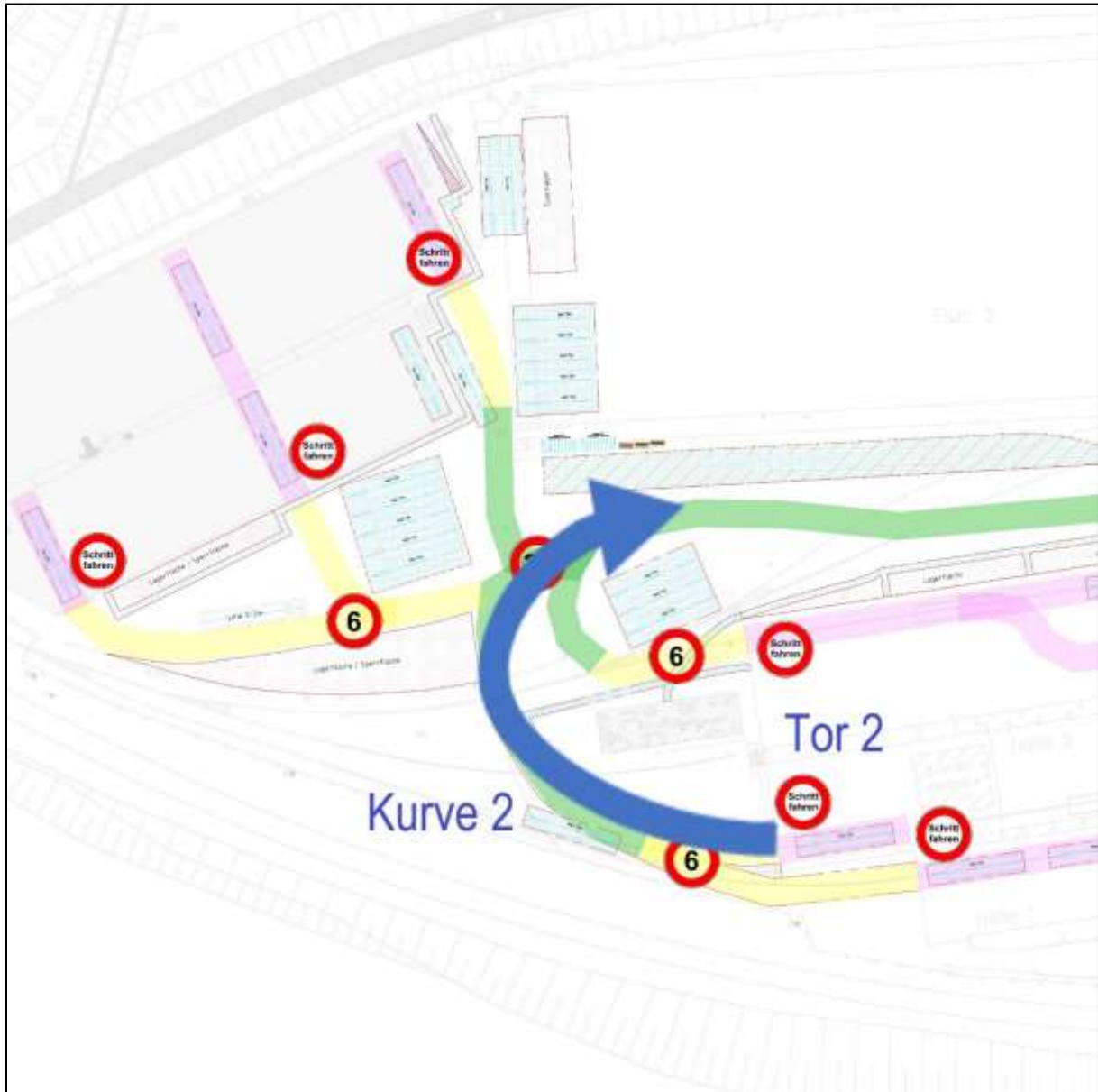


Abbildung 29, Lageplan Kurve „K2“
Bem.: K2 mündet in K1. Geschwindigkeit: 6 km/h



Abbildung 30, Foto von K2



*Abbildung 31, Lageplan Kurve „K3“
Bem.: Mafi-Werkstatt, nur unbeladen.
Geschwindigkeit: 6 km/h*



Abbildung 32, Kurve „K3“

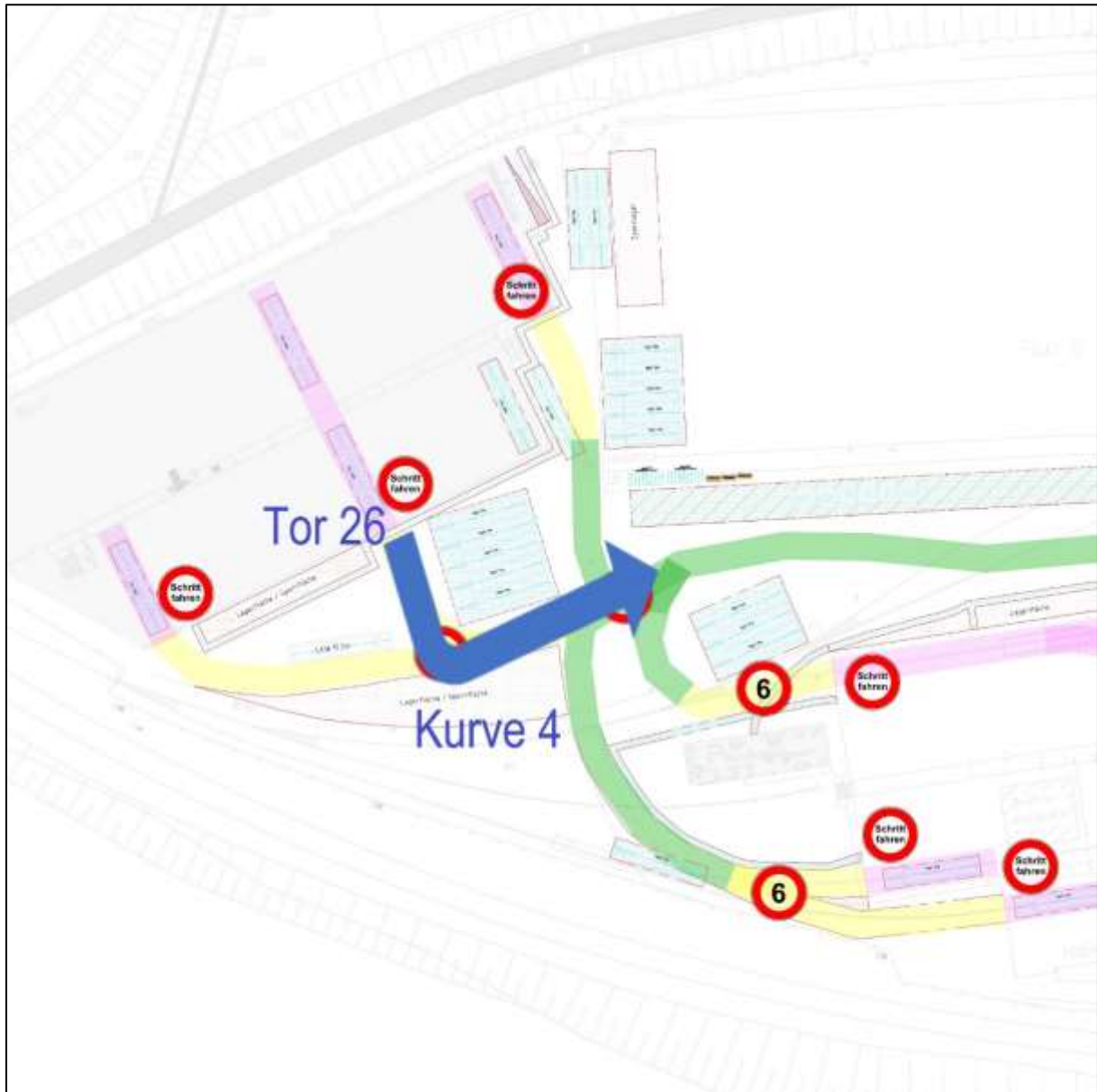


Abbildung 33, Lageplan Kurve „K4“
Geschwindigkeit: 6 km/h



Abbildung 34, Foto von K4



Abbildung 35, Lageplan Kurve „K5“
Bem.: K5 mündet in K6. Geschwindigkeit: 6 km/h



Abbildung 36, Kurve „K5“

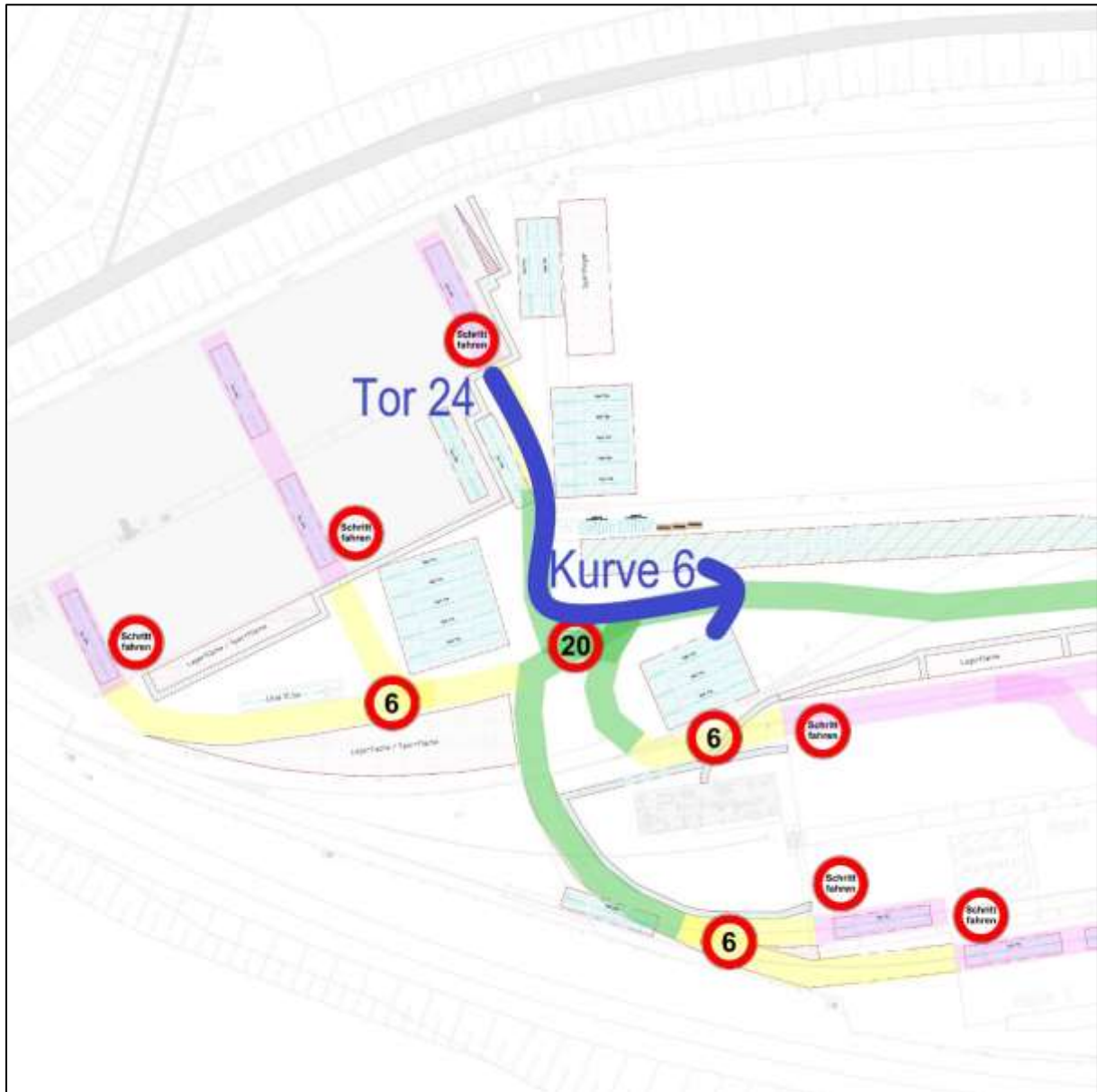


Abbildung 37, Lageplan Kurve „K6“
Bem.: K5 mündet in K6. Geschwindigkeit: 6 und 20 km/h



Abbildung 38, Kurve „K6“

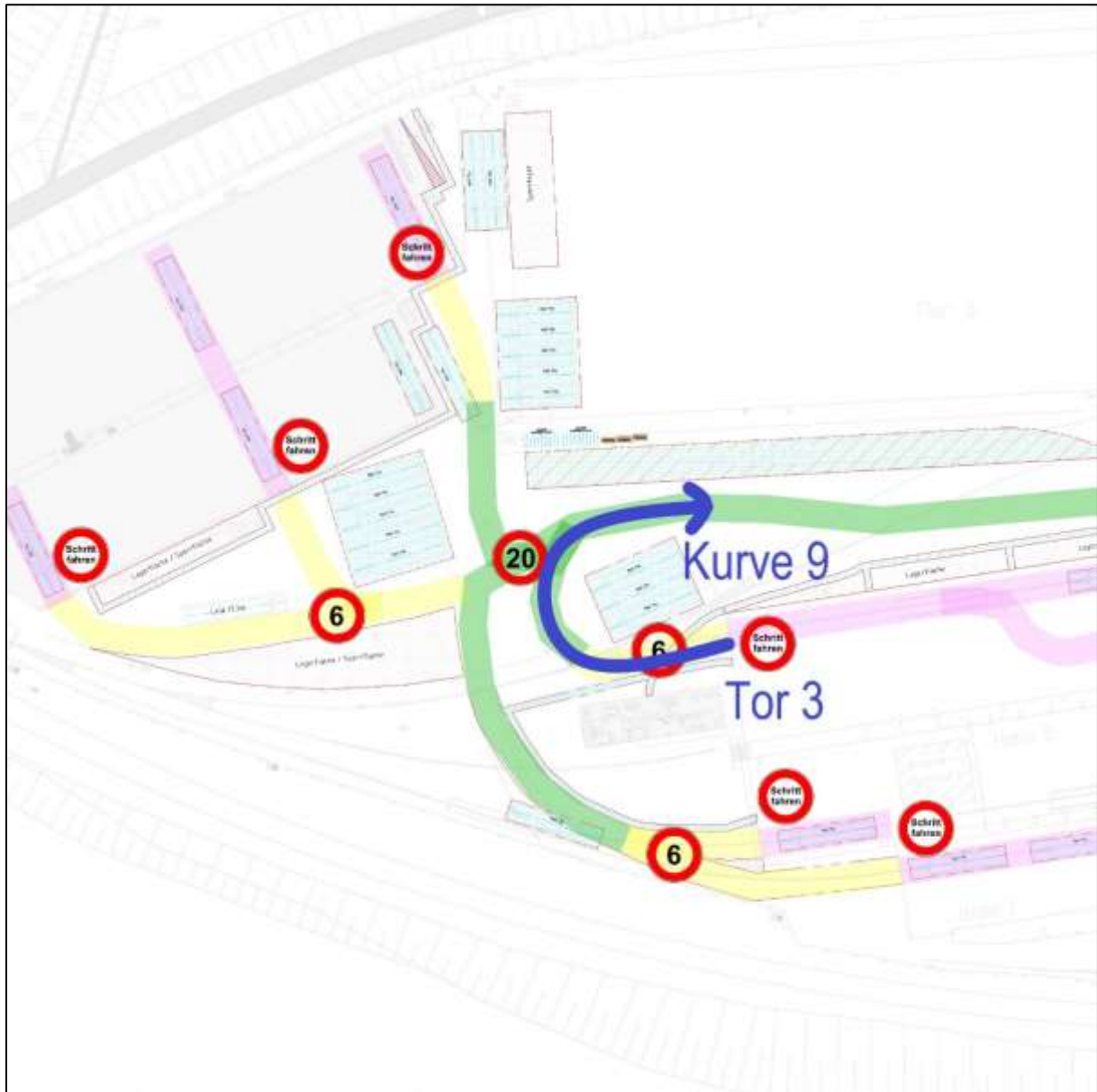
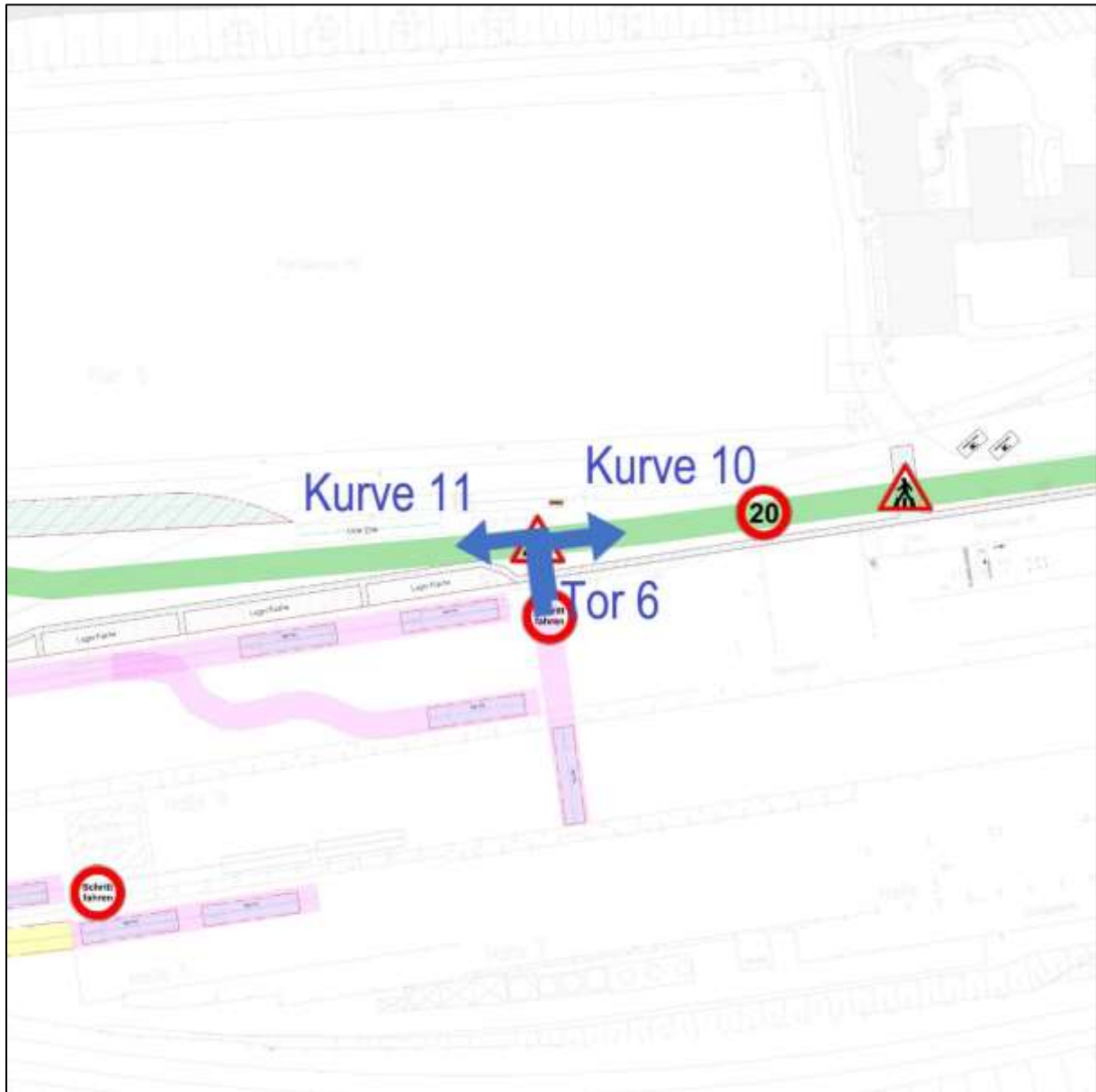


Abbildung 39, Lageplan Kurve „K9“
Bem.: K9 mündet in K1. Geschwindigkeit: 6 und 20 km/h



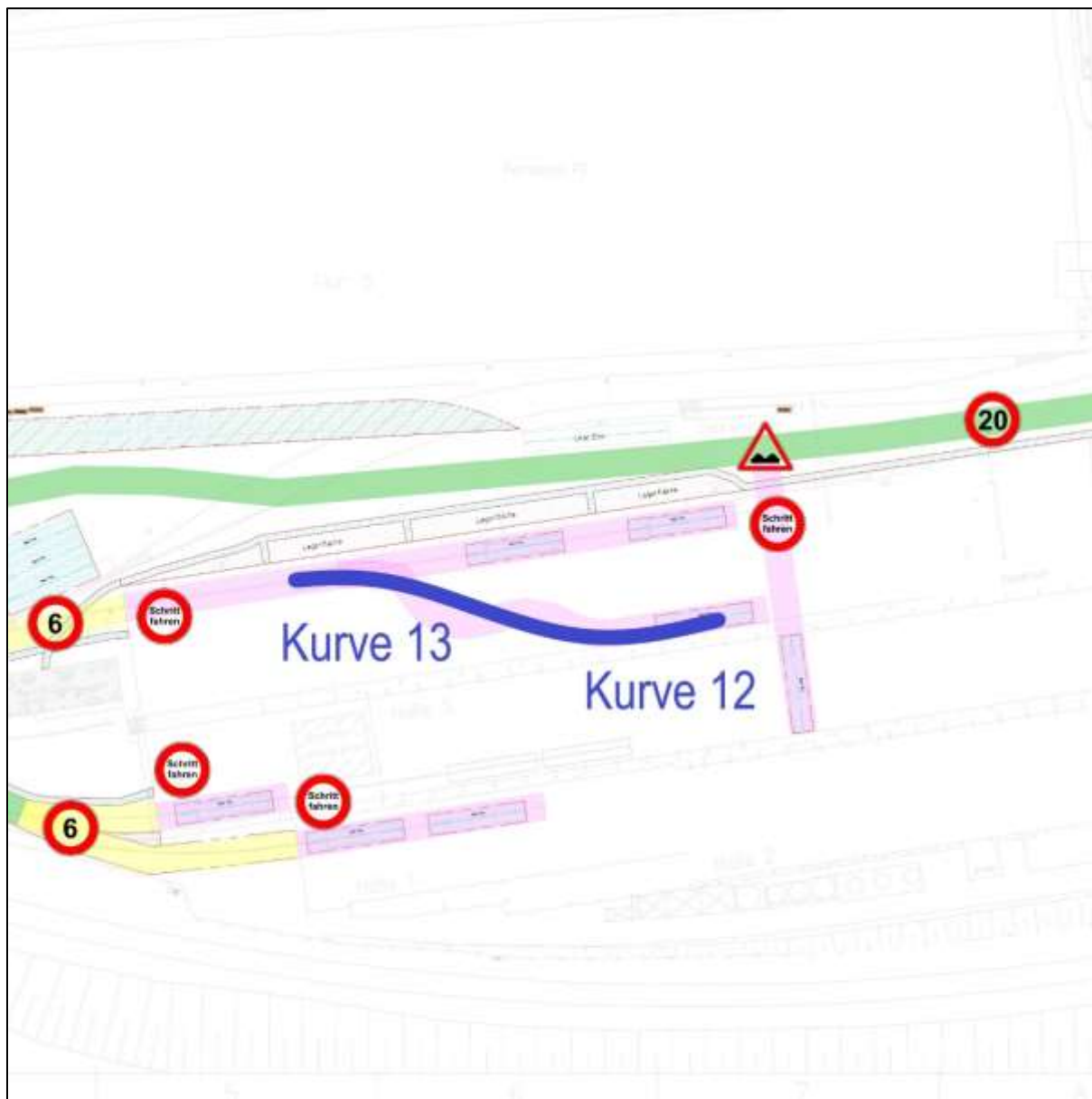
Abbildung 40, Lageplan Kurve „K9“



*Abbildung 41, Lageplan Kurve „K10“ & „K11“
Geschwindigkeit: 6 und 20 km/h*



Abbildung 42, Kurve „K10“ & „K11“



*Abbildung 43, Lageplan Kurve „K12“ & „K13“
Geschwindigkeit: 6 km/h. Bem.: Im Fahrversuch nicht gefahren. Leere Mafis werden
rückwärts reingefahren und beladen mit rohschwarzen Rohren rausgezogen.*



Abbildung 44, Kurve „K12“ & „K13“



*Abbildung 45, Lageplan Kurve „K14a“ & „K15a“
Geschwindigkeit: 20 km/h. Bem.: „a“ ohne bes. Bedeutung, Kurven werden immer
zusammen befahren.*



Abbildung 46, Kurve „K14a“ & „K15a“

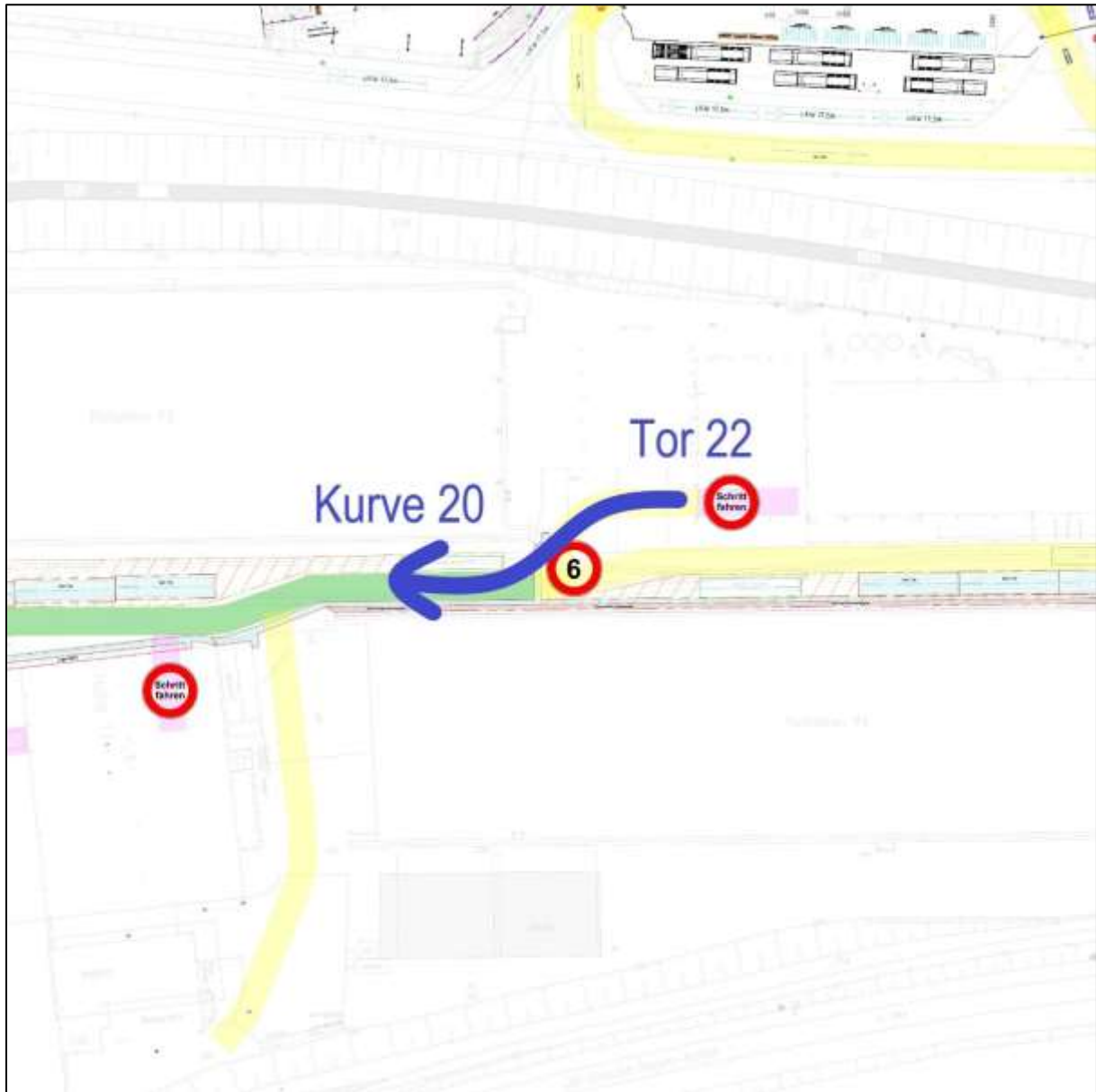
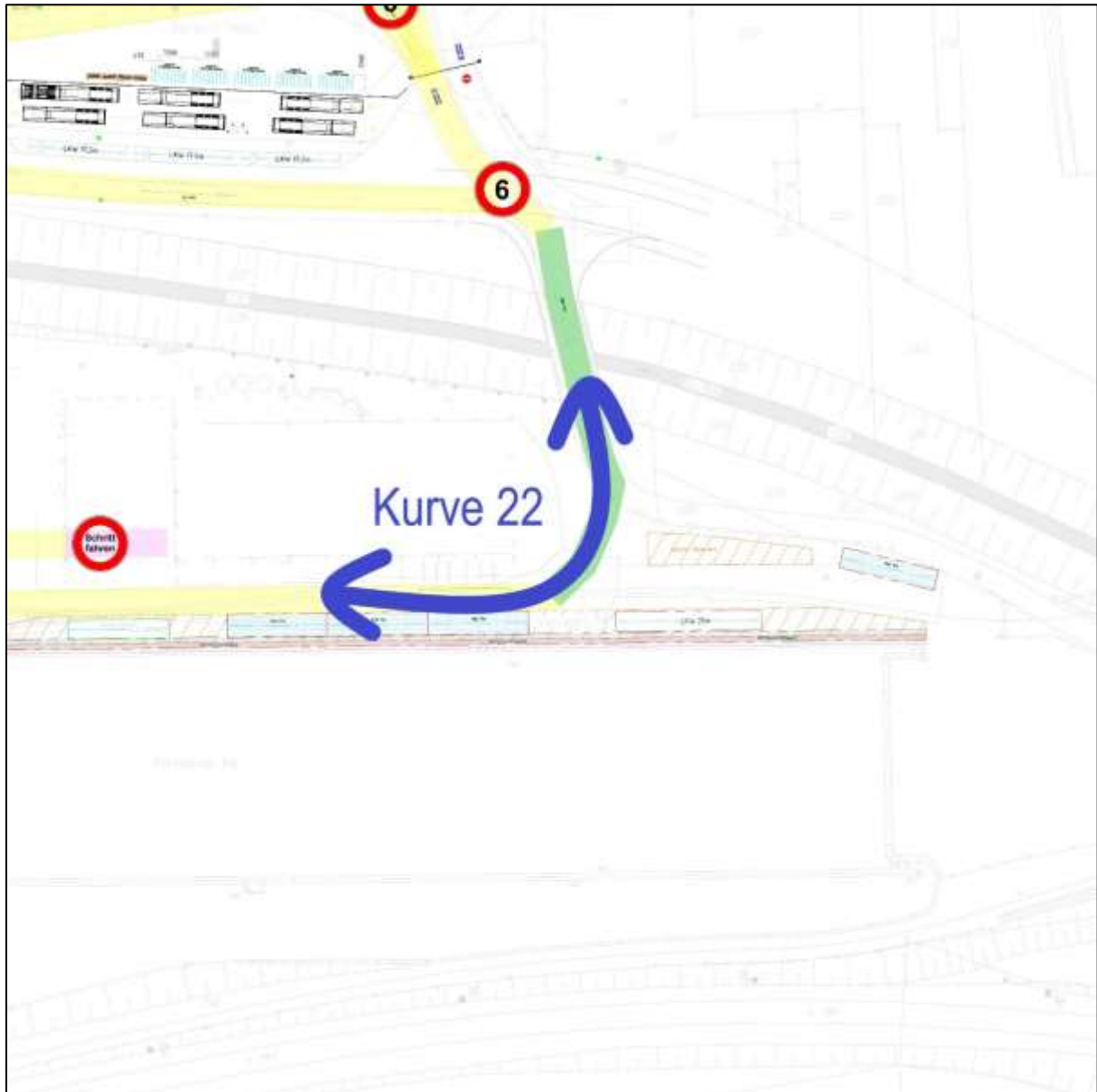


Abbildung 47, Lageplan Kurve „K20“ Geschwindigkeit: 6 km/h



Abbildung 48, Kurve „K20“



*Abbildung 49, Lageplan Kurve „K22“.
Geschwindigkeit: 6 km/h*



Abbildung 50, Kurve „K22“

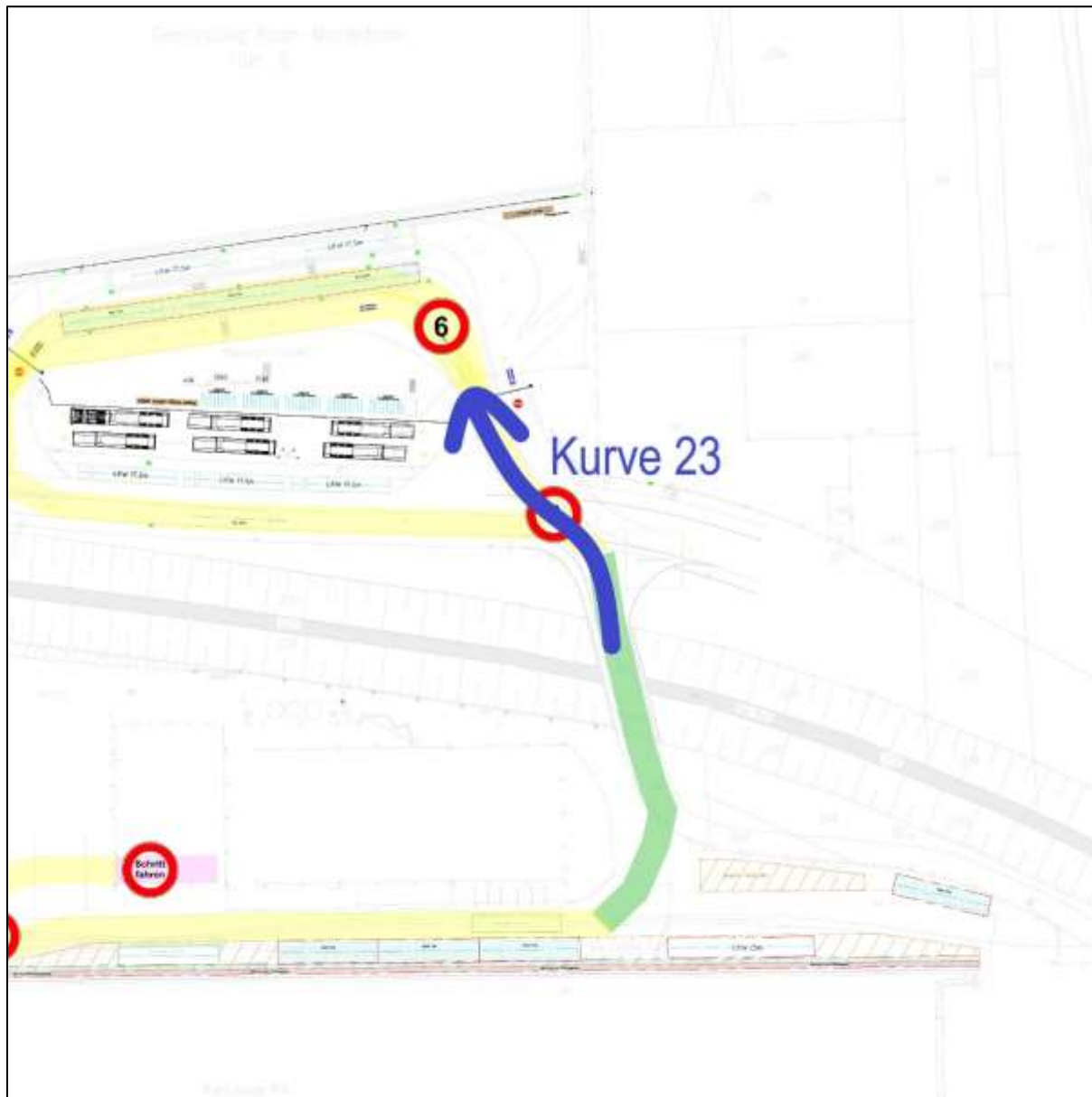


Abbildung 51, Lageplan Kurve „K23“

Geschwindigkeit: 6 km/h. Bem.: zukünftige Verkehrsführung. Auf Grund Länge der Transporteinheit und Position der Schranke an P5 nur zusammen mit K26 zu befahren.



Abbildung 52, Kurve „K23“

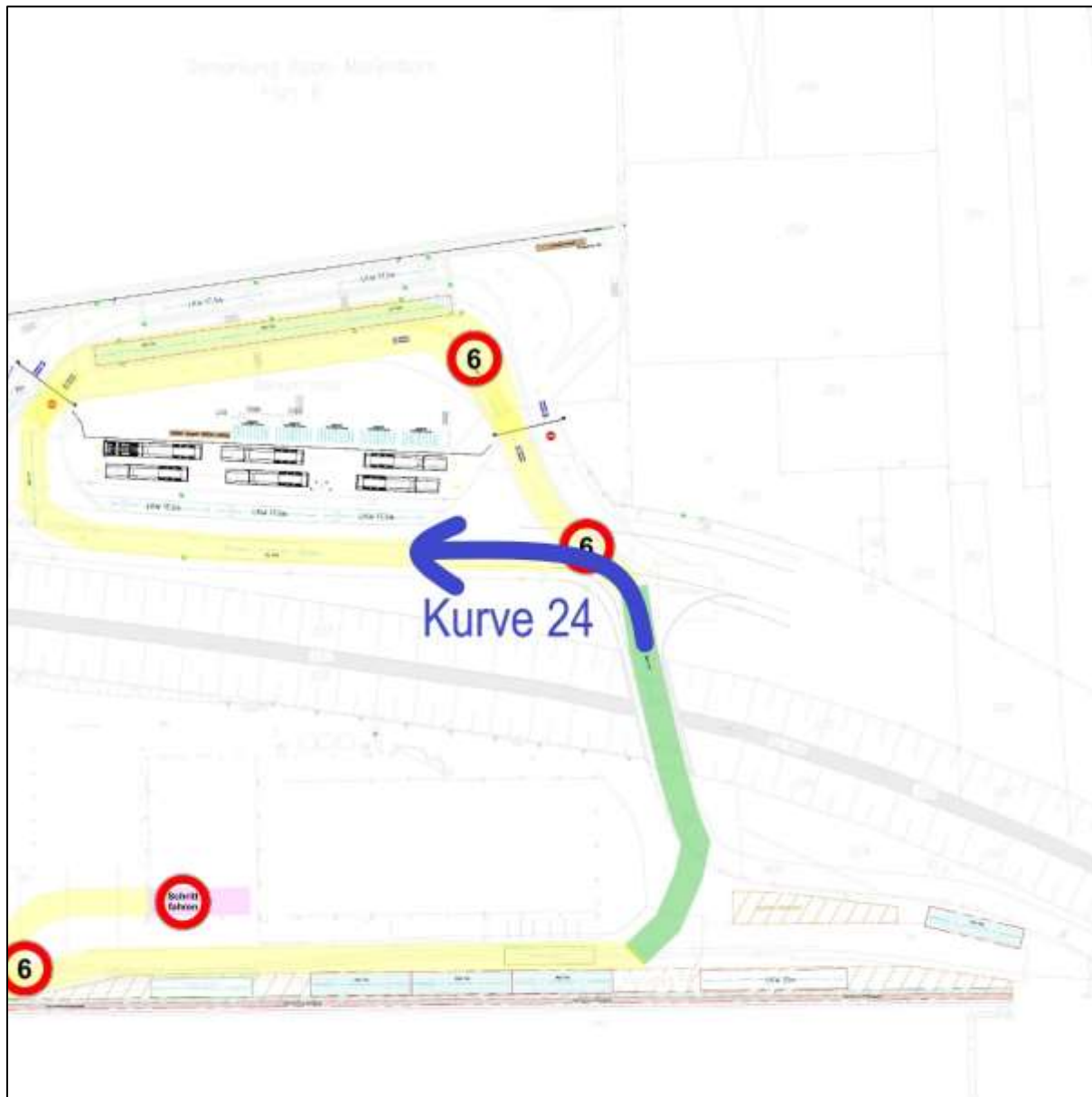


Abbildung 53, Lageplan Kurve „K24“
Geschwindigkeit: 6 km/h. Bem.: aktuelle Verkehrsführung



Abbildung 54, Kurve „K24“

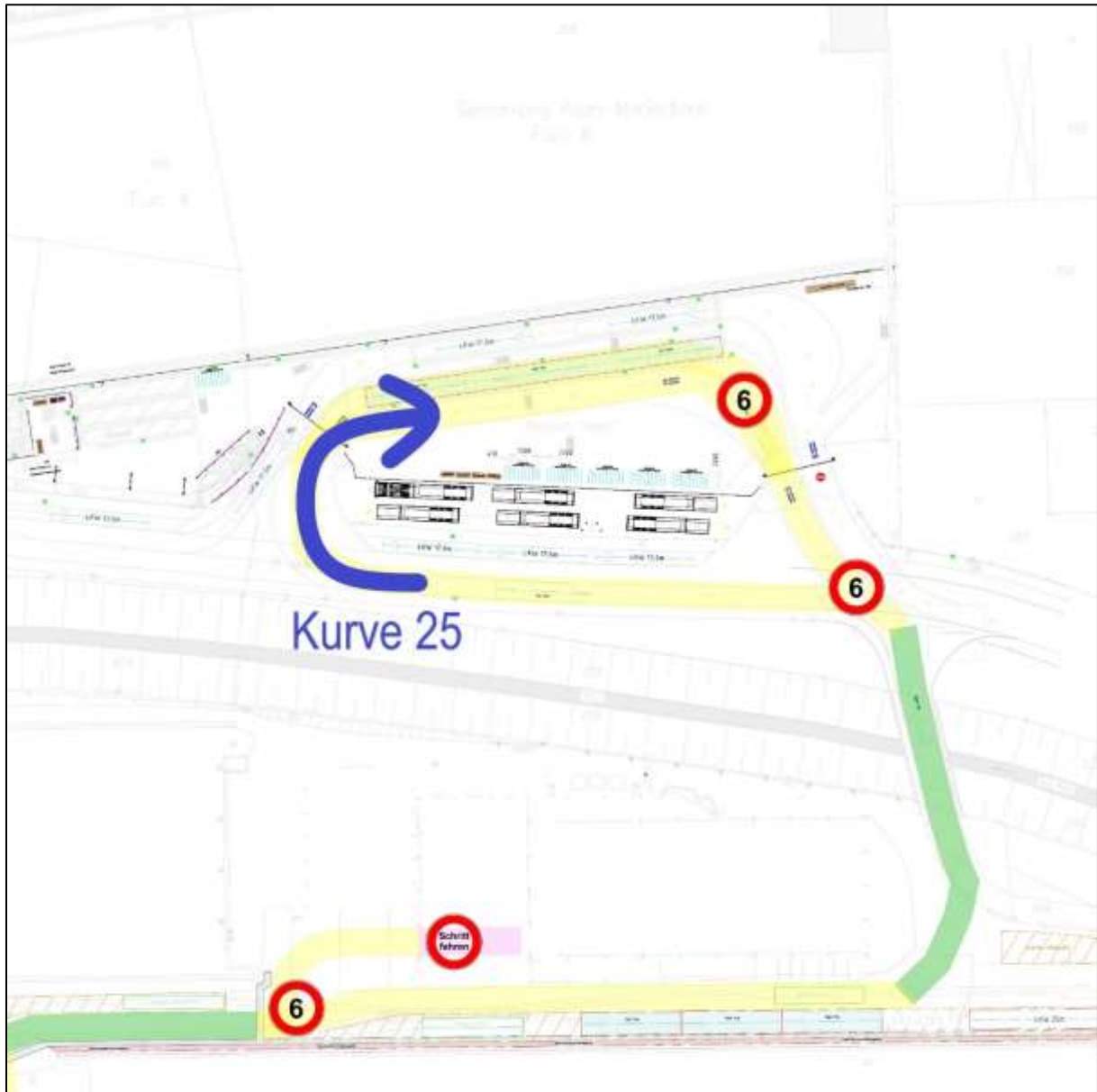


Abbildung 55, Lageplan Kurve „K25“
Geschwindigkeit: 6 km/h



Abbildung 56, Kurve „K25“

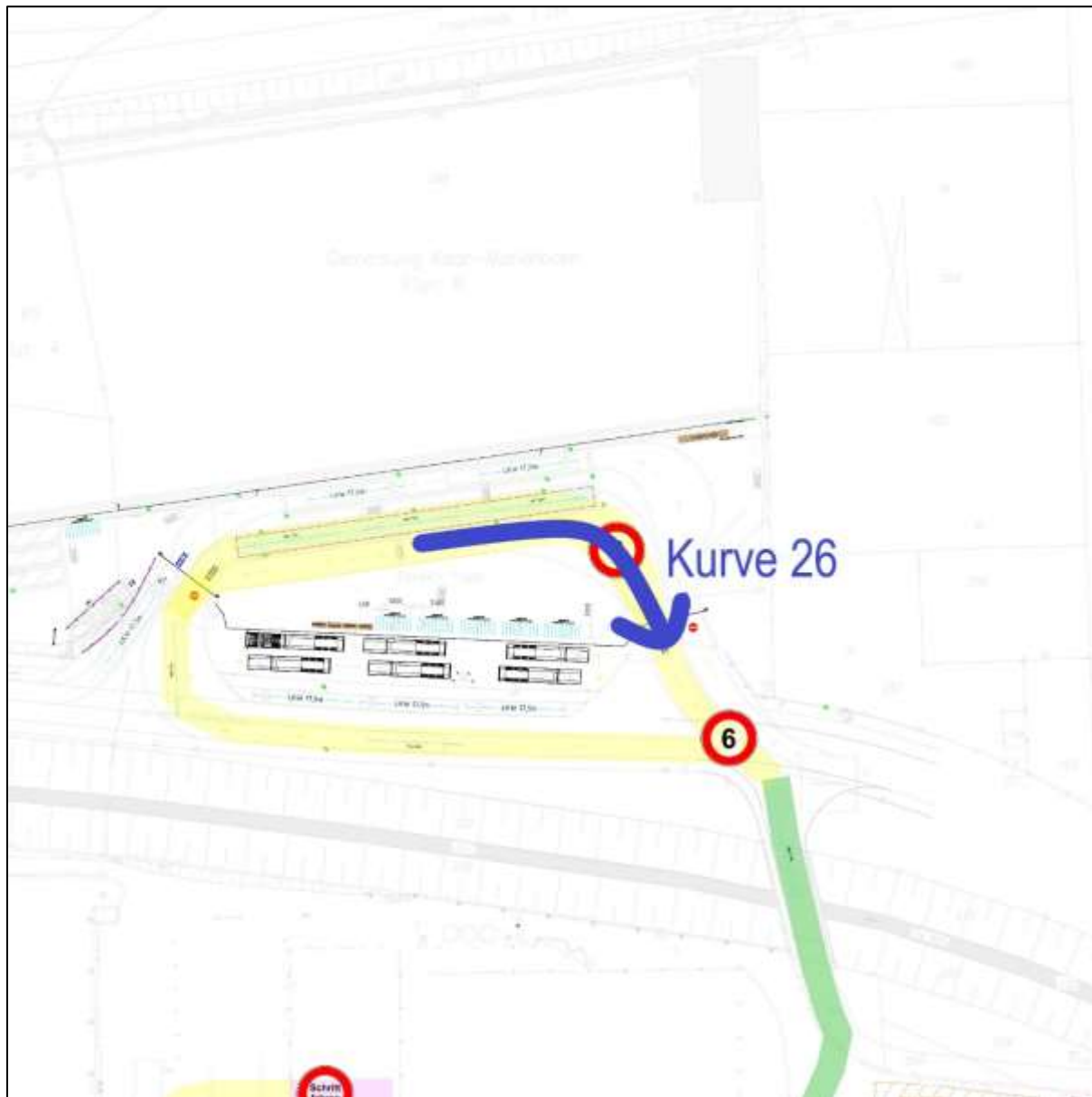


Abbildung 57, Lageplan Kurve „K26“

Geschwindigkeit: 6 km/h. Bem.: zukünftige Verkehrsführung. Auf Grund Länge der Transporteinheit und Position der Schranke an P5 nur zusammen mit K23 zu befahren.



Abbildung 58, Kurve „K26“

Anhang 5 – Messtechnik



Abbildung 59, Messtechnik



Abbildung 60, Messtechnik



Abbildung 61, Messtechnik



Abbildung 62, Messtechnik