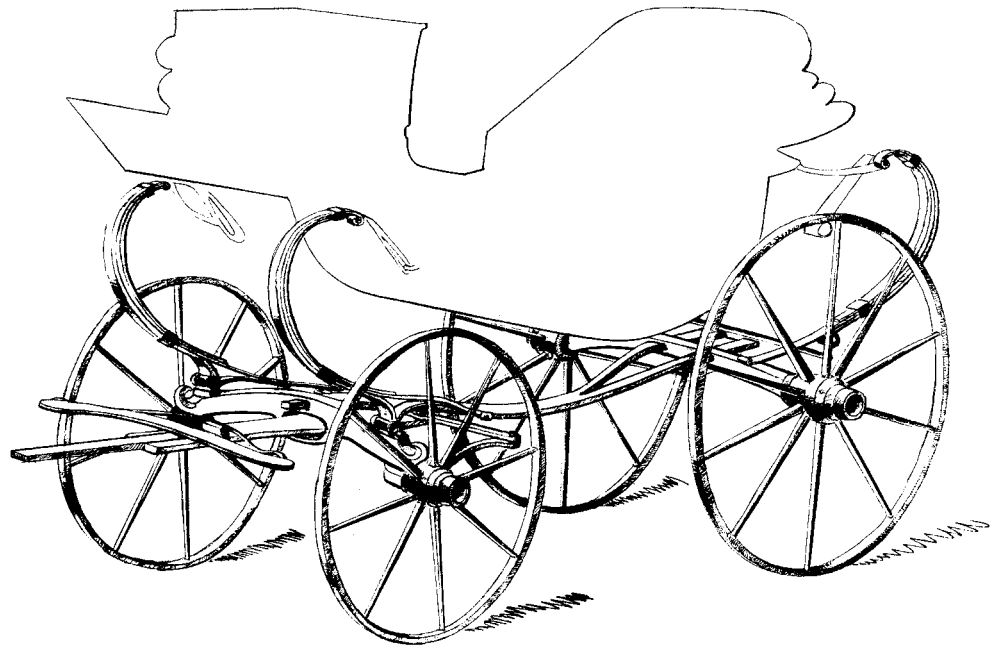


Technikgeschichte
Modelle und Rekonstruktionen



Erik Eckermann

Die Achsschenkelenkung und andere Fahrzeug-Lenksysteme



Deutsches Museum

Technikgeschichte
Modelle und Rekonstruktionen

Erik Eckermann

Die Achsschenkelenkung und andere Fahrzeug-Lenksysteme



Deutsches Museum

Die Beitragsreihe „Technikgeschichte und Berufsbildung, Modelle und Rekonstruktionen“ wird im Rahmen eines Projektes von der Hauptabteilung Programme am Deutschen Museum betreut und von den jeweiligen Fachabteilungen des Deutschen Museums unterstützt.

Diese Veröffentlichung wurde mit Mitteln des Bundesministers für Bildung und Wissenschaft gefördert.

In der Reihe „Technikgeschichte“ sind bereits erschienen:

Das Stereoskop

Die Rennspindel

Der Jacquardwebstuhl

Der Edisonzähler

Der Page-Motor

Der Tretradkran

Die Lichtbogenlampe

Die Meßschraube

Die Feilenhaumaschine

Der Tesla-Motor

Die Entstehung der Funktechnik

Was nützen historische Modelle und Rekonstruktionen?

Redaktion:

Jürgen Teichmann

Gesamtherstellung:

prograph gmbH, München

Copyright © 1998 by Deutsches Museum München

ISBN-Nummer: 3-924183-51-1

Inhalt

Vorwort	4
Konzeption der Ausbildungsmaterialien	4
Aufbau der Ausbildungsmaterialien	5
1 Einleitung	7
2 Lenkvorrichtungen, Lenkungsauslegungen und die Anordnung gelenkter Räder	7
3 Lenkungslose Schleif-, Gleit- und Fahrzeuge	9
3.1 Schleif- und Gleitzeuge	9
3.2 Vierrad-Fahrzeuge ohne Lenkung	10
4 Schwenkachslenkung	11
4.1 Reibnagel-Lenkung	11
4.2 Reibscheit-Lenkung	12
4.3 Drehschemel-Lenkung	12
4.4 Drehkranz- oder Drehgestell-Lenkung	15
4.5 Eigenschaften und Einordnung der Schwenkachslenkung	18
5 Knicklenkung	19
5.1 Knicklenkung bei pferdegezogenen Wagen	19
5.2 Knicklenkung bei motorisierten Fahrzeugen	20
6 Einzelradlenkung	22
6.1 Gabellenkung	22
6.2 Ringschienen- und Ringrad-Lenkung	24
7 Achsschenkellenkung	25
7.1 Definition, Bauarten, Kriterien	25
7.2 Vorläufer der Achsschenkellenkung	27
7.3 Die Achsschenkellenkung von Lankensperger/Ackermann	27
7.4 Lenkkonstruktionen ohne Ackermann-Winkel	31
7.5 Lenkkonstruktionen mit Ackermann-Winkel	33
7.6 Die Achsschenkellenkung wird obligatorisch	34
7.7 Eigenschaften und Einordnung der Achsschenkellenkung	39
8 Georg Lankensperger – Erfinder der Achsschenkellenkung	41
9 Anmerkungen/Literaturauswahl	46
10 Bildquellen, Danksagungen	48
11 Rekonstruktion für ein Funktionsmodell 1:5	49
Konstruktionszeichnungen	50

Vorwort

Im Gegensatz zur Allgemeingeschichte hat die Geschichte der Technik nach wie vor keinen Platz im anerkannten Kanon der schulischen Bildung. Technikgeschichtliche Themenbereiche sind in den Lehrplänen der allgemeinbildenden Schulen nicht vorgesehen. Obwohl die Technik seit Beginn der Industrialisierung vor rund zweihundert Jahren wie keine andere Kraft in immer schnellerem Rhythmus weltweit die gesellschaftlichen Entwicklungen – und die Natur – beeinflusst, gehört es immer noch nicht zum Selbstverständnis der Industriegesellschaft, sich mit den historischen Entwicklungsbedingungen dieser Kraft kritisch auseinanderzusetzen. Wie notwendig eine derartige Auseinandersetzung ist, verdeutlicht auch die aktuelle Umwelt – und Technikdiskussion, in der allzu oft Technikglauben und Technikkritik nur emotional aufeinanderprallen.

In der Debatte um eine sozial verträgliche und umweltschonende Technik kann gerade auch die kritische Vergegenwärtigung der historischen Entwicklung von Technik Vorurteile abbauen helfen und zur Versachlichung beitragen.

An diesem Ziel ist auch das vom Deutschen Museum durchgeführte und vom Bundesminister für Bildung und Wissenschaft geförderte Projekt „Technikgeschichte – Modelle und Rekonstruktionen“ orientiert. Mit diesem Projekt wurde erstmals der Versuch unternommen, technikgeschichtliche Zusammenhänge durch den Nachbau historischer Erfindungen begreifbar zu machen und für die Berufsbildung in ausbildungsgerechter Form anzubieten. Die hierzu erarbeiteten Materialien sind vor allem für den Einsatz in der betrieblichen Ausbildung konzipiert und enthalten alle Informationen, die für eine lebendige praktische und theoretische Beschäftigung mit technikhistorischen Fragestellungen und Problemlösungen erforderlich sind.

Konzeption der Ausbildungsmaterialien

Das didaktische Konzept für die zu erstellenden technikgeschichtlichen Ausbildungsmaterialien wurde gemeinsam von Mitarbeitern des Deutschen Museums und betrieblichen Ausbildern entwickelt. Es ist methodisch an der in der Praxis der betrieblichen Ausbildung bereits bewährten Unterrichtsform der „Projektarbeit“ orientiert.

Im Zentrum dieser Unterrichtseinheiten steht jeweils der Nachbau einer technischen Erfindung, die technikhistorisch bedeutsam und deren konstruktive wie fertigungstechnische Anforderungen auch für betriebliche Ausbildungsziele von Interesse sind. Dem Nachbau voran geht die Klärung der besonderen sozialen, ökonomischen und technischen Bedingungen der jeweiligen historischen Situation, innerhalb derer diese technische Erfindung erfolgte und sich als Problemlösung mehr oder weniger rasch durchsetzen konnte. Aufgrund der hierbei gewonnenen Informationen ermöglicht der praktische Nachbau dieser Erfindung in „nacherfindenden“ Arbeitsschritten und darauf aufbauenden Versuchen ein umfassenderes Verständnis für die gefundene historische Problemlösung und der ihr zugrundeliegenden technischen und naturwissenschaftlichen Prinzipien. Abgeschlossen wird die Projektarbeit durch einen Blick auf die Folgen dieser Erfindung für die Weiterentwicklung dieser Technik und ihrer gesellschaftlichen Bedeutung bis hin zu aktuellen Problemen, deren Lösung heute als dringend empfunden wird.

Aufbau der Ausbildungsmaterialien

Die Ausbildungsmittel, die in erster Linie für die Hand des Ausbilders gedacht sind, haben den Charakter einer Materialsammlung. Sie sind so aufgebaut, daß die für die angestrebten Ziele der Projektarbeit benötigten Informationen auch getrennt benutzt werden können:

- Darstellung der jeweils thematisierten technischen Entwicklung und ihrer historischen Bedingungen (Ursprung, wichtige Entwicklungsschritte, Gegenwart);
- historische Abbildungen mit kurzen Erläuterungen zur Veranschaulichung der geschichtlichen Entwicklung;
- Darstellung der spezifischen historischen Situation, die zur Erfindung oder Entwicklung des zum Nachbau vorgesehenen Objekts führte. Dargestellt werden die vom Erfinder vorgefundenen Voraussetzungen und Probleme, deren Lösung und Bedeutung für die weitere Entwicklung;
- kurzer biographischer Abriss der Erfinderpersönlichkeit;
- für den Nachbau erforderliche Informationen und Konstruktionszeichnungen, dazu einige didaktische Hinweise zur Organisation der Projektarbeit und Anregungen zur Durchführung von Versuchen während oder nach Fertigstellung der Rekonstruktion.

Die Informationen können dabei in unterschiedliche pädagogische Schrittfolgen eingebaut werden, wie die nachfolgenden Beispiele zeigen:



Die Arbeitsschrittfolge A–A stellt höchste Anforderungen an die Auszubildenden; das Ergebnis ist eine weitgehend selbständig erarbeitete technische Lösung. Eine derart intensive Auseinandersetzung mit einem technischen Problem kann – vom erworbenen spezifischen Wissen abgesehen – auch die Einstellung zur Technik verändern und Einsichten in den Ablauf von technischen Entwicklungen überhaupt gewinnen helfen und damit eine wirksame Motivationshilfe für die Ausbildung sein. Dieser Weg kann selbst „schulmüden“ Auszubildenden kleine Erfolgserlebnisse auf theoretischem Gebiet bringen, weil solche Kenntnisse auf praktischem, experimentellem Weg und durch unmittelbare Erfahrung erlangt werden.

Bei der Schrittfolge B–B folgt der schöpferischen Auseinandersetzung mit dem technischen Problem die Fertigung nach Abgleich mit den vorgegebenen Fertigungsunterlagen. Damit ist das Gelingen des Nachbaus sichergestellt.

Die Schrittfolge C–C ist mit dem geringsten Aufwand verbunden. Aber auch hier wird der Zusammenhang von moderner Technik und ihren in der Vergangenheit liegenden Wurzeln sichtbar gemacht.

1) Einleitung

Die Lenkung gehörte, wie auch Gemischaufbereitung, Zündung und Bereifung, zu den größten technischen Herausforderungen, mit denen sich die Erbauer der ersten Motorwagen ab Mitte der 1880er Jahre konfrontiert sahen. Weil sie offensichtlich keine Kenntnis von der vorher mehrere Male erfundenen Achsschenkellenkung hatten, mußten sie sich zunächst mit Gabel- und Drehkranzlenkungen behelfen.

Ein Bedarf für die Achsschenkellenkung scheint in der rund 5000jährigen Entwicklungsgeschichte des Landfahrzeugs nicht bestanden zu haben. Damit kann sie in die lange Reihe der Erfindungen aufgenommen werden, die zwar für den pferdegezogenen Wagen gemacht worden sind, dort aber nicht angewendet wurden, „weil die Vorteile ... nicht so ins Gewicht fielen ...“ und einige Teile „nicht ohne weiteres zu gemäßigten Preisen bezogen werden konnten“. Die von F. Behncke, dem Begründer der Staatlichen Wagenbauschule in Hamburg, 1927 formulierte Priorität der Wirtschaftlichkeit gegenüber dem technischen Fortschritt, von der Autoindustrie bis auf den heutigen Tag fortgeschrieben, bezog sich nicht nur auf die Achsschenkellenkung, sondern auch auf die Knicklenkung, auf die Zweiachs- und Vierradlenkung, auf die selbsttragende Karosserie, auf Spiral-, Torsions- und Gummifedern, auf Wälzlager, hydraulische Bremse, Luftfederung, Luftbereifung, Meilenzähler und Unfallsicherheit. Diese und weitere Erfindungen aus dem 18. und 19. Jh. tauchten erst Jahrzehnte später beim motorisierten Fahrzeug auf.

Während die Achsschenkellenkung bereits vor der Jahrhundertwende bei den Motorwagen eingeführt wurde, konnte sich die ebenfalls aus dem Wagenbau übernommene vordere Starrachse in einigen Fällen bis nach 1950 im PKW-Bau halten. Immer höhere Raum- und Komfortansprüche, Spitzen- und Kurvengeschwindigkeiten zwangen jedoch schon in den 30er Jahren zur Einzelradaufhängung vorn, die in Verbindung mit der Achsschenkellenkung das Fahrwerk ‚schneller‘ als den Motor machte. So trugen Einzelradlenkung und Einzelradaufhängung zur aktiven Sicherheit moderner PKW und Omnibusse bei, u.a. definiert durch exakte Lenkgeometrie, flatterfreies und verschleißarmes Abrollen der Vorderräder, geringes Gewicht, kleinen Raumbedarf, leichte Lenkbarkeit auch bei Vorderradantrieb, keine Beeinflussung der Räder untereinander und Möglichkeit einer kinematischen oder elastokinematischen Vorspuränderung in Richtung Untersteuern.

2) Lenkvorrichtungen, Lenkungsauslegungen und die Anordnung gelenkter Räder

Alle Fahrzeuge benötigen eine Lenkvorrichtung, gleichgültig, für welches Medium (Land, Wasser, Luft) sie bestimmt sind. Mit der Lenkvorrichtung werden gewollte Fahrtrichtungsänderungen durchgeführt und ungewollte Richtungsänderungen ausgeglichen (Spur- und Kurshaltung). Landfahrzeuge mit nur einer Spur (Fahrräder, Motorräder) werden während der

Fahrt von einer Lenkvorrichtung stabilisiert und damit vor dem Umstürzen bewahrt.

Die Lenkung/Spurhaltung erfolgt je nach Fahrzeuggattung von außen oder im oder am Fahrzeug selbst. Spurgeführte Landfahrzeuge wie Straßen-, Eisen- oder Seilbahn werden von äußeren Hilfsmitteln geführt und gelenkt. Bei nicht spurgeführten Landfahrzeugen kann unterschieden werden zwischen Schwenkachslenkung, Knicklenkung und Einzelradlenkung.

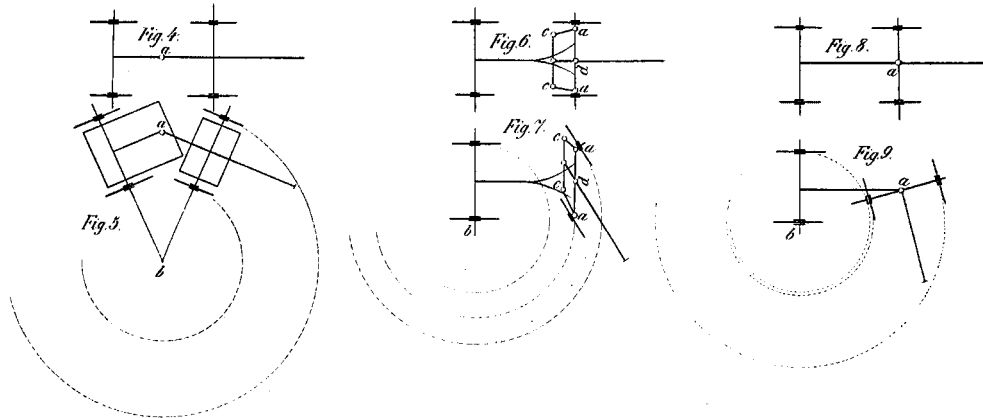


Abb. 1 Lenkungsauslegungen für vierrädrige Fahrzeuge
Prinzipskizzen von Schwenkachslenkung (rechts), Knicklenkung (links) und Achsschenkellenkung (Mitte).

Bei der Schwenkachslenkung wird die Vorderachse um einen Drehpunkt in Achsmitte geschwenkt, die Räder verändern ihre Lage zur Achse nicht (Abb. 1 rechts). Bei der Knicklenkung werden die Lagen der Längsachsen des vorderen und hinteren Wagenkörpers zueinander verändert (Abb. 1 links). Bei der Einzelradlenkung werden nur die Räder um je einen Drehpunkt eingeschlagen (Abb. 1 Mitte), die Vorderachse verändert ihre Lage nicht oder kann entfallen (Einzelradaufhängung). Ausführungsformen bei Automobilen durchweg als Achsschenkel-, bei Fahr- und Motorrädern durchweg als Gabellenkung.

Einachsige, zweirädrige Straßenfahrzeuge, seien sie handgeschoben oder tiergezo-gen, benötigen keine besonderen Lenkvorrichtungen, weil die Lenkkräfte über die Stangen/Deichsel via Wagenunter- oder -obergestell auf die Achse übertragen werden (Abb. 2). Auch bei Schleife und



Abb. 2 Keine Lenkvorrichtung bei Einachsern
Richtungsänderungen werden von dem oder den Zugtieren über Stangen auf das Gestell und auf die Achse übertragen. Die Radaufstandsfläche des kurveninneren Rades kann Mittelpunkt des vom kurvenäußeren Rades beschriebenen Kreisbogens sein. Bretagne, 19. Jh.

Schlitten erfolgen Richtungsänderungen über die Zugvorrichtungen oder, beim einfachen Rodelschlitten, durch Bremsen auf einer Seite. Fahrtrichtungsänderungen bei Kettenfahrzeugen werden durch Abbremsen der kurveninneren Gleiskette erzielt.

Bei fast allen Radfahrzeugen werden die Vorderräder gelenkt. Das ergibt eine einfache Anordnung des Lenkantriebs und ist für Übersicht und Reaktion des Fahrers günstiger, weil der größte Kreis von der im Blickfeld liegenden kurvenäußeren Vorderkante des Fahrzeugs beschrieben wird.

Die Hinterradlenkung eignet sich für Lade- und Rangierarbeiten. Sie wird daher bei Gabelstaplern ausschließlich, bei Erdbewegungsmaschinen vereinzelt angewendet. Theoretisch ist die Hinterradlenkung instabil.

Die aktive Vier- oder Mehradlenkung ist bei einigen Lastwagen, Omnibussen und Erdbewegungsmaschinen anzutreffen. Sie ist bei Pferdewagen, Militärfahrzeugen, Anhängern, Schleppern und Personewagen immer wieder vorgeschlagen und auch angewendet worden, konnte sich auf Dauer jedoch nicht durchsetzen. Im PKW-Bau bevorzugt man statt ihrer die passive Hinterradlenkung mit Hilfe elastokinematischer Bauteile.

3) Lenkungslose Schleif-, Gleit- und Fahrzeuge

3.1 Schleif- und Gleitzeuge

Das erste Landtransport-Hilfsmittel der Menschheit war, nicht gerechnet Traghilfen wie Riemen, Bündel, Körbe usw. für Mensch und Tier, die Astgabel oder Urschleife (Abb. 3). Sie diente zum Heimschleifen des erlegten Beutetieres. Trag-, Zug- und Lenkfunktion fielen ‚konstruktiv‘ zusammen.

Aus der weitgehend im Naturzustand belassenen Urschleife entwickelte sich die bearbeitete Schleife, noch gabelförmig (Abb. 4), und der Flach- und Ständerschleife, schon parallelkufig (Abb. 5). Bei beiden war die Tragfläche angehoben, Lenk- und Zugfunktionen waren von der Tragfunktion getrennt.

Ein hohes Alter wird auch der Schleif- oder Schleppbahre zugesprochen, besser bekannt als Indianer-Travois¹. Bastflechtmatten, Riemen oder Stangen verbanden zwei seitlich am Leib eines Hundes angebrachte,

*Abb. 3 Urschleife
Die Urschleife bestand aus einer Astgabel mit oder ohne Querhölzer. Sie war das erste Landtransportmittel der Menschheit.*

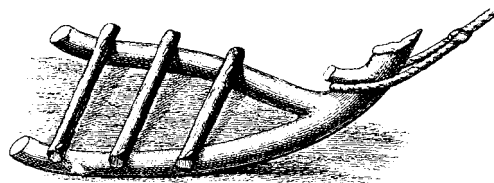


Abb. 4 Schleife
 Gabelförmige Schleife mit Tragboden und Bordwänden, hier als ursprüngliches Transportmittel der Kavango/Südwestafrika.



Abb. 5 Schlitten
 Parallelkufiger Ständerschlitten mit Pferdebespannung, Richtungsänderung durch Zugstange(n). Bayern 19.Jh.

Abb. 6 Travois
 Die Stangenenden schleifen über den Boden, die elastischen Stangen verursachen weniger Erschütterungen als ein Wagen (den die Indianer nicht kannten).



später über dem Hals eines (Sattel-)Pferdes sich kreuzende Holzstangen hinter dem Tierkörper so miteinander, daß eine kleine Tragfläche entstand (Abb. 6). Die Stangenenden schleiften über den Boden, das Tragtier war die ‚Lenkvorrichtung‘.

3.2 Vierrad-Fahrzeuge ohne Lenkung

Den Übergang vom Schleif- und Gleitzeug zum Fahrzeug datiert die Forschung² anhand von bildhaften Zeichen auf Tontafeln aus Uruk auf 3000–2800 v. Chr. „Hier handelt es sich deutlich um einen Schlitten mit Kabinenaufsatz, unter dessen Kufen vier Räder auf zwei Achsen zu denken sind“³. Eine Lenkung werden diese Fahrzeuge, wenn sie denn jemals im Maßstab 1:1 existiert haben sollten, mit Sicherheit nicht aufgewiesen haben.

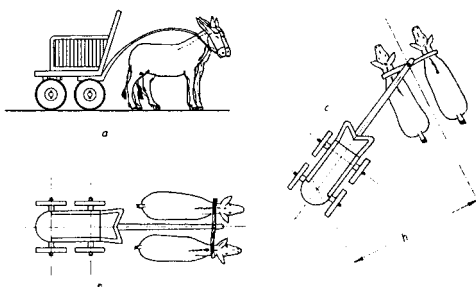


Abb. 7 Kurvenfahren ohne Lenkung
 a = Seitenansicht, b = Grundriß,
 c = Bogendeichsel, vom Gespann unterlaufen
 (h = Hebelarm der Umlenkkraft).

Weitere bildliche Darstellungen und Modelle aus dem mesopotamischen Raum zeigen schmale Wagen mit kurzem Radstand⁴. Leichte Kurven ließen sich trotz fehlender Lenkung befahren, weil die Zugtiere mit der Hinterhand unter die bogenförmig ausgebildete Deichsel hindurchtreten und dem leichten Wagen eine geänderte Fahrtrichtung aufzwingen konnten (Abb. 7). Bei schärferen Kurven oder bei Umkehr mußte der Wagen hinten mit der Radachse hochgehoben und gleichzeitig von den Zugtieren auf den Vorderrädern gedreht werden. Das Anheben einer Achse und Drehen auf den Rädern der anderen Achse kennen wir noch heute beim Kinderwagen.

4) Schwenkachslenkung

4.1 Reibnagel-Lenkung

Aus in den Fels geritzten Zeichen in Südschweden meint man ableiten zu können, daß hier, etwa 1000 v. Chr., lenkbare Vierradwagen dargestellt sind⁵. Wie im einzelnen die Lenkung funktionierte, ist noch ungeklärt. Auch über die Lenkungsauslegung der beiden im Moor bei Dejbjerg in

*Abb. 8 Reibnagel-Lenkung an einem Segelwagen
Einer der um 1600 von Symon Stevin gebauten ‚zeilwagen‘ besaß Hinterradlenkung. Der Steuermann schwenkte über eine ruderpinnenähnliche Konstruktion die Hinterachse um einen Reibnagel. Der Lenkeinschlag war gering und wird Kreuzen und Halsen in nur beschränktem Maß erlaubt haben.*





*Abb. 9 Reibnagel-Lenkung an einem Motorwagen
Ein verhältnismäßig schwacher Bolzen an der Vorderachse eines Daimler-Riemenwagens von 1896 mußte Biegemomenten, Scherspannungen, Flächenpressung und Druck- und Zugspannungen gewachsen sein. Auch die vom Dampfmaschinenbau übernommene Lenkkraftübertragung mit Ketten fördert nicht gerade das Vertrauen in diese Lenkconstruction.*

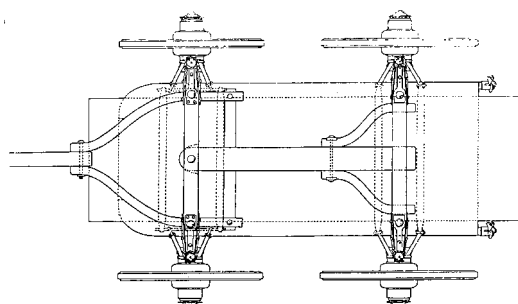
Jütland entdeckten Vierradwagen gibt es unterschiedliche Auffassungen. Zum einen kommt die Forschung zu dem Schluß, daß die Vorderachse wegen der „... eigentümliche(n) zweigeteilte(n) Form des Untergestells ... vollkommen drehbar ...“ ist⁶. Neuere Forschungsergebnisse sprechen von einem ‚Reibkraftgelenk‘⁷ und von einer um einen Reibnagel schwenkenden Vorderachse (Abb. 8–9), die zusammen mit den Zugarmen, „... mit der Schwenkstange (und) dem vorderen Tragebrett ... eine Art rechteckiges Drehgestell“ bildet, auf das der Hinterwagen via Langbaum aufgesattelt ist⁸. Die Dejbjerg-Wagen besaßen also schon Langbäume, das bedeutet eine Abkehr von der Gestell-Konstruktion des parallelkufigen Schlittens.

4.2 Reibscheit-Lenkung

Die neuartige Reibnagel-Lenkung griff von Nordeuropa in den südeuropäischen Raum über⁹ und erfuhr, vermutlich durch die Kelten, eine Ergänzung durch das Reibscheit. Dieses die Deichselarme verbindende Querholz stützte sich entweder gegen den Langbaum oder, bei direkt auf den Achsen liegendem Wagenboden, an einem dort angebrachten Gegenholz ab. Somit blieb das Vordergestell waagrecht, die Zugtiere wurden vom Gewicht der Zugstange, der Reibnagel von Biegemomenten entlastet (Abb. 10). Allerdings erhöhte sich die Reibung beim Lenkeinschlag beträchtlich.

4.3 Drehschemel-Lenkung

Eine verbesserte Ausführung der Reibscheit-Lenkung stellt die Drehschemel-Lenkung dar. Bei ihr wird der Lenkeinschlag nicht mehr durch



*Abb. 10 Reibscheit-Lenkung
Angenommene Lenkungsanslegung des Wardartal-Wagens (Rekonstruktion) aus dem 2.–3. Jh. mit Reibnagel und Reibscheit. Nur eingeschränkter Lenkeinschlag der Vorderachse möglich.*

die (Riemen-)Aufhängung des Wagenkastens und durch die Dimensionierung von Vorderachs-Aussparung und Langbaumkopf bestimmt (s. Abb 10). Vielmehr liegt über der Vorderachse noch ein mit Langbaum und Hinterachse fest verbundener Achsstock oder Vorderachsträger, unter dem sich die Vorderachse um den Reibnagel schwenken läßt (Abb. 11). Damit konnte gegenüber der Reibscheitlenkung der Lenkeinschlag vergrößert werden.

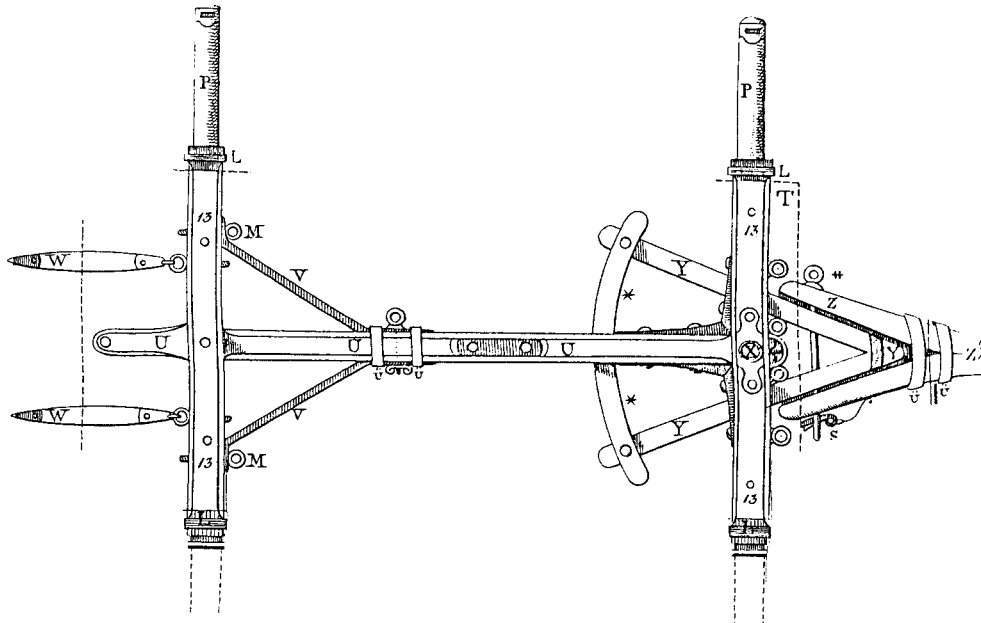


Abb. 11 Drehschemellenkung

Die Deichsel Z schwenkt die Deichselarme Y mit der daran befestigten Vorderachse P um den Reibnagel X unter dem Vorderachsträger 13 hindurch. Das Reibscheit * unterläuft den Langbaum U und hält das Vordergestell waagrecht.

Das lenkbare Untergestell des vierrädrigen keltisch-römischen Wagens war „... bey allen Arten von Fuhrwerken immer (das) nämliche ... nur die verschiedenen Gestalten des Kastens, der darauf gesetzt ward, veränderte dessen Namen und Bestimmung“¹⁰. So standen dem Expansionsdrang der Römer, salopp ausgedrückt, gerade noch rechtzeitig lenkbare Vierradwagen zur Verfügung, die freilich nicht als Streitwagen eingesetzt wurden. Je nach Aufbau dienten sie als Stadt- oder Reisewagen, als Post- oder Mietwagen, als Landkutsche oder als Frachtwagen oder als Wagen für „... Waaren, Gelder, Kriegs-Bedürfnisse und das Gepäck der Herrschaften ...“¹¹.

Mit dem Untergang des Weströmischen Reiches 476/480 n. Chr. kam der Straßenverkehr der damaligen Welt zum Erliegen. Die von den Römern angelegten Straßen verfielen, die Wagenbautechnik verzeichnete keine Fortschritte mehr, weil „Herrn und Diener, Männer und Frauen, Weltliche und Geistliche ... auf Pferden oder Mauleseln (ritten und) ... so gar dem Frauenzimmer ... der Gebrauch bedeckter Wagen lange Zeit erschwert (ward)“¹². Das Pferd stieg zum Statussymbol auf, ein großer Marstall war Sinnbild für Reichtum und Macht. Folgerichtig wirkten sich Verbesserungen der Landtransportmittel in einer höheren Leistungsfähig-

keit des Pferdes aus: Einführung und Weiterentwicklung des Sattels ab dem 4. Jh., des Hufbeschlags ab dem 9. Jh., Ablösung des vom Rinderzug her bekannten Jochs durch das Kummel bei Pferdezug.

Die Wagentechnik dagegen verharrte auf dem Niveau der Römerzeit. Die Lenk Konstruktion eines 1414 umgestürzten Wagens beispielsweise (Abb. 12) läßt keinen Fortschritt gegenüber der seit mehr als 1000 Jahren bekannten keltisch-römischen Drehschemellenkung erkennen. Und der sonst so weit vorausschauende Leonardo da Vinci (1452–1519) ‚vergaß‘ gar bei seinen Skizzen über bewegliche Achsen das Reibschiet und ging auf die längst überwundene Reibnagellenkung zurück¹³.



*Abb. 12 Eile mit Weile
Gegenpapst Johannes XXIII in
seinem umgestürzten Reisewagen
1414. Zu erkennen sind Dreh-
schemellenkung mit gegabelter
Deichsel, Reibschiet und Reibnagel
in Vorderachsmittle.*

Erst im 15. Jh. erlangte der Straßenverkehr wieder mehr Bedeutung, als Mitteleuropa einen allgemeinen wirtschaftlichen Aufschwung erlebte. Auch die überseeischen Entdeckungsfahrten – 1492: Entdeckung Amerikas; 1498: Öffnung des Seewegs nach Indien – begannen sich auszuwirken. Sie verlagerten das wirtschaftliche Schwergewicht vom Mittelmeer zur atlantischen und zur Kanalküste und erforderten für den Absatz der Waren ein erweitertes Straßennetz von den wichtigsten Überseehäfen Lissabon, Sevilla und Antwerpen zum binnenländischen Europa.

Merkwürdigerweise fanden am Lastfuhrwerk mit Ausnahme der Drehschemellenkung so gut wie keine Verbesserungen statt. Es blieb von der Antike bis in die jüngste Zeit ungefedert, meist ungebremst und ungefüge. Der Fortschritt im Wagenbau konzentrierte sich auf die Personenwagen, die in Europa ab der zweiten Hälfte des 16. Jh. beim Adel in Mode kamen. Zudem tauchten auch neue oder für Europa neuartige Landfahrzeuge auf, zum Teil ‚selbstfahrend‘ wie Muskel- und Windkraftwagen (Abb. 8), zum Teil aus Transportbedürfnissen heraus wie Schubkarren und Bergwerkshunde.

Von den zahlreichen Verbesserungen an Aufbauten und Fahrwerken ab etwa 1650, an Federung, Achsen und Rädern ab etwa 1750 und an den Bremsen ab etwa 1830 soll hier lediglich auf Lenkungsrichtungen und Manövrierbarkeit eingegangen werden. Diese zu verbessern, war nicht so leicht, weil schon bei einer „... Viertelswendung ... das Rad mit seinem

äußeren Radkranze ... an den verbindenden Langbaum trifft“ oder „... den Hinterrädern bei zu starker Einlenkung eine gleitende Bewegung geben“ würde¹⁴.

4.4 Drehkranz- oder Drehgestell-Lenkung

Mangelhafte Stabilität, hoher Reibungswiderstand und auch Begrenzung des Einschlagwinkels durch das Reibscheit mögen zur Drehkranz- oder Drehgestell-Lenkung geführt haben, in ihrer Vorform wohl erstmals 1637 angewendet¹⁵. Bei der Drehkranzlenkung, die die Drehschemellenkung bei Personen- und Lieferwagen mit der Zeit fast völlig verdrängte, ersetzte ein durchgehender oder geteilter Drehkranz aus Holz, später aus Eisen das hölzerne Reibscheit. Der Reibnagel konnte, mußte aber nicht beibehalten werden. Für Langbaum-Wagen und für solche mit selbsttragendem Aufbau entwickelten sich unterschiedliche Drehgestelle (Abb. 13 a–c).



Abb. 13a Drehkranzlenkung an einem Schwellerwagen ... Kinder- oder kleiner Parkwagen mit in nachstellbaren Riemen aufgehängtem Wagenkasten. Die beiden Schweller, noch ohne Schwanenhals, stützen sich über Vor- und Ecksäulen auf dem oberen Drehkranz ab. Italien 18. Jh.

Abb. 13b ... für Langbaum-Wagen ... Oft verwendetes einfaches Drehgestell mit geteiltem Drehkranz und Schloß- oder Reibnagel durch Bockschemel cc, Langbaum aa und Achsholz ff (auf Vorderachse). gb = Aufnahme für Stangendeichsel. Um 1890.

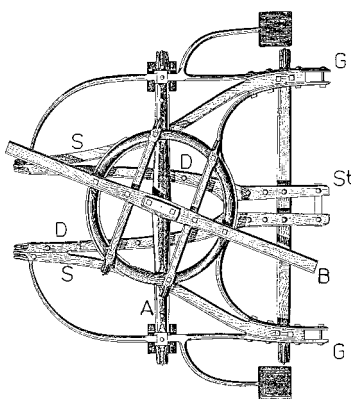
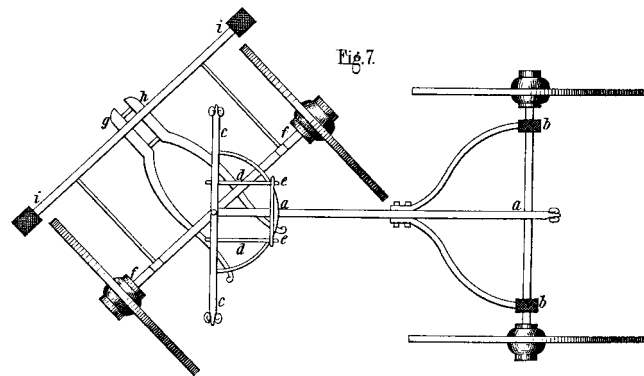


Abb. 13c ... und für Wagen mit selbsttragendem Aufbau Pariser Drehgestell für Geschäftswagen mit durchgehendem Drehkranz. Schloßnagel (unter Sicherheitslasche) durch Bockschemel B, Achsholz A und Vorderachse (unter A). Aufnahmen für Gabel- (G) und Stangendeichsel St. Um 1910.

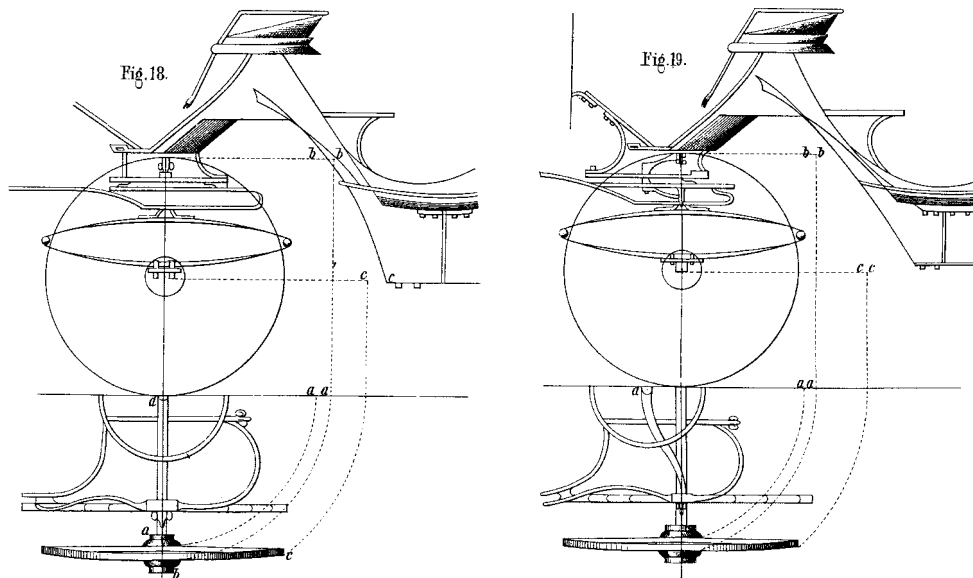
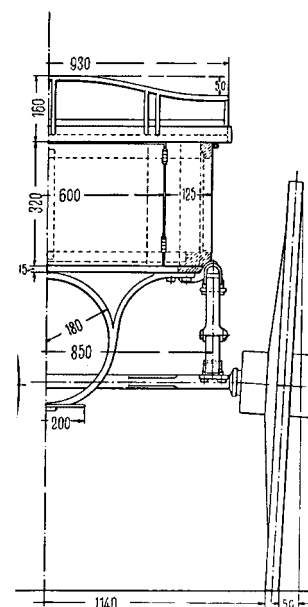


Abb. 14 Vorverlegter Schloßnagel (Nachlauf)
 Sturzräder beschreiben bei Kurvenfahrt den Spurkreis *aa* (Radaufstandspunkt), den Schlagkreis *bb* (Radhöchstpunkt) und den Seitenkreis *cc* (Radseitenpunkt). Ein vor die Achsmittellinie verlegter Drehpunkt (Schloßnagel *a* in Draufsicht rechts) vermeidet eine Berührung von *bb* im Durchlauf, die bei herkömmlicher Schloßnagelanordnung (Bild links) unvermeidbar wäre. Gleichzeitig werden die Räder von dem vor Radmitte liegenden Schloßnagel gezogen und damit stabilisiert (Nachlauf).

Die Manövrierbarkeit ist in erster Linie abhängig vom Radeinschlag, den man bei den älteren Repräsentations-Karossen noch mit Hilfe gekröpfter Seitenschweller (Schwanenhals), vorverlegter Vordergestelle (gleichbedeutend mit längerem Radstand und höherem Gewicht) und kleiner Vorderräder vergrößern konnte. Für die kompakten Stadtkutschwagen des 19. Jh. mit ihren selbsttragenden Aufbauten ließen sich jedoch die genannten Hilfsmittel mit Ausnahme der kleineren Vorderräder nicht übernehmen. Hier mußten, um einen großen Radeinschlag und damit einen kleinen Wendekreis zu erreichen, die Wagenkästen im Bereich der Vorderräder ausgespart werden (Durchlauf, Einlenkung). Zusätzlich verlegten viele Wagenbauer den Reib- oder Schloßnagel, also den Drehpunkt des Vordergestells, vor die Mittellinie der Radachse (Abb. 14). Dies empfahl sich schon wegen der Sturzräder (Abb. 15), weil diese mit ihrem oberen Teil einen größeren Kreisbogen beschrieben als mit dem unteren Teil und daher eher an den Wagenkasten stießen als senkrecht zu den Achsen montierte Räder.

Abb. 15 Sturzrad
 Um von der Achse ablaufende Räder zu vermeiden, erhält der Achsschenkel eine Neigung nach unten, damit die Radnabe gegen die Achsschenkelbegrenzung und nicht gegen die Achsmutter läuft. Bei Achsschenkelsturz ist auch Speichensturz (unterste Radspeiche senkrecht zum Erdboden) erforderlich, um die Achslast ohne Bruch übertragen zu können.

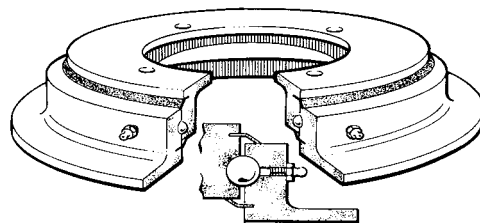


Drehkränze und Vordergestelle in verschiedenen Ausführungen konnten gegen Ende des vergangenen Jahrhunderts von spezialisierten Metallwaren- und anderen Fabriken bezogen werden. Die zunächst handwerklich ausgerichteten Zulieferbetriebe, die bis dato nur auf Bestellung angefertigt hatten, gingen ab etwa 1870 auf industrielle Fertigungsweise mit Lagerbevorratung über. Damit waren sie dem Kutschwagen- und später dem Motorwagenbau um Jahre voraus. Auf Vorrat produzierte, jederzeit abrufbare Drehkränze beispielsweise lieferten Hampe & Komp. in Hamburg, das Eisenwerk Schönheide in Sachsen und die Kutschwagenfabrik Dick & Kirschten in Offenbach, die auch ganze Vordergestelle anbot. Auch Achsen, Federn, Radreifen, Beschläge, Nabenringe, Verdeckspiegel, Laternen und andere Teile konnten jetzt auf dem Markt eingekauft werden und brauchten von den einzelnen Kutsch- oder Motorwagenbauern nicht mehr selbst hergestellt zu werden.

Heute angebotene Wagen sind durchweg mit ‚stilechten‘ Drehgestellen ausgerüstet, die den schon vor rund 100 Jahren gebauten Vordergestellen weitgehend ähneln. Daneben werden sogenannte Friktions-Drehkränze für Dressur-, Pony- und leichte Pferdewagen benutzt (Abb. 16) sowie Kugellager-Drehkränze für Marathon- und Vielseitigkeitswagen (Abb. 17+18). Die Kugeldrehkranzlenkung, vom LKW-Anhängerbau übernommen¹⁶, stellt den vorläufigen Entwicklungsendpunkt der Schwenkachslenkung dar.

*Abb. 16 Ponywagen mit Friktions-Lenkung
Vereinfachte Drehkranzlenkung mit kreisförmiger Grundplatte am Vordergestell und dazugehöriger Kopfplatte am Hintergestell. Der Mittenbolzen ist Drehpunkt und Verbindungselement beider Gestelle. Um 1990.*

▽



△

*Abb. 17 Kugeldrehkranz-Lenkung
Drehkranzlenkung mit rillengeführten, käfiglosen Stahlkugeln zwischen Ober- und Unterring. Schmiernippel zum Abschmieren, Mittenbolzen entfällt. Um 1990.*



◁

*Abb. 18 Marathonwagen mit Kugeldrehkranz-Lenkung
Mit den Kugellager-Drehkränzen konnte die Reibung so weit herabgesetzt werden, daß zumindest bei Marathonwagen unerwünschte Schwenkbewegungen der Deichsel durch Reibbeläge wieder abgebremst werden mußten. Um 1995.*

4.5 Eigenschaften und Einordnung der Schwenkachslenkung

Beim Vergleich der Schwenkachslenkung mit der Knick- und mit der Einzelradlenkung kommt Beckmann 1854¹⁷ zu dem Schluß, „daß unser allgemein eingeführtes Wendungssystem (Drehpunkt in der Mittellinie der Vorderachse) ... zwar das Beste ist, jedoch keineswegs vollkommen genannt werden kann, da es Uebelstände am Wagen herbeiführt, welche nur mit Aufopferung anderweitiger Vortheile vermieden werden können ... Die Wendung des Wagens verdient daher wohl eine größere Aufmerksamkeit, als ihr durchschnittlich zu Theil wird, um so mehr ... daß ... die ganze Form und Einrichtung unserer Fuhrwerke durch ihre Wendungsconstruction bestimmt wird“.

Trotz der kritischen Anmerkungen schon vor 150 Jahren wird die Schwenkachslenkung bei pferdegezogenen Wagen auch heute noch benutzt. Während bei modernen Kutschwagen, besonders bei Marathonwagen, Anleihen aus dem Autobau wie hydraulische Vierrad-Scheibenbremse, Stahlrohrrahmen, Stahlräder, Metallaufbauten, wartungsfreie Kegelrollenlager, Stoßdämpfer und Beschläge aus Edelstahl zu finden sind, hat mit der Schwenkachslenkung ein Bauprinzip aus der Antike überlebt. Von der Achsschenkellenkung wird hauptsächlich deshalb kein Gebrauch gemacht, weil sich die Vorderräder nicht wie bei der Drehkranzlenkung um 90° einschlagen lassen, der Wendekreis also zu groß ist.

Die (Kugel-)Drehkranzlenkung als letzte Entwicklungsstufe der Schwenkachse hat folgende Vorteile:

- * Zur Lenkkrafteinleitung genügt eine einfache (Zug-)Stange.
- * Vorderachse (= Lenkachse) und zentrale Schwenkeinrichtung sind relativ einfache Bauteile und kostengünstig herzustellen.
- * Die geometrischen Voraussetzungen für einwandfreies Abrollen der Räder sind insofern gegeben, als sich die gedachten Verlängerungen der Vorderräder (= Vorderachse) und der Hinterräder (= Hinterachse) beim Einschlagen zwangsläufig in einem Punkt schneiden, der damit Kurvenmittelpunkt wird. Ein Gleiten der Radaufstandsflächen auf der Fahrbahn und damit verbundener Verschleiß an Fahrzeug und Fahrbahn treten daher nicht auf.

Dem stehen folgende Nachteile gegenüber:

- * Für einen ausreichend großen Lenkeinschlag (= kleiner Wendekreis) beanspruchen die Räder soviel Platz, daß der Fahrzeugrahmen gekröpft oder über den Rädern liegen oder der Wagenkasten ausgespart werden muß.
- * Die zu bewegenden schweren Teile verursachen große Reibungswiderstände (nicht bei der Kugeldrehkranzlenkung).
- * Die durch einseitige Fahrwiderstände auftretenden Störkräfte beeinträchtigen die Fahrsicherheit und die Lebensdauer der Bauteile (nur bei Motorwagen. Bei pferdegezogenen Wagen wirken sich die Momente wegen der langen Deichsel an der weichen Tierflanke weniger stark aus).
- * Übertragung der Störkräfte von einem Rad zum anderen.
- * Bei zunehmendem Einschlagwinkel der Vorderachse neigt der Wagen zum Kippen, weil sich die Aufstandsfläche von einem Rechteck zu einem angenäherten Dreieck reduziert (Abb. 19 a + b).

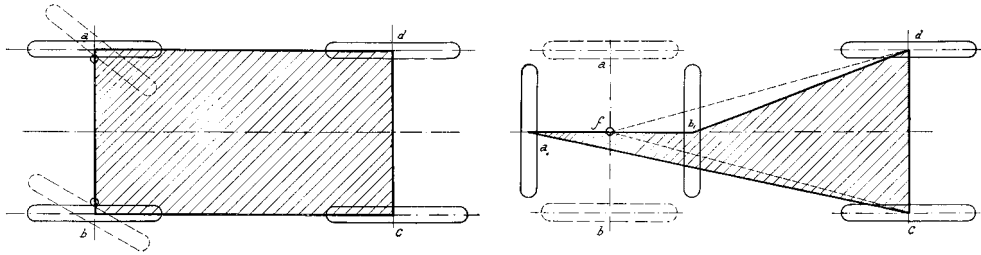


Abb. 19 a+b Stabil und instabil

Wird eine Schwenkachse (r) um 90° geschwenkt, verringert sich die rechteckige Aufstandsfläche $abcd$ zum unregelmässigen Viereck und entspricht damit ungefähr dem Dreieck fcd (Kippgefahr). Bei der Achsschenkellenkung dagegen (l) verändert sich die Aufstandsfläche kaum, auch wenn die Vorderräder um 90° eingeschlagen werden könnten.

Weil die Nachteile die Vorteile überwiegen, haben Schwenkachsen im Automobilbau nur in Sonderfällen eine Rolle gespielt: In den Jahren 1896–1907 boten französische, deutsche und amerikanische Firmen komplette Antriebssätze mit Drehkranzlenkung, Achsen und Rädern an, die Pferdezug und Vordergestelle bei handelsüblichen Wagen, bei „Post Carriols“ und bei Fire Engines ersetzen sollten. Die in Frankreich Avant Trains, in Deutschland Vorspannwagen und in den USA Attachments genannten Antriebssätze mit Elektro-, Dampf- oder Benzinmotoren waren jeweils mit dem passenden Drehkranz und der dazugehörigen Lenkeinrichtung versehen, um einen Austausch schnell und preiswert erledigen und um das damals leidige Problem der Vorderradantriebsgelenke umgehen zu können.

5) Knicklenkung

5.1 Knicklenkung bei pferdegezogenen Wagen

Die von Beckmann¹⁷ artikulierten „Uebelstände“ der Schwenkachslenkung bestanden u.a. aus den sich ausschließenden Forderungen nach großen Vorderrädern und kleinem Wendekreis. Große Vorderräder bedeuteten größeren Abrollkomfort auf den damaligen schlechten Straßen, geringere Zugkräfte und damit Schonung der Zugtiere, weniger Verschleiß als kleine, häufiger umlaufende Räder, besseres Aussehen sowie Teilegleichheit im Hinblick auf gleich große Hinterräder. Sie bedeuteten aber auch einen unerwünscht großen Wendekreis. Ein kleiner Wendekreis jedoch ließ sich nur mit kleineren Vorderrädern erreichen, die beim Einschlagen unter Langbaum oder Durchlauf wegschwenken konnten.

Sollte trotz großer Vorderräder an der üblichen einfachen Vorderachse eine gute Manövrierbarkeit erreicht werden, kam nur ein Wagen mit Knicklenkung in Frage. Sie besteht aus einem oder mehreren Scharnieren oder Gelenken etwa in Wagenmitte. Beim Einschlagen verändern sich die Längsachsen der beiden Wagenkörper in ihrer Lage zueinander, nicht aber die Stellung der Achsen und Räder zu ihrem jeweiligen Wagenkörper (s. Abb. 1 links).



*Abb. 20 Knicklenkung bei Muskelkraftwagen
Farflers zweiter Wagen, diesmal vierrädig, mit Sitzfläche auf dem hinteren Wagenteil.
Richtungsänderungen des tiefergelegten Vorderwagens wahrscheinlich durch Unterarmkraft auf die Verkleidung des Vorderachsantriebs.*

Die erste Ausführung eines knickgelenkten Straßenfahrzeugs wird Stephan Farfler zugeschrieben¹⁸. Der beinlose, handwerklich geschickte Uhrmacher aus Altdorf bei Nürnberg baute für den eigenen Gebrauch um 1685 einen vierrädigen Muskelkraftwagen mit Lenkung und Antrieb über Armdruck und Handkurbeln (Abb. 20).

1835 nahm der englische Wagenbauer William Bridges Adams in ein Patent über Ringfederräder auch pferdegezogene Wagen mit Knicklenkung auf (Abb. 21), betonte aber ausdrücklich, daß diese Konstruktion schon vorher bekannt war¹⁹. Pferde- und Eisenbahnwagen mit verbesserter, wenn auch komplizierterer Knicklenkung ließ er sich vier Jahre später mit einem weiteren Patent schützen²⁰.

Adams wird einige seiner Equirotal Carriages gebaut haben²¹. Doch abgesehen vom fremdartigen Eindruck seiner federnden Räder, konnten die Vorteile, wie große Vorderräder, geringe Lenkkräfte, Spurtreue und unveränderte Sitzposition des Kutschers zur Deichsel, die Nachteile nicht aufwiegen: Die Trennung des Wagenaufbaus in zwei Hälften war nur bei wenigen Fahrzeugtypen möglich, der Wendekreis war größer als bei Schwenkachswagen, und durch den nach vorn gerückten Kutschersitz ging viel Raum verloren. „Ueberdem“, bemerkt Beckmann²², „ist die Construction des Langbaums und der Hebelverbindungen zu complicirt und stellt daher kostspielige Herstellung und öftere Reparaturen in Aussicht“. Heute dürfte nur noch ein Equirotal Phaeton existieren (Abb. 22).

5.2 Knicklenkung bei motorisierten Fahrzeugen

Die Knicklenkung fand demzufolge auch keine Verwendung bei Motorwagen, Automobilen und Lastwagen. Bei Militärfahrzeugen und bei Schleppern blieb sie Ausnahme (Abb. 23). Nur bei Erdbewegungs- und Baustellenfahrzeugen konnte sie durch ihre Vorteile überzeugen.

Vorausgegangen war die Einführung von Gelenken, die Bewegungen nicht nur um die Fahrzeuglängsachse erlauben wie die Scharniere aus der Pferdewagen-Ära, sondern auch um die Querachse. Die Gelenke ergeben kleine Wenderadien, so daß beispielsweise Radlader auf einer Fläche von zwei Maschinenlängen graben, wenden und laden können. Weil die Räder von Vorder- und Hinterteil spurüberdeckend laufen, die Hinterräder also

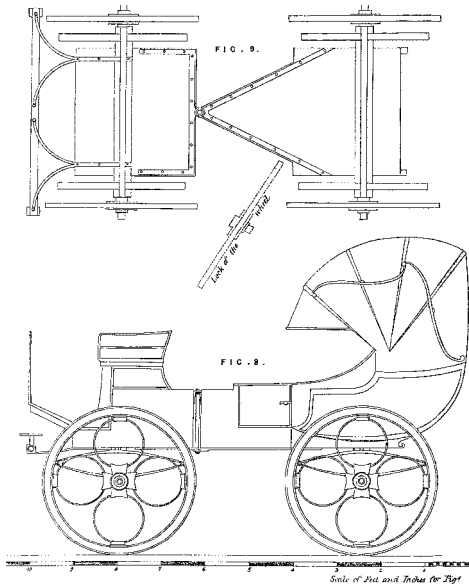


Abb. 21 Knicklenkung bei Pferdewagen
Die Federeigenschaften elastischer Räder verbessern sich bei größer werdendem Durchmesser. Um seine gleichgroßen Ringfederräder uneingeschränkt verwenden zu können, schlug Adams daher zwei durch ein Scharnier (hinge) verbundene Wagenkörper vor. Patentzeichnung von 1835.

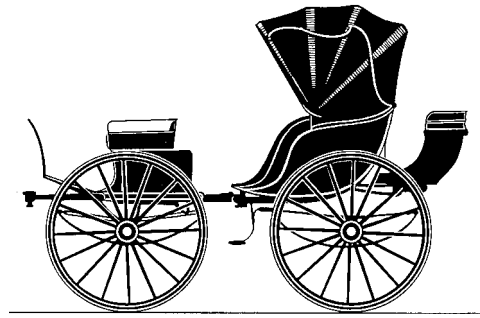


Abb. 22 Equivotal Phaeton
Um 1838 ließ sich der Duke of Wellington von Adams diesen Wagen bauen, den er entweder als vierrädriges Phaeton oder, wenn geteilt, als Gig (vorderer) oder als zweirädriges Cabriolet (hinterer Wagenteil) benutzen konnte. Übliche Speichenräder.



Abb. 23 Knicklenkung bei Schleppern △
1968 Holder Cultitrac-Kleinschlepper für Reihenkulturen mit Vierradantrieb, gleichgroßen Rädern und Knicklenkung. Sie ermöglicht Lenkgenauigkeit und kleinen Wendekreis, erwünscht im Wein- und Hopfenbau, in Obst- und Zitrusplantagen, in Kaffeepflanzungen, Baumschulen und Forstbetrieben.



Abb. 24 Knicklenkung bei Muldenkippern
1988 Volvo BM-Dumper mit Sechsradantrieb, Tandemachse, Einzelachsaufhängung und Knickgelenk zwischen Zugkopf und Anhänger. Wendekreis etwa 15m, Nutzlast 32.000 kg.

die schon von den Vorderrädern verdichtete Spur benutzen, sind die Rollwiderstände gering. Auch müssen Knicklenker nicht unbedingt gerade stehen, um arbeiten zu können. Dadurch werden Fahrstrecken und Arbeitstakte verkürzt. Große Lenkkräfte erlauben, aus tiefen Spuren freizukommen. Schließlich kann auf die schmutzgefährdeten und ver-

schleißanfälligen Vorderrad-Antriebsgelenke bei der sonst üblichen Auslegung mit Achsschenkelenkung und Allradantrieb verzichtet werden.

Mit Bodentleerern und Hinterkippern von Le Tourneau/USA tauchten in den 1940er Jahren die ersten knickgelenkten Erdbewegungs- und Baustellenfahrzeuge auf. Es folgten Muldenkipper von Le Tourneau 1951, von Kunz/D 1953 und von weiteren europäischen und amerikanischen Firmen (Abb. 24). Radlader als dritte Fahrzeuggattung mit Knicklenkung boten Scoopmobile/USA 1952, Schopf/D 1955 und Matbro/GB 1958 an, gefolgt von US-Herstellern in den 60er Jahren. Heute sind knickgelenkte Erdbewegungsfahrzeuge auf jeder Großbaustelle anzutreffen.

6) Einzelradlenkung

6.1 Gabellenkung

Die Gabellenkung ist eine achsschenkellose Einzelradlenkung und wird heute fast ausschließlich bei Zweirädern (Fahrrad, Motorrad, Motorroller) benutzt. Die Lenkgabel kann aufgelöst sein (Feder- und Dämpfer-teile sind dann einbezogen) oder nur zur Radabstützung, zur Radführung und zur Lenkung herangezogen werden, die Federung befindet sich dann außerhalb der Lenkgabel. Sollen zwei Vorderräder gelenkt werden, ist ein Lenktrapez oder eine ähnliche Vorrichtung (Abb. 25) erforderlich, um die Lenkkräfte auf die Räder übertragen zu können und um sicherzustellen, daß die Räder bei Kurvenfahrt abrollen und nicht gleiten.

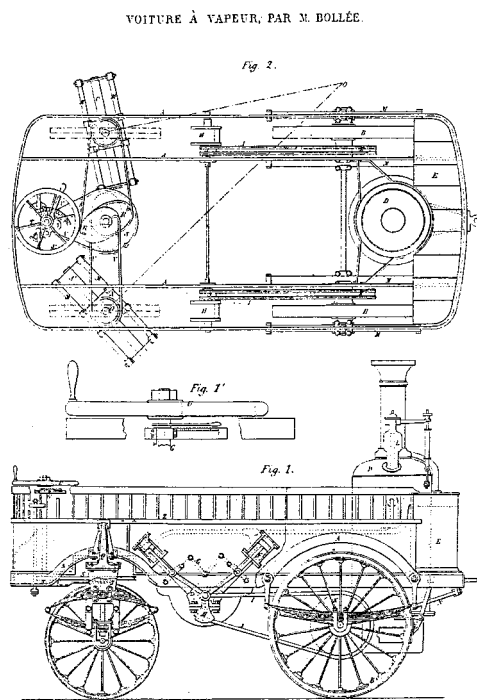


Abb. 25 Gabellenkung bei Dampfwagen
Vierrädriger Dampfnimbus L'Obéissante (Die Gehorsame) von Amédée Bollée père 1873 mit vorderer Einzelradaufhängung. Lenkung über Kurvenscheiben, Ketten und Lenkgabeln mit Elliptikfedern.

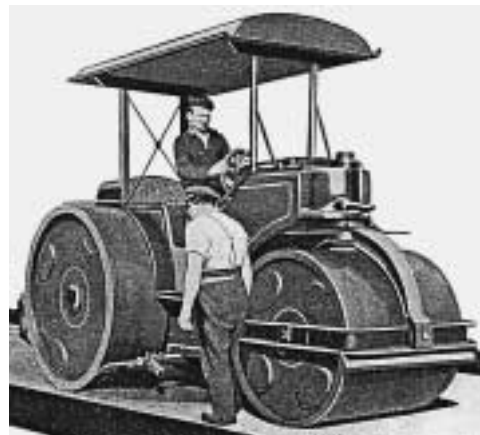


Abb. 26 Gabellenkung bei Straßenwalzen
Einzelrad-, besser Einzelwalzenlenkung mit quer oder längs zur Fahrzeugachse angeordneter Lenkgabel. Zettelmeyer-Straßenwalze um 1940 mit Lenkgetriebe und Dieselmotor (statt kettengelenkter Walzen und Dampfantrieb der englischen Steam Roller).

Schon die ersten mechanisch angetriebenen Fahrzeuge der Welt, die Dampfwagen von Nicolas Joseph Cugnot 1769 und 1771, besaßen eine Gabel zur Lenkung der jeweiligen Einzelvorderräder. Seitdem tauchte die Gabellenkung bei Dampfwagen (Abb. 25) und bei Dampf-Zugmaschinen immer wieder auf. Bei Straßenwalzen verdrängte sie die anderen Lenksysteme (Abb. 26).

Bei der Laufmaschine von Carl von Drais 1817 diente eine V-förmige Vorderradgabel zur Aufnahme und Übertragung der Stütz- und Lenkkräfte, während die Lenkvorrichtung selbst noch aus einer Reibscheit-Lenkung mit ‚Leitstange‘, Gabelträger, Reibscheit und Reibnagel bestand. Diese ‚indirekte‘ Lenkung verschwand, da zu kompliziert, ungenau und schwer, zugunsten der direkten Lenkung mit Steuerrohr, Lenkgabel und Lenkstange (Abb. 27) bei den auf die Laufmaschine folgenden Velocipedern, Hoch- und Niederrädern.

Die vom Niederrad = Fahrrad abgeleiteten Leichtmotorräder – Motor über dem Vorderrad – und Motorräder – Motor zwischen den Rädern – hatten ebenfalls Gabellenkung. Sie ist, von wenigen Ausnahmen abgesehen, auch heute noch Stand der Technik bei Zweirädern (Abb. 28).



Abb. 27 Gabellenkung beim Fahrrad
Zerlegte ‚Normaltype‘ der Corona-Fahrradwerke in Brandenburg mit als Rahmenkopf ausgebildetem Steuerrohr 2, in dem das Gabelrohr 25 mit Gabelkopf 26 und Gabelscheiden 41 sowie die Lenkstange 34 drehbar gelagert sind. Um 1902.

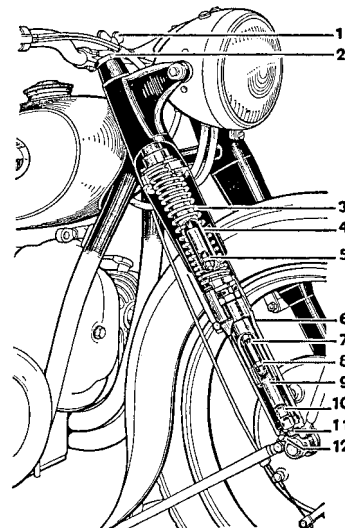


Abb. 28 Gabellenkung beim Motorrad
BMW-Teleskopgabel mit an ihren Enden fest eingespannter Schraubenfeder 3 und doppelwirkendem, hydraulischen Schwingungsdämpfer 7-12 je Gabelholm.
Um 1951

Weil sich die Hersteller der ersten Motorwagen nicht nur am Kutschwagen orientierten, sondern ebenfalls an drei- und vierrädrigen Fahrrädern, tauchte die Gabellenkung zwangsläufig bei Motorwagen auf. Ein sehr schönes Beispiel ist der dreirädrige Benz-Wagen von 1886 (Abb. 43 a), doch auch Anbieter von vierrädrigen Motorwagen übernahmen die Gabellenkung (Abb. 43 b). Sie konnte sich im Personen- und Lastwagenbau nur kurze Zeit halten, bei dreirädrigen Schleppern und Radladern dagegen bis in die 40er Jahre.

6.2 Ringschienen- und Ringrad-Lenkung

Nicht wenige Wagenbauer und Erfinder befaßten sich mit der Zug- und Lenkkraftübertragung bei dreirädrigen Pferdewagen. Die Anspannung des Zugtiers direkt an der das einzelne Vorderrad umfassenden Gabel hatte bei der damals üblichen Holzbauweise stets erheblichen Verschleiß von Gabelführung und Gabellagerung zur Folge. Verbesserungen waren beispielsweise eine kombinierte Drehkranz-/Gabellenkung in Verbindung mit einem kleinen Vorderrad bei den holländischen Schüttanhängern oder die Ringschienen-Lenkung, u. a. vorgeschlagen für kanadische Rollwagen (Abb. 29).

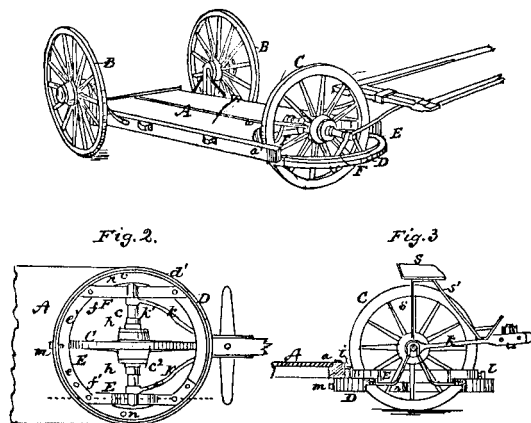


Abb. 29 Ringschienenlenkung
Das einzelne Vorderrad ist mit seiner Achse meist über eine Hilfskonstruktion in einer kreisförmigen Schiene dreh- und schwenkbar gelagert. Zug- und Lenkkräfte wirken direkt auf die Radachse. Vorschlag für einen Rollwagen mit tiefergelegter Ladefläche, Halifax 1881.

Eine hier als Ringrad-Lenkung bezeichnete Lenk- und Radführungs-vorrichtung stellte Franco Sbarro 1989 vor (Abb. 30). Statt um eine Nabe rotieren Felge und Reifen um einen mit Kugellagern abgestützten Ring, der über einen Lenkarm mit dem Fahrzeugtraggerüst verbunden ist. Neben der erhöhten Lenkpräzision sind geringeres Gewicht, kühlere Bremsen sowie weniger Material- und Energieeinsatz weitere Vorteile dieses naben- und radschüssellosen Rades, mit dem vielleicht zukünftige Straßenfahrzeuge ausgerüstet sein werden.



Abb. 30 Ringradlenkung
Auf eine Felge mit Ring reduziertes Rad von Sbarro, bei dem, wenn der Lenkarm über der Radaufstandsfläche angreift, der wirksame Hebelarm für Störkräfte auf ein Minimum verringert werden kann. Schweiz 1989.

7) Achsschenkellenkung

7.1 Definition, Bauarten, Kriterien

Die Achsschenkellenkung gehört zu den Einzelradlenkungen. Sie besteht, wenn es sich um eine Starrachse handelt, aus Achskörper und zwei Achsschenkeln (Achsstummel) mit Achsschenkelbolzen (Abb. 31 a). Starrachsen werden heute bei Pferdewagen, Nutzfahrzeugen, Schleppern und Erdbewegungsfahrzeugen eingesetzt. Wenn es sich um Einzelradaufhängungen handelt, die bei Personenwagen und mehr und mehr auch bei Omnibussen üblich sind, besteht die Einzelradlenkung aus Radträger, meist am radführenden Federbein, mit Radnabe (Abb. 31 b).

Geometrisch einwandfreies Rollen der Räder eines mehrachsigen Fahrzeugs verlangt bei der Achsschenkellenkung einen höheren Aufwand als bei der Schwenkachse. Die Vorderräder müssen bei der Achsschenkellenkung um verschiedene Winkel eingeschlagen werden, damit sich bei Kurvenfahrt die Verlängerungen aller Radachsen im Kurvenmittelpunkt schneiden (Abb. 32). Das wird bei Starrachsen und bei Konstruktionen, bei denen die Vorderräder jeweils mit dem gesamten Führungs- und Federungsaggregat um den Achsschenkelbolzen schwenken (BMW Isetta 50er Jahre, Opel/Dubonnet-Achse 30er Jahre), durch das sogenannte Lenktrapez erreicht. Es besteht aus Vorderachskörper, Spurstange und den beiden Spurstangen- oder Lenkhebeln. Bei Einzelradaufhängungen wird das Lenktrapez in zwei Lenkvierecke aufgelöst, um unzulässige Lenkausschläge beim Durchfedern zu vermeiden.

Genühten beim Kutschwagen mit seiner einfachen Schwenkachse noch Nachlauf (Abb. 14) sowie Achsschenkel- und Radsturz (Abb. 15), müssen

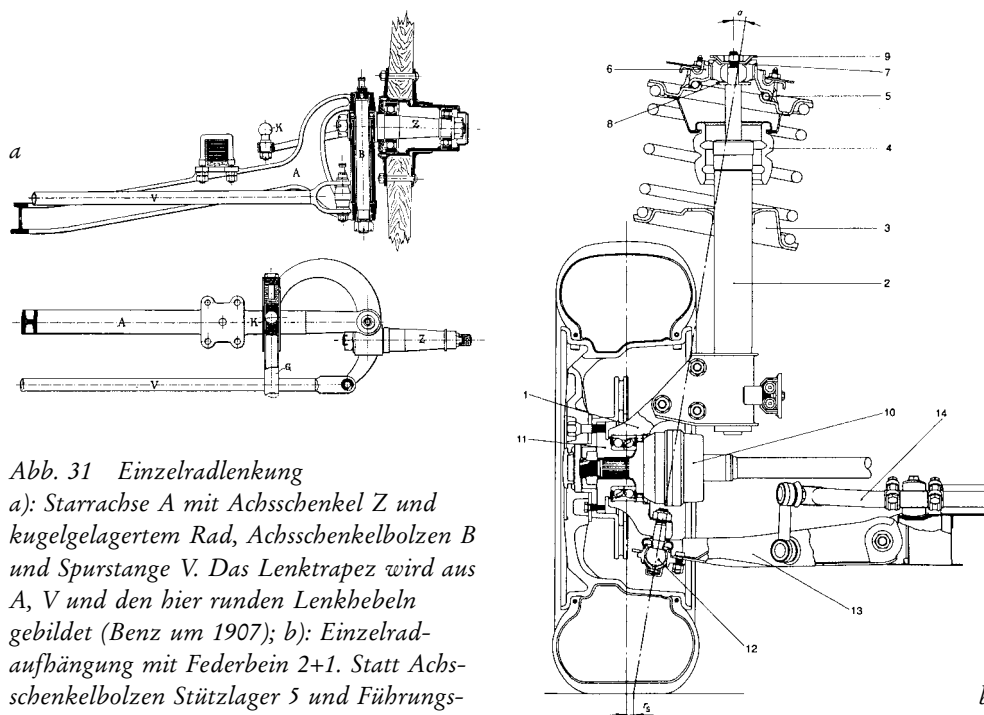


Abb. 31 Einzelradlenkung
a): Starrachse A mit Achsschenkel Z und kugelgelagertem Rad, Achsschenkelbolzen B und Spurstange V. Das Lenktrapez wird aus A, V und den hier runden Lenkhebeln gebildet (Benz um 1907); b): Einzelradaufhängung mit Federbein 2+1. Statt Achsschenkelbolzen Stützlager 5 und Führungsgelenk 12, statt Achsschenkel Gelenkwellenstummel 10 in Radnabe 11. Lancia (Vorderradantrieb) um 1990.

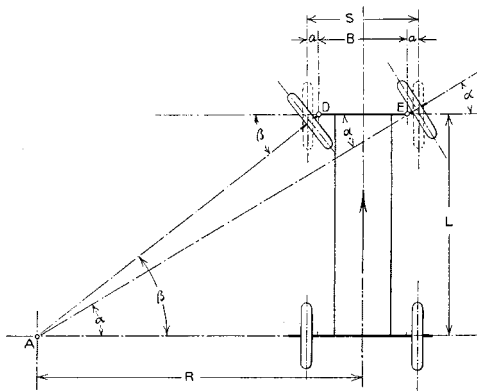
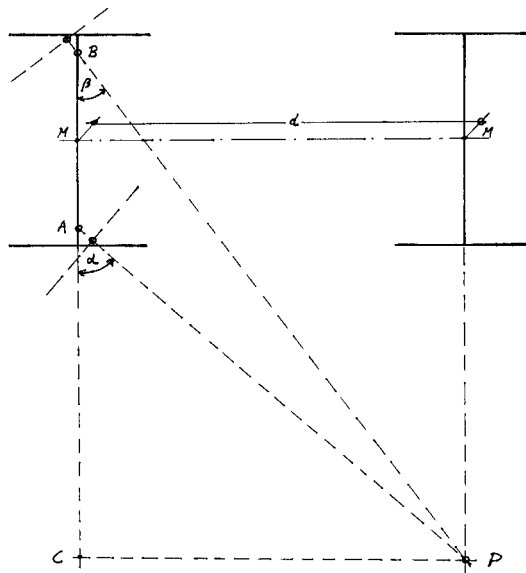


Abb. 32 Kinematische Zusammenhänge
Bei Kurvenfahrt rollen die Lenkräder nur dann gleitfrei ab, wenn sich deren Achsverlängerungen im Kurvenmittelpunkt A treffen. Dabei muß β (Einschlagwinkel kurveninneres Rad) größer als α sein.

bei Auto und Nutzfahrzeug zusätzlich Spreizung, Vorspur und Lenkrollradius berücksichtigt werden – und das Lenktrapez, eine im Zusammenhang mit der Achsschenkellenkung für Pferdewagen vorgeschlagene Lenkachskonstruktion von Georg Lankensperger aus dem Jahr 1816.

Die Bestimmung der Einschlag- oder Ackermann-Winkel bei der Achsschenkellenkung kann zeichnerisch oder rechnerisch erfolgen. In den drei wichtigsten Patenten (Ackermann/Lankensperger 1818, Bollée 1873, Benz 1893) und in der frühen Literatur finden sich lediglich zeichnerische Lösungen. Im Hauptpatent von Ackermann/Lankensperger wird jedoch auf Verstellmöglichkeiten aufmerksam gemacht, ein Hinweis auf die Versuche, die Lankensperger vorher unternommen hatte.

Rechnerische Lösungen scheinen erst um 1900 publiziert worden zu sein. Elsner beispielsweise entwickelte 1903 in seiner ‚Theorie der Lenkung automobiler Fahrzeuge‘²³ neben graphischen Lösungen folgende Berechnungsformel:



Ist CP eine Parallele zur Mittellinie des Wagens MM , so ist

$$\cot \alpha = \frac{AC}{CP} \text{ und } \cot \beta = \frac{BC}{CP}$$

$$\cot \beta - \cot \alpha = \frac{BC-AC}{CP} = \frac{AB}{CP} = \frac{2\alpha}{d} = \text{const.}$$

Weil Elsner die Lenkwinkelberechnung für alle Radstellungen als „unbequem“ empfand, empfahl er die graphische Methode, „die sich zunächst von selbst bietet, indem man die drei Achsen in P zum Schnitt bringt“²³.

Die bis dato in der (Patent-)Literatur gezeigten Einschlagwinkel von nahezu 90° am inneren Rad, so Elsner an anderer Stelle²⁴, seien im Automobilbau mit Ausnahme der elektrischen Wagen²⁵ nicht praktikabel, es genügten Winkel bis zu 45°. Abweichungen von den ermittelten Einschlagwinkeln würden zum Gleiten eines Rades führen. Bei Lastwagen mit ihren Eisenreifen, so Elsner, „braucht man nicht so genau sein ... dagegen ist die beliebte Gummibereifung, sei es Vollgummi oder Pneumatik, zu kostspielig, um ihr eine unnötige Abnutzung durch Rutschen auf der Fahrbahn aufzubürden“.

Bei den damaligen teuren Hochdruckreifen war das ein einleuchtendes Argument. Spätestens mit der Einführung der Mitteldruck-Ballonreifen 1926 jedoch verlor die ‚richtige‘ Radstellung der gelenkten Räder wegen des Reifenschräglaufs immer mehr an Bedeutung. Heute wird bei den meisten PKW der Einschlagwinkel des kurvenäußeren Rades erhöht, um einen kleineren Spurkreis und eine höhere Seitenkraftaufnahme des kurvenäußeren Rades zu erhalten. Eine Lenkabweichung wird also bewußt in Kauf genommen²⁶.

7.2 Vorläufer der Achsschenkelenkung

Lankensperger war nicht der erste, der die durchgehende Achse unterteilte. Die Königliche Akademie der Wissenschaften in Paris veröffentlichte vier Konstruktionen des französischen Erfinders Du Quet, von denen hier nur Patent 152 aus dem Jahr 1714 über ein Chariot à Voile interessiert²⁷. Danach wird bei Du Quets Segelwagen, der vor allem durch seinen Schreitfußantrieb auffällt, jedes der beiden Vorderräder zusammen mit einem Pfosten um Lagerzapfen geschwenkt, die sich unten in einem vorderachsähnlichen Querholz, oben im Traggerüst befinden (Abb. 33).

Du Quets Achsschenkelenkung wird nicht funktioniert haben, sollte der Segelwagen jemals gebaut worden sein. Ein Seil kann nur Zugkräfte übertragen, und weil eine die Räder verbindende Spurstange fehlt, hätte das gegenüberliegende Rad bei Kurvenfahrt ein mehr oder weniger ausgeprägtes Eigenleben geführt.

7.3 Die Achsschenkelenkung von Lankensperger/Ackermann

Der Münchner Wagenbauer Georg Lankensperger hingegen dachte die Lenkgeometrie einer Achsschenkelenkung auch zu Ende. Im bayerischen Privileg vom 25. Mai 1816²⁸ und in seiner 1818 herausgegebenen Broschüre ‚Bewegliche Achsen ...‘²⁹ berücksichtigt Lankensperger nicht nur das Lenktrapez, sondern weist auch zeichnerisch darauf hin, daß das kurveninnere Rad einen größeren Einschlagwinkel haben muß als das kurvenäußere, damit sich die Verlängerungen der Radachsen aller Räder in einem Punkt (Kurvenmittelpunkt) schneiden und die Räder rollen, ohne zu gleiten (Abb. 34 + 35). Dies erkannt und (annähernd) erreicht zu

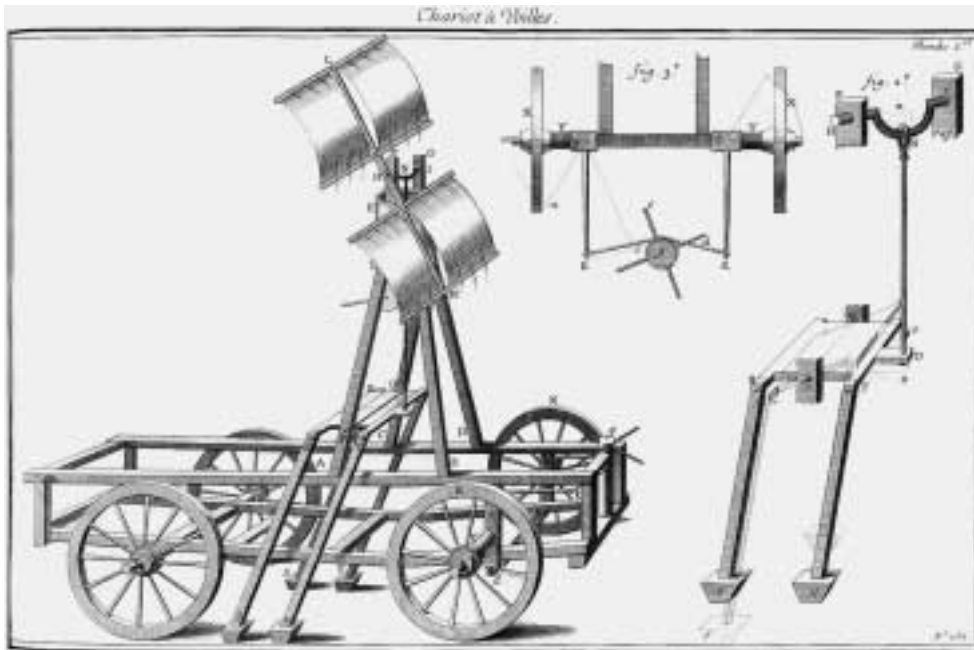


Abb. 33 Achsschenkellenkung von Du Quet 1713
 Segelwagen mit Einzelradlenkung über Drehpoller g, Seilzug d und Lenkhebel K. Die beiden Vorderräder X drehen sich um je eine Radachse Y (Achsschenkel), die fest mit einem zwischen Vorderachse und Traggerüst-Oberholm drehbar gelagerten Pfosten h (Achsschenkelbolzen) verbunden ist.

haben, ist das Verdienst Lankenspergers, was ihn zum Erfinder der Achsschenkellenkung macht.

Während der damaligen deutschen Kleinstaaterei ließ sich geistiges Eigentum bestenfalls regional schützen, weil es ein nationales Patentrecht noch nicht gab³⁰. Um zumindest „in England, im Lande der vollendetsten Sorgfalt für Reisebequemlichkeit“³¹, Erfinderschutz zu erhalten, „associrte“ sich Lankensperger daher mit dem Kunsthändler Rudolph Akkermann³² in London, „worauf letzterer auf diese Erfindung zu beider-

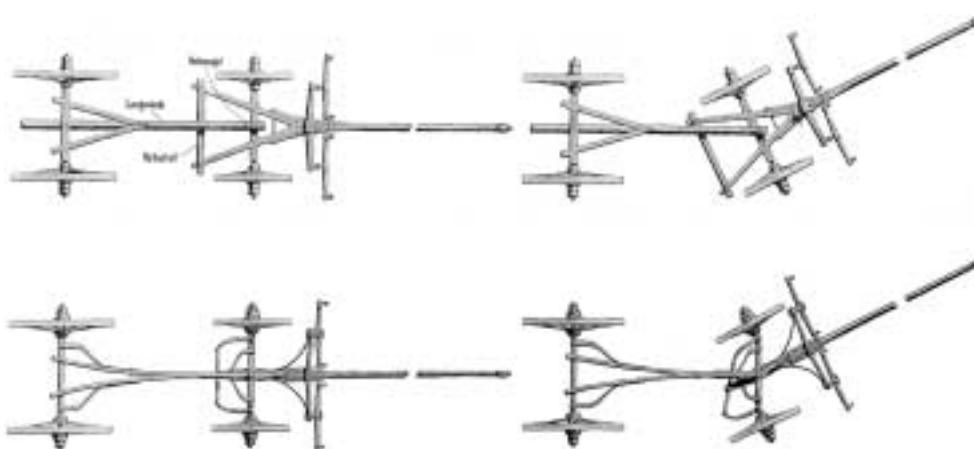


Abb. 34 Achsschenkellenkung von Lankensperger 1816
 Vergleich zwischen Reibscheit- (oben) und Achsschenkellenkung mit Lenktrapez, gebildet aus Vorderachse, Spurstange und Lenkhebeln. Vierpunkt-Lagerung des Aufbaugewichts bei der Achsschenkellenkung, Dreipunktlagerung bei der Schwenkachse.

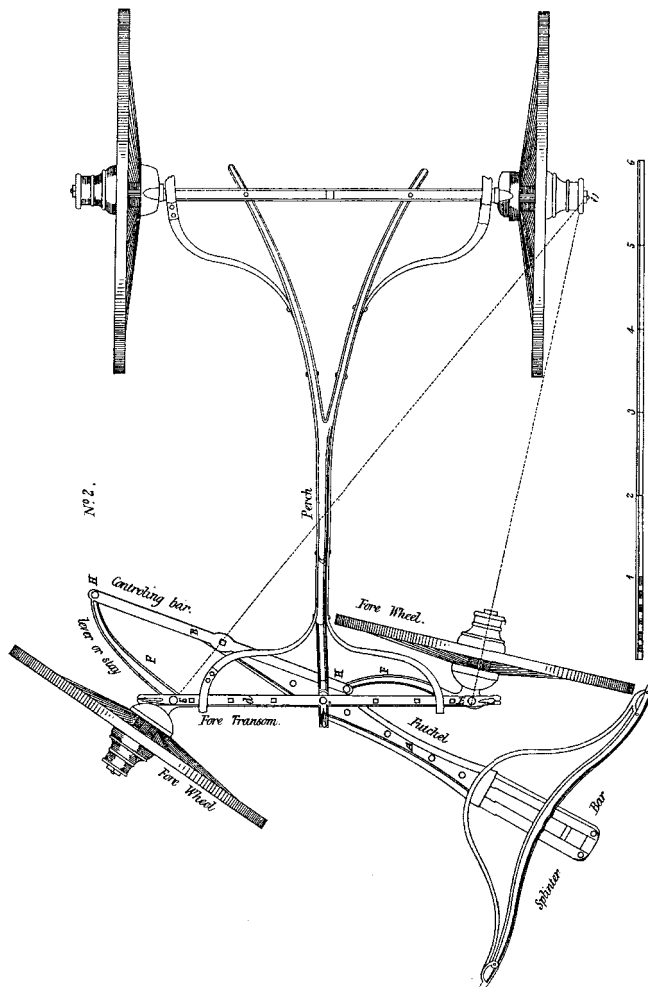


Abb. 35 Lenkgeometrie nach Lankensperger
Die Verlängerungen der Radachsen aller Räder schneiden sich in einem Punkt, hier 0 an der Achsmutter hinten links. Lenktrapez aus Fore Transom (Vorderachse), Controlling bar (Spurstange) und Stays (Lenkhebel), hier wegen starken Einschlags verzerrt. Einschlag- oder Ackermann-Winkel siehe Abb. 32. Zeichnung aus GB-Patent 4212 von 1818.

seitigem Vortheil ein Patent auf die drei Großbritannienische Königreiche nahm³¹. Das erklärt, warum trotz Erwähnung des Erfinders Lankensperger im Patent 4212³³ die Achsschenkellenkung im englischsprachigen Raum heute noch als Ackermann- oder A-Steering und die theoretisch richtigen Einschlagwinkel der Vorderräder als Ackermann-Winkel bezeichnet werden³⁴. Lankenspergers in deutscher und französischer Sprache verfaßte Broschüre „wurde in Frankreich sogleich ausgeschlachtet“. Feldhaus stellte 110 Jahre später richtig, daß „der Pariser Wagenbauer Arnold Hauciss nämlich am 25. Nov. unter Nr. 911 ein französisches Patent³⁵ auf die Ackermannsche Lenkvorrichtung (nahm), ohne den Erfinder mit einem Wort zu nennen. Er gibt seiner Patentanmeldung Zeichnungen bei, die der Lankenspergerschen Veröffentlichung getreu nachgezeichnet sind“³⁶.

In der Broschüre und im Ackermann-Patent 4212 hatte Lankensperger genaue Ausführungsformen von Vorderachse, Achsschenkeln, Spurstange und Lenkhebeln beschrieben und gezeichnet (Abb. 36) – die Raubkopierer werden es ihm gedankt haben. „Damit man auch an anderen Orten von dieser Erfindung auf eine leichte Art Anwendung machen kann“³⁷, fertigte Lankensperger Umbausätze an. Seriöse Wagenbaufirmen konnten somit ihren Kunden ebenfalls Wagen mit ‚beweglichen Achsen‘ anbieten, ohne gleich eine Lizenz von Lankensperger oder Ackermann erwerben zu müssen. Weitere Anbieter von Swivel Axles folgten³⁸.

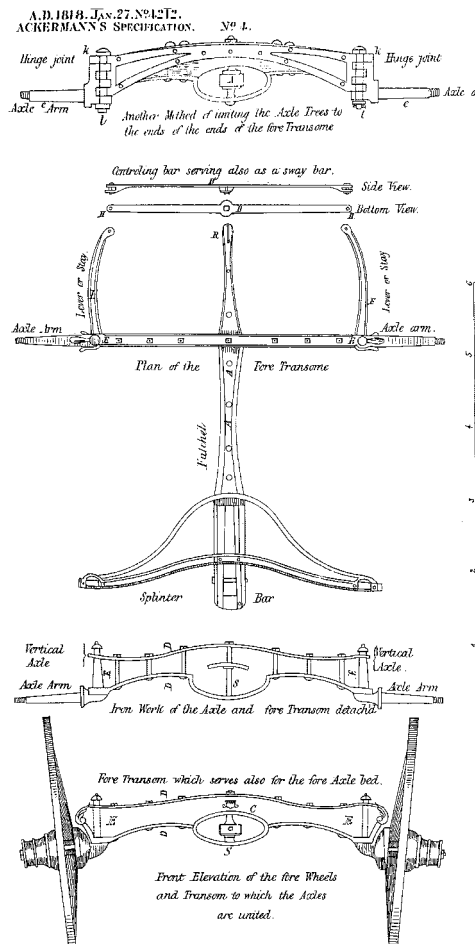


Abb. 36 Achsschenkel à la mode
Vorschläge von Lankensperger: Unten die hölzerne, mit Flacheisen und Schraubnägeln (Zeichnung darüber) verstärkte Vorderachse mit Axle Arms (Achsschenkel) und Vertical Axles (Achsschenkelbolzen). Ganz oben eine offensichtlich stabilere Ausführung mit Scharnieren. Zeichnung aus GB-Patent 4212 von 1818.

Abb. 37 Phaeton à la mode
Als einen der Vorteile der Achsschenkellenkung pries Lankensperger die Möglichkeit, große Vorderräder einbauen zu können. Davon ist bei der Darstellung dieses Phaetons mit ‚beweglichen Achsen‘ kein Gebrauch gemacht worden.



Zu „ein(em) wahre(n) Apostel dieser zur Bequemlichkeit und Sicherheit unendlich wichtigen Verbesserung aller Fuhrwerke“ erhob das Polytechnische Journal³¹ Rudolph Ackermann, der „... mit einer nach diesem Grundsatz in München erbauten Barouche von München bis Hamburg (reiste), und trotzte allen Gefahren deutscher Landstraßen, und wo er hinkam, versammelten sich die Wagner und Gewerker um diesen Wunderwagen ... In England selbst haben sich bereits die ... Coachmaker des ersten Ranges dafür erklärt, und Ackermann kann mit Recht ... ausrufen: diese Patent-Achsen werden allgemein in Gebrauch kommen“ (Abb. 37).

Ackermanns und Lankenspergers Erwartungen erfüllten sich jedoch nicht. Wohl sollen bis 1820 gegen vierzig Wagen mit Achsschenkellenkung in England gebaut worden sein³⁷, wohl konnte Lankensperger einige Wagen an private Kunden und an den bayerischen³⁹, an den preußischen und an den russischen Hof liefern. Doch eine 1847 gezogene Bilanz fiel ernüchternd aus. „Die vor wenigen Jahren von Lankensperger in München erfundenen beweglichen Axen“, so Poppe in seiner ‚Geschichte aller Erfindungen und Entdeckungen‘⁴⁰, „... erregten zwar Anfangs viel Aufsehen, kamen aber bald wieder in Vergessenheit, so sehr man ihre Zweckmäßigkeit in gewisser Hinsicht auch anerkennen mußte“.

In der Tat schien die Achsschenkellenkung nicht nur bei den eher konservativen Wagenbauern und deren Kunden in Vergessenheit geraten zu sein. Auch allgemeintechnische Nachschlagewerke und Wagenbau-Literatur gingen nicht mehr auf Lankenspergers Lenkung ein⁴¹. Einer der Gründe wird darin gelegen haben, daß die Drehkranzlenkung den Ansprüchen des Wagenbaus genügte. Damit erübrigten sich Experimente mit der Achsschenkellenkung. Parallelen drängen sich auf: Luftbereifung⁴² und hydraulische Bremsanlage⁴³, 1845 bzw. 1895 für pferdegezogene Wagen erfunden, waren komplizierter und teurer als Eisenbereifung und mechanische Bremsvorrichtungen und konnten sich erst ab 1896 bzw. ab 1921 im technisch anspruchsvolleren Automobil durchsetzen. So war es auch mit der Achsschenkellenkung.

7.4 Lenkkonstruktionen ohne Ackermann-Winkel

Weil damals die Informationsmöglichkeiten unterentwickelt, die Unlust, sich zu informieren, dagegen weit verbreitet waren, kam es zu Zweit- und Dritterfindungen bzw. zu Wiederholungen von Erfindungen bereits gelöster technischer Probleme. Nicht immer also können Raubkopien und Patentumgehungen unterstellt werden. Theoretische Erkenntnisse, die an einem Ort und in einem Gewerbe schon bekannt waren, blieben andernorts und in anderen Branchen unbekannt.

Nach Dampfschiff und Eisenbahn konzentrierten sich Erfindungen und Kapitaleinsatz im England des beginnenden 19. Jahrhunderts auf den Straßen-Dampfwagen. Er löste den pferdegezogenen Wagen als Technikträger ab. Die Dampfwagenbauer behielten sich mit der vom Pferdewagen sattsam bekannten Schwenkachse oder konstruierten neue, nicht selten skurrile Lenkvorrichtungen. Auf Lankenspergers Achsschenkellenkung griff zunächst niemand zurück, „the Ackermann-steering arrangement was apparently forgotten“⁴⁴.

Wie hemmend sich der kaum entwickelte Austausch von Informationen auswirkte, zeigt folgende Kurzchronik:

- * 1827 versah Goldsworthy Gurney seine drehschemelgelenkte Dampf-Coach⁴⁵ zusätzlich mit zwei reibnagelgelenkten Piloträdern und muß damit, weil die Verlängerungen der drei Achsen nicht in einem Punkt zusammenfielen, die Lenkeigenschaften seines Gefährts verschlechtern haben (Abb. 38).
- * 1828 plante Onésiphore Pecqueur für seinen vierrädrigen Dampf-lastwagen, den er nie gebaut hat, eine achsschenkellose Einzelrad-(Gabel)Lenkung mit Lenkhebeln und Spurstange, erfüllte aber nicht das Kriterium sich in einem Punkt schneidender Radachsverlängerungen⁴⁶.
- * 1832 unterteilten Joseph Gibbs und William Chaplin beide Achsen eines Anhängers und ersetzten sie durch eine Vierrad-Achsschenkel-lenkung⁴⁷. Weil kurveninnere und kurvenäußere Räder um den gleichen Winkel einschlugen, war ein solches Gefährt nur unter Schleifen, Geräusentwicklung und Kraftaufwand in eine Kurve zu zwingen (Abb. 39).

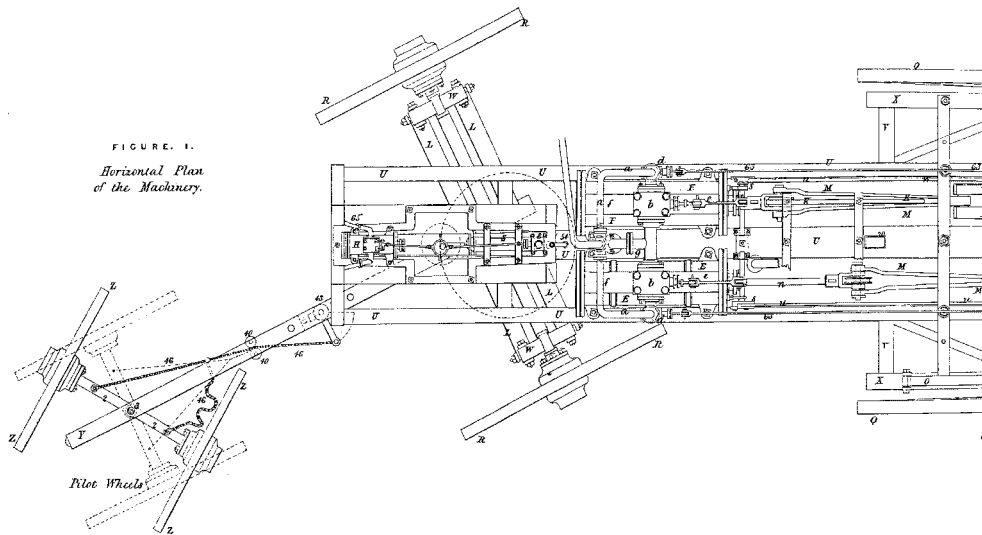


Abb. 38 Fehlerhafte Lenkgeometrie bei Schwenkachswagen
 Mit pilot wheels wollte Gurney 1827 die Lenkbarkeit seiner Dampf-Coach verbessern. Die nicht korrekten Einschlagwinkel der beiden Lenkachsen werden sich wegen der leichten Piloträder nicht allzu nachteilig ausgewirkt haben.

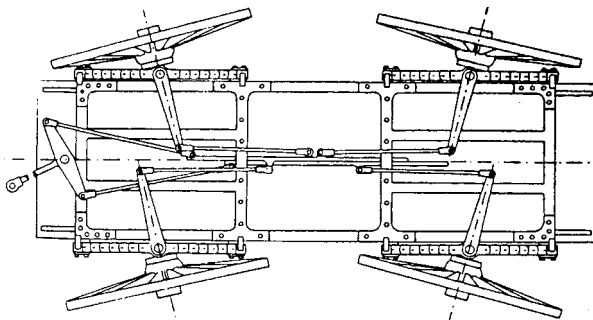
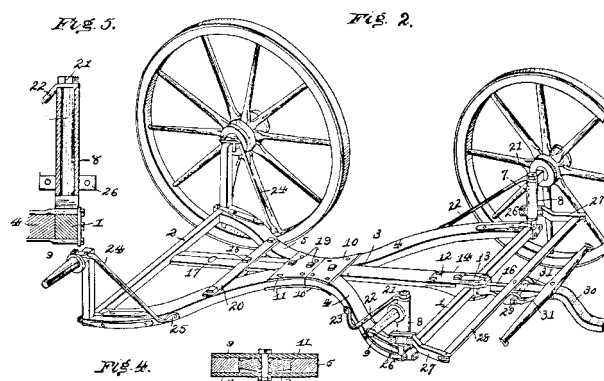


Abb. 39 Fehlerhafte Lenkgeometrie bei Einzelradlenkung Vierrad-Achsschenkellenkung von Gibbs und Chaplin 1832. Jeder der langen Lenkhebel nahm außen Achsschenkel und Rad auf und war innen über ein Gestänge mit der Zugstange verbunden. Kein gemeinsamer Schnittpunkt der Radachsen.

Abb. 40 Achsschenkellenkung für einen Rollwagen
 Fahrwerk mit gekröpften Achsen zum schnellen Wechseln von Plattform oder Aufbau von Holley 1893. Einzelradlenkung mit Achsschenkeln 8, Lenkarmen 27 und Querstange 28.



* 1893 erhielt Clarence Holley ein Patent auf ein Rollwagen-Fahrwerk für Wechsellaufbauten mit Achsschenkellenkung und gekröpften Achsen⁴⁸. Der Erfinder geht zwar auf die Achsschenkellenkung ein, nicht jedoch auf unterschiedliche Einschlagwinkel, so daß wohl davon ausgegangen werden kann, daß ihm die Bedeutung der Ackermann-Winkel nicht bekannt war (Abb. 40).

Die Aufzählung könnte beliebig fortgesetzt werden.

7.5 Lenkkonstruktionen mit Ackermann-Winkel

Das 19. Jh. war das Zeitalter der Dampfkraft, mit England als führender Nation in Erfindertätigkeit, Metallurgie und Fertigungsmethoden. Aus verschiedenen Gründen kam die Entwicklung von Dampfnibussen jedoch schon um 1840 fast zum Stillstand. Mit dem Red Flag Act von 1865 degradierte das Parlament in London die englische Fahrzeugindustrie vollends zur Bedeutungslosigkeit.

Trotz der Nachwirkungen des deutsch-französischen Kriegs 1870/71 verlagerte sich deshalb der Schwerpunkt der Damfwagenentwicklung und mit ihm weitere Fortschritte in der Lenkungsauslegung mechanisch angetriebener Straßenfahrzeuge von England nach Frankreich. Waren die meisten englischen Traction Engines um diese Zeit mit nur einem Vorderrad ausgerüstet, um Probleme mit der Lenkung zu umgehen, tauchte in Frankreich die Achsschenkellenkung wieder auf.

Kurzchronik:

- ✧ 1873 erfand Amédée Bollée père die Achsschenkellenkung ein zweites Mal. Weil auch er festgestellt hatte, daß ein Vierradwagen mit Schwenkachse die Last auf nur drei Punkten trägt und bei scharfem Lenkeinschlag „keine größere Stabilität hat als ein dreirädriges Fahrzeug“⁴⁹, entwickelte Bollée für seinen Dampfwagen L'Obèissante eine achsschenkellose Einzelradlenkung. Damit hatte er mit der Vierpunkt-Lastaufgabe nicht nur größere Sicherheit erreicht. Über ein aus Kurvenscheiben bestehendes Lenkgetriebe ließ sich die Lenkgabel des kurveninneren Rades stärker einschlagen als die des kurvenäußeren Rades, so daß auch die Kriterien nach Lankensperger/Ackermann erfüllt waren (Abb. 25).
- ✧ Ab 1878 baute Bollée einen weiteren Dampfwagen mit Einzelradlenkung und Ackermann-Winkel. Gegenüber der aufwendigen Gabelnlenkung und dem komplizierten Lenkgetriebe von L'Obèissante besaß La Mancelle (Die aus Le Mans) eine Achsschenkellenkung und ein Zahnstangenlenkgetriebe. Vermutlich war Bollée auch der erste, der eine geteilte und verstellbare Spurstange benutzte (Abb. 41 a+b).

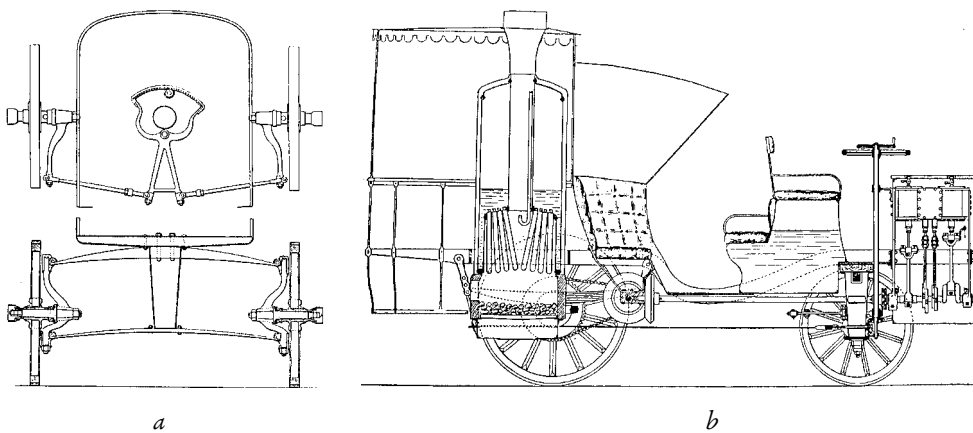


Abb. 41 Korrekte Lenkgeometrie bei Einzelradlenkung

La Mancelle ab 1878 mit an Querblattfedern aufgehängten Achsschenkeln (links unten) und geteilter, verstellbarer Spurstange mit Lenkhebeln und gekrümmter Zahnstange (links oben), in die ein auf der senkrechten Lenksäule (rechts) befestigtes Ritzel eingreift. La Mancelle ist im Fahrzeugmuseum von Compiègne aufgehoben.

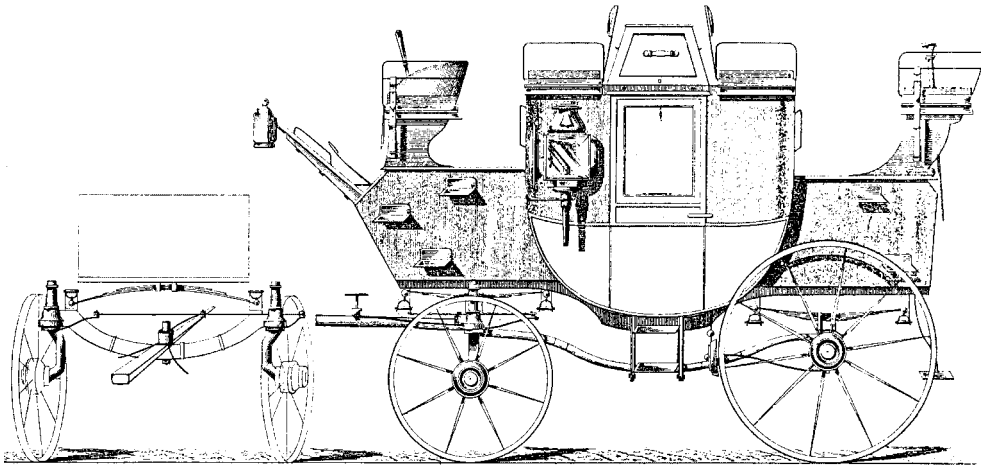


Abb. 42 Achsschenkellenkung nach Jeantaud 1889
 Eine von Ehrler in Paris nach Vorbild englischer Mail Coaches gebaute private Coach (Drag) mit turmartig ausgebildeten Achsschenkeln und ungeteilter Spurstange.

- ✧ 1889 stellte Charles Jeantaud auf der Exposition Universelle in Paris eine von der Wagenbaufirma Ehrler gebaute, pferdegezogene Privat-Coach mit Achsschenkellenkung aus (Abb. 42). Ein Teil der oberen Verlängerungen der Achsschenkel war in der Vorderachse verankert, die verschiedenen großen Einschlagwinkel der Vorderräder sollten durch den wandernden Anlenkpunkt der Deichsel mit der ungeteilten Spurstange erreicht werden. Insgesamt war dies kein Fortschritt gegenüber der Auslegung von Lankensperger und vermutlich ein Versuch, die Patente von Ackermann und Haucisz zu umgehen.

Nachträglich gab Jeantaud zu verstehen, daß sich seine Achsschenkellenkung ebensogut für Motorwagen eigne. Denn auch Motorwagen, die ersten in Frankreich, waren auf der Weltausstellung vertreten, und zwar ein Benz-Dreirad und das von Wilhelm Maybach konstruierte Daimler-Quadricycle, später Stahlradwagen genannt.

7.6 Die Achsschenkellenkung wird obligatorisch

Zum Ende des 19. Jh. schoben sich – abgesehen vom nach wie vor großen Interesse an der Eisenbahn – Fahrrad und Motorwagen in den Mittelpunkt öffentlicher Anteilnahme. Vor allem das Niederrad, vorläufiger Endpunkt einer von der Drais'schen Laufmaschine über das Velociped und das Hochrad verlaufenen Entwicklung, „... hat ... einen glänzenden Triumph gefeiert“⁵⁰, nachdem es zunächst angefeindet, dann geduldet und schließlich gern aufgenommen worden war.

Die durch Muskelkraft angetriebenen Drei- und Vierräder und die Fahrrad-Technik ganz allgemein beeinflussten Entstehung und Entwicklung des Motorwagens. Der Benz-Wagen von 1886 (Abb. 43 a), das erste Automobil nach heutiger Definition, war nichts anderes als ein mit Motor und Antrieb versehenes Tricycle oder Vordersteuer-Dreirad, damals in England und Frankreich recht populär. Und Maybachs Quadricycle (Abb. 43 b) war eine „... mechanische Ausführung ... eines Vierrades mit Stahlgestell und Lenkung beider Vorderräder nach Art der Fahrräder“⁵¹. Sowohl der Benz-Motorwagen als auch der Daimler/Maybach-Stahl-



a



b

Abb. 43 a+b Gabellenkung bei Benz und Daimler

Nach Vorbild des Patent-Motorwagens von 1886 (l.) baute Benz bis 1893 nur Dreiradwagen mit Gabellenkung. Daimler stellte ab 1887 vierrädrige Motorwagen mit Schwenkachs- oder Gabellenkung (r.) her, erst ab 1897 solche mit Achsschenkellenkung.

radwagen besaßen Gabellenkung, Stahlrohrrahmen, Stahlspeichenräder und Kettenantrieb der Hinterräder und wären ohne das Fahrrad gar nicht denkbar gewesen.

Trotz Drängens des französischen Benz-Vertreters Emile Roger, endlich Vierrad-Wagen anzubieten, weil sich die Dreiräder auch in Frankreich nicht verkaufen ließen, lehnte es Benz von vornherein ab, bei einem „... Vierräderwagen ... das Lenken durch Drehung der ganzen Vorderachse zu bewerkstelligen, wie es vom Pferdewagen her jedermann bekannt ist“⁵². Als Begründung führte Benz hohen Kraftaufwand an, ferner zu geringe Stabilität „... gerade in dem Augenblick ... wo die Zentrifugalkraft den Wagen am meisten umzuwerfen droht ...“. Und: „Liegt ein Stein im Weg, so entsteht plötzlich ein großes Stoßmoment, dem das Zugtier leicht, der Kraftfahrer aber nur schwer begegnen kann“.

Abb. 44 Achsschenkellenkung nach Benz 1893

Prinzip und unterschiedliche Einschlagwinkel wie bei Lankensperger (s. Abb. 35), bei Benz jedoch mechanischer Antrieb über Ritzel und zwei Zahnstangen, geteilte Spurstange und kürzere Lenkhebel. Patent 73515.

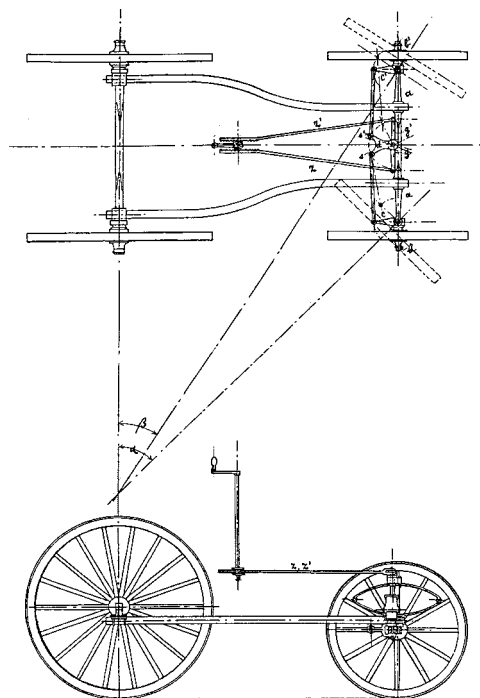


Abb. 45 Achsschenkellenkung von Panhard & Levassor 1890/91

Um einige Jahre früher als die Deutschen brachte Panhard & Levassor Motorwagen mit Achsschenkellenkung heraus. Hier ein Modell von 1891 mit Heckmotor nach Daimler-Lizenz.

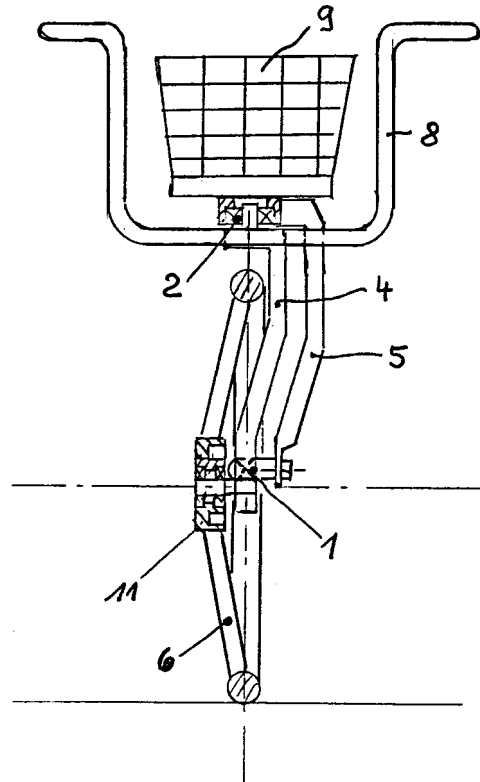




Abb. 46a Achsschenkellenkung beim Fahrrad damals ...

Französisches Olympia Tandem-Tricycle mit Achsschenkellenkung, geteilter Spurstange und Lenkkraftübertragung mit üblichem Fahrradlenker aus den frühen 1890er Jahren.

Abb. 46b ... und beim Fahrrad heute
Ausgeführter Entwurf mit Achsschenkel-
lenkung von Hermann Popp aus den frühen
1990er Jahren. Zwischen den Rad-
aufhängungspunkten = Lagern 1 und 2 der
das Vorderrad 6 führende und mit dem
Lenker 8 verbundene Lenkträger 4. Fest-
stehender Rahmenteil 5, Transportraum 9,
Trommelbremse 11.



Benz will schon seit 1884 nach besseren Lösungen gesucht haben, doch erst 1893⁵³ gelang es ihm, die Achsschenkellenkung ein weiteres Mal zu erfinden (Abb. 44). Die Überwindung der 400 km-Entfernung München (Lankensperger) – Mannheim (Benz) hat, so betrachtet, demnach 77 Jahre gedauert, der Entfernung München–Cannstatt sogar 81 Jahre: Die Daimler Motoren Gesellschaft brachte nicht vor 1897 ihre ersten Wagen mit Achsschenkellenkung heraus.

Die späten Erkenntnisse der deutschen Automobilpioniere Benz und Daimler/Maybach sind aus heutiger Sicht einigermaßen erstaunlich. Denn abgesehen vom Ackermann/Lankensperger-Patent 1818 und der Dampfwagen-Lenkungsauslegung von Bollée 1878 führten Panhard & Levassor und Peugeot die Achsschenkellenkung bereits 1890/91 ein (Abb. 45). Auch englische und französische Fahrradfabrikanten machten vor 1893 bei ihren Tri- und Quadricycles von der Achsschenkellenkung regen Gebrauch (Abb. 46a).

Mit den Motorwagen, für die sich ab etwa 1895 der Terminus *Automobile* einbürgerte, setzte sich die Achsschenkellenkung endgültig durch. Seitdem sind bis auf wenige Ausnahmen bei Personenwagen keine anderen Lenksysteme mehr angewendet worden. Die im PKW-Bau gemachten Erfahrungen flossen zurück in die Pferdewagenherstellung (Abb. 47 und 48 a+b), fanden dort aber bis heute keine Gegenliebe.

Die Nachteile der Teleskopgabeln – unbefriedigende Biege- und Torsionssteifigkeit, hoher Wartungsaufwand, unsensibles Ansprechverhalten und

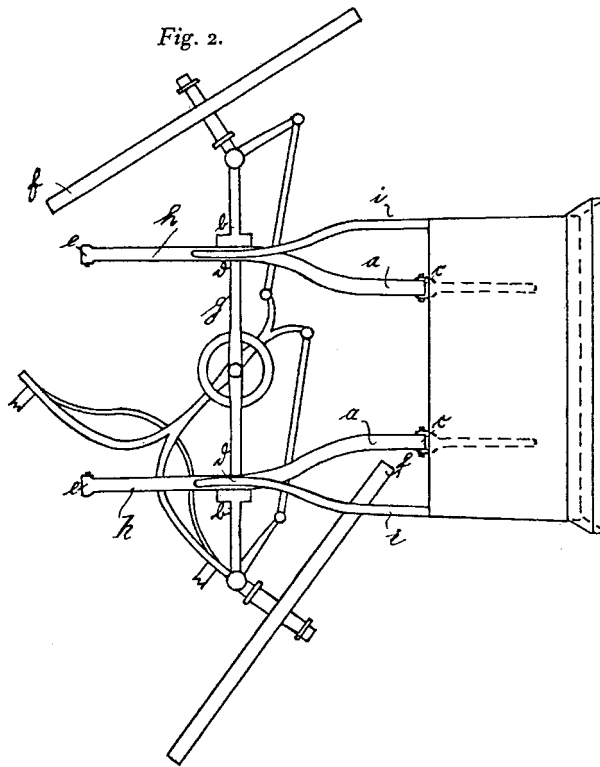


Abb. 47 Bekanntes Prinzip, neuartige Ausführung Selbsttragender Wagenaufbau mit Formfedern a und Formarmen i, die den großen Vorderrädern genügend Raum zum Einschlagen lassen. Geteilte Spurstange, kurze Lenkhebel. Zeichnung aus Patent 273634/1912 Paul Nitz, Neustettin.

ausgeprägtes Bremsnicken – führten bei Motorrädern zu Trapezgabeln und geschobenen Schwingen, in Einzelfällen auch zur Achsschenkelenkung. Den anglo-amerikanischen Solomaschinen Ner-a-Car (1921–27) und OEC (Osborne Engineering Company, 30er Jahre) folgten die italienische Bimota Mitte der 80er Jahre und Yamaha Ende 1992 mit Achsschenkelenkung. Seit 1994 bieten Spezialfirmen Gespanne auf Yamaha- und BMW-Basis an, bei denen nicht nur die Vorderräder, sondern z.T. auch das dritte Rad am Seitenwagen achsschenkelgelenkt sind (Abb. 49). Sowohl den Solomaschinen als auch den Gespannen



Abb. 48a+b Achsschenkelenkung nach Nitz Von Nitz gebauter Wagen von ca 1913 mit großen Vorderrädern und großem Radeinschlag, heute im Museum Achse, Rad und Wagen in Wiehl aufgehoben.



*Abb. 49 Gespann, achsschenkelgelenkt
Auf Yamaha-Technik basierendes
Comanche-Gespann von Side Bike
mit Achsschenkellenkung der Zug-
maschine und des Seitenwagen-
rades. Um 1994.*

bescheinigen die Tester hervorragende Spurstabilität auch bei Bremsmanövern, jedoch „sollte man bei aller Zukunftseuphorie nicht vergessen, dass der kommerzielle Erfolg und die technisch-funktionale Potenz eines Motorrads nicht immer deckungsgleich sind“⁵⁴.

Für Lastwagen-Anhänger sind besonders in den 30er Jahren zahlreiche Vorschläge gemacht und Patente aufgenommen worden, doch kam die Achsschenkellenkung bei den damaligen Zwei- und Dreiachsern aus Kostengründen nicht zum Tragen. Heute weisen mehrachsige Tieflade-, Satteltieflade- und Spezialanhänger Einzelradlenkung auf, z.T. elektronisch geregelt und hydraulisch betätigt bis hin zu den vier Lenkungsarten Normal, Querfahrt 90°, Diagonal- und Karussellfahrt. Bei üblichen Anhängern wird nach wie vor die erste Achse geschwenkt, doch werden auch Vierachs-Nachläufer angeboten, bei denen die vordere Schwenkachse die zweite über Spurstangen mitlenkt.

Die von den Nutzfahrzeugherstellern angebotenen Zweiachs-Zugmaschinen und Zwei- oder Dreiachs-Lastwagen sind meist nur vorderradgelenkt. Tochtergesellschaften und Fahrwerksspezialisten montieren auf Wunsch spurstangengelenkte oder hydraulisch betätigte Vor- und Nachlaufachsen (Abb. 50). Spezialfahrzeuge wie Autokrane mit zwei oder mehr Achsen werden mit Vier-, Sechs- oder Mehradlenkung angeboten.

*Abb. 50 Tatzelwurm, stangengelenkt
Umbau eines MAN-Lastwagenfahrwerks,
serienmäßig mit lenkbarer Vorderachse und
starrer, zwillingsbereifter Antriebsachse, auf
zwangsgelenkte Vor- und Nachlaufachse.
Vorteile: höhere Nutzlast und Wendigkeit.
Maurer 1996*





*Abb. 51 Langversion, elektronisch gesteuert
Dank elektronischer Lenksysteme lassen sich 15 m-Busse ähnlich behende im Stadtverkehr bewegen wie die üblichen 12 m-Linienbusse. Auch die Sicherheit wird erhöht, weil die Elektronik schneller reagiert als der Mensch und schleudernde Busse stabilisieren kann.
Neoplan Transliner 1997.*

Auch im Omnibusbau macht sich die Verlagerung konstruktiver Aufgaben von der Einzelradlenkung auf Fahrzeug-Lenkprogramme bemerkbar. Im Stadt- und Überlandverkehr eingesetzte 15 m-Dreiachsbusse werden neuerdings mit einem elektronischen Lenksystem ausgerüstet, das die Antriebsachse beispielsweise um 5° , die Nachlaufachse bis zu 25° hydraulisch einlenken läßt (Abb. 51). Um zu vermeiden, daß ein Bus mit weit ausschwenkendem Heck wartende Fahrgäste gefährdet, kann ein Computer je nach Programmierung entweder die Lenkung der hinteren Achsen für wenige Meter sperren oder den Bus diagonal aus der Haltestelle herausfahren lassen.

7.7 Eigenschaften und Einordnung der Achsschenkellenkung

In seiner Broschüre ‚Bewegliche Achsen ...‘²⁹ zählt Lankensperger neun Vorteile seiner Achsschenkellenkung auf, von Dingers Polytechnischem Journal⁵⁵ getreulich übernommen:

- * „Ein Wagen mit beweglichen Achsen kann auf jedem noch so beschränkten Raume sicher umwenden ...“
- * Ein solcher Wagen kann um 15–18 Zoll kürzer gebaut werden, „... wodurch also der Wagen nicht so schwer, wie andere, und das Ziehen desselben erleichtert wird“.
- * „Die beweglichen Achsen gewähren vollkommene Sicherheit gegen das Umwerfen ... denn es ist durch die Erfahrung erwiesen, daß die gewöhnlichen Wägen bei dem schnellen und kurzen Umwenden auch am leichtesten umstürzen“.

- * „Mit beweglichen Achsen können die vorderen Räder viel höher gemacht werden ... hohe Vorderräder tragen ferner Vieles zur Zierde eines Wagens bei, während sie zugleich das Ziehen desselben erleichtern ...“
- * „Eine bewegliche Achse ist weit dauerhafter, als eine unbewegliche ...“
- * „Eine steife Achse giebt mit der Deichsel bei jedem Widerstande der vordern Räder dem Pferde einen harten Stoß, welches bei beweglichen Achsen nicht geschieht ...“
- * „... meine Wagengestelle (erfordern) fast die Hälfte weniger an Holz und Eisen, eigentlich nur sechs Stück vom erstern ... welche Vereinfachung dem Wagen eine außerordentliche Leichtigkeit und Zierde giebt ...“
- * Deichsel und Wa[a]ge können hochgelegt werden, „... die Pferde ziehen ... um Vieles leichter ...“
- * „Das Hauptaugenmerk für den Mann von Geschmack ... war von jeher ein leichtes und gefälliges Ansehen ... schöne und dauerhafte Wagengestelle ...“

Über die Eigenschaften gab es natürlich auch andere Meinungen. Der Übersetzer eines Beitrags im von Ackermann in London herausgegebenen Repository of Arts „will nicht läugnen, daß (die beweglichen Achsen) bei Parade-Kutschen in gut gepflasterten Städten ... gute Dienste leisten; für Reisekutschen hingegen ... und überhaupt für stark gebrauchte Wagen taugt diese Vorrichtung, mag sie auch noch so laut gepriesen werden, nicht. Die ... Hülse oder Einsätze nützen sich früher ab ... man hat häufig Reparatur nöthig, die nicht jeder Land-Schmid gehörig vornehmen kann ... diese Kutschen (halten) an ihren vorderen Rädern nicht gut das Gleise (Spur, d. Verf.). ... und bei starkem Schnellfahren (werden) diese Räder daher sogar oft leicht gebrochen“⁵⁶.

Kritik also an der Ausführung, nicht am System. Heute schätzen wir an der Achsschenkelenkung geringe Einbauräume und Gewichte, Freizügigkeit bei der konstruktiven Gestaltung, sichere Fahr- und Bremseigenschaften, sparsamen Material- und Energieeinsatz sowie kostengünstige Herstellung.

„Bei der Beurteilung einer Erfindung und ihres Erfinders müssen der zeitliche und der technische Stand der Erfindung in der Technikgeschichte berücksichtigt werden“, so Felix Wankel in einer Niederschrift vom 9. Februar 1977. „Ihr zeitlicher Stand kann viel zu früh sein, sie kann mit der vorhandenen Werkzeugtechnik, den verfügbaren Werkstoffen oder den derzeitigen Naturwissenschaften noch nicht verwirklicht werden. Es ist also zwangsweise ein späterer Zeitpunkt abzuwarten“.

Nach technischen Gesichtspunkten zu urteilen, kam die Achsschenkelenkung nicht zu früh, denn die relativ einfache Erfindung aus dem Jahr 1816 konnte mit den damaligen Werkzeugen und Werkstoffen beherrscht werden und überforderte auch nicht den Stand der Naturwissenschaften.

Freilich fehlte das Vehikel zur Durchsetzung der Erfindung, womit Lankensperger das Los von Robert William Thomson teilt, der 1845 den Luftreifen für pferdegezogene Wagen erfand⁴². „Hätte der Wagnermeister Lankensperger seine Lenkung erst um die Jahrhundertwende erfunden, er wäre wohl ein berühmter und reicher Mann geworden“⁵⁷. So geschah es

zumindest mit John Boyd Dunlop, der 1888 die Luftbereifung wieder erfand – für ein bereits vorhandenes Vehikel, das auf Luftreifen geradezu angewiesen war: das Fahrrad. Der auf die Achsschenkellenkung angewiesene Motorwagen wurde 1886 erfunden, d.h. Lankensperger ist, so betrachtet, mit seiner Achsschenkellenkung um 70 Jahre zu früh erschienen. Statt berühmt zu werden, ist er heute – wie auch Thomson – weitgehend vergessen.

Wenn man den in der Literatur genannten Zahlen glauben darf, sind in England knapp vierzig³⁷, in Deutschland bis 1818 vierunddreißig Wagen⁵⁸ gebaut worden. Vielleicht sind insgesamt um die hundert pferdegezogene Wagen mit Lankensperger/Ackermann-Achsschenkellenkung hergestellt worden, von denen, so weit bekannt ist, nur einer in Europa erhalten ist. Ein weiterer Wagen mit einer um 1913 gebauten Einzelradlenkung von Nitz ist heute in einem Museum aufgehoben (Abb. 48 a+b).

Die Erfindung von Lankensperger hatte auf den Pferdewagenbau weder technische noch wirtschaftliche Auswirkungen. Sie war nahezu bedeutungslos. Erst Motorwagen und Automobil offenbarten ihren unschätzbaren Wert.

8) Georg Lankensperger – Erfinder der Achsschenkellenkung

„Die größte Belohnung ... die einem patriotisch-gesinnten Manne ... zu Theil werden konnte“, vermerkte das Kunst- und Gewerbe-Blatt 1818, „ist folgendes ehrenvolle Zeugniß, das derselbe so eben von der competentesten Behörde ... erhalten hat“. Der königliche Oberstallmeister Freiherr von Keßling bestätigte dem königlich-bayerischen Hofwagner Lankensperger, „daß er im Februar 1816 zum Gebrauch für den hiesigen Allerhöchsten Hof eine leichte halbedeckte Chaise mit Anwendung seiner neuerfundenen beweglichen Vorderachsen hergestellt habe, welche sich bei starkem und unverschonten Gebrauch als dauerhaft bewährt hat“³⁹.

Zu dieser Zeit gehörte Lankensperger zu den Wagenbaufirmen, die die Hofwagenburg des ersten bayerischen Königs Max I. Joseph (1806–25) belieferten. Als Ersatz für die bisher benutzten schweren Krönungskarossen führte Keßling 1813 (Abb. 52) und 1818 die sogenannten Münchner Neuen Krönungswagen ein. Sie waren beide von dem nach München geholten Straßburger Wagenbauer Johann Christian Ginzrot⁵⁹ entworfen und beide von Lankensperger und anderen Handwerkern und Künstlern gebaut worden. Damit war die heute in der Autoindustrie übliche Arbeitsteilung vorweggenommen: Entwurf von einem ‚Dessinateur‘ (Zeichner), Ausführung durch einen Wagenbauer, der Zulieferfirmen heranzog.



*Abb. 52 Erster Münchner Krönungswagen 1813
Gala-Berline mit Drehkranzlenkung nach einem Entwurf von Ginzrot, erbaut von Hofwagner Lankensperger und weiteren Handwerkern und Künstlern. Der Wagen steht heute im Marstallmuseum in Schloß Nymphenburg.*

Nach dem Verzeichnis der Münchner Hofwagenburg des 19. Jahrhunderts lieferte Lankensperger ab 1811 bis zum Ende der Regentschaft von Max I. Joseph und darüber hinaus rund 50 Wagen und Schlitten, mehr als jede andere Münchner oder auswärtige Firma⁶⁰ – eine beachtliche Karriere für einen Handwerker aus der Provinz.

Johann Georg Lanketsberger war am 31. März 1779 als elftes von 13 Kindern in Markt am Inn zur Welt gekommen. Die Eltern waren der aus Lanketsberg bei Forstern stammende Wagner Lorenz Lanketsberger und die Wagnerstochter Anna Maria Schrottenbauerin, die 1762 geheiratet hatten. Als Lorenz Lanketsberger 1786 starb, heiratete seine Witwe, die jetzt noch sechs Kinder zu versorgen hatte, 1789 den Wagnergesellen Franz Weinberger. Bei ihm erlernte Johann Georg das Wagnerhandwerk.

Nach der Lehre verließ Johann Georg Lanketsberger seinen Heimatort Markt und verdingte sich 1802 als Wagnergeselle Georg Lankensperger⁶¹ beim Wagnermeister Wenzeslaus Rebhan in München. Als Rebhan 1804 unvermutet starb, erwarb Lankensperger das Bürgerrecht und heiratete 1806 die Witwe Marianne Rebhan geb. Ressler, Mutter von sechs unmündigen Kindern. Somit wurde Lankensperger Mitbesitzer des Wohnhauses Karmeliterplatz 1458, später Pfandhausgasse und Promenadepplatz 1458, heute Pacellistr. 8.

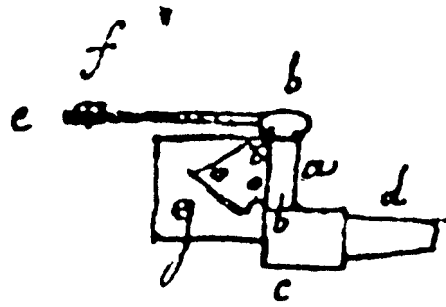
Durch die Heirat erwarb er neben der Wagnergerechtsamen⁶² auch die Wagenfabrikation. 1811 ging der erste Lankenspergersche Wagen an den königlichen Marstall – ein schöner Erfolg für den jetzt 32jährigen Meister, der sich um diese Zeit bereits mit der Achsschenkellenkung befaßte.

Abb. 53 Achsschenkel 1816

Eigenhändige Skizze von Lankensperger im Privilegium vom 25.5.1816:

an Vorderachse g dreifach verschraubte Blechlasche mit Hülse a zur Aufnahme des Achsschenkelbolzens bb am Achsschenkel c.

Achsstummel d, Lenkhebel e, Anlenkpunkt f.



Über seinen Bekannten Georg von Reichenbach⁶³ erreichte Lankensperger eine Begutachtung seiner Erfindung durch die Akademie der Wissenschaften, die der Erteilung des Privilegiums vom 25. Mai 1816²⁸ vorausging (Abb. 53). Weil sich der Schutz der Erfindung jedoch nur auf Bayern und die Rheinpfalz erstreckte und lediglich zehn Jahre galt, ließ Lankensperger über Ackermann die Achsschenkellenkung auch in England patentieren³³. Von der Übernahme der Achsschenkellenkung durch die Coach Makers in England mag sich Lankensperger eine europaweite Beachtung seiner Erfindung erhofft haben. Zugleich konnte er, sollte er dies beabsichtigt haben, guten Gewissens auf London als Ursprungsort hinweisen – eine wegen der minderwertigen Qualität deutscher Erzeugnisse damals von zahlreichen inländischen Fabriken geübte Praxis⁶⁴.

Lankensperger trat 1817 in den Polytechnischen Verein in Bayern ein, der unter Federführung des Münchner Verlagskaufmanns J.G. Zeller zwei Jahre zuvor gegründet worden war mit dem Zweck, Kunst, Gewerbe und



Abb. 54 Gala-Coupé 1833

Hochgebauter, vornehmer Galawagen von Lankensperger für König Ludwig I. in strenger Empireform. Doppeltes Langwied-Gestell mit Schwenkachslenkung und C-Federn. Heute im Marstallmuseum in Schloß Nymphenburg.

Handel in Bayern zu fördern. Der Verein, dem schon 1816/17 so bekannte (Gründungs-)Mitglieder wie von Reichenbach, Klenze und Dall'Armi angehörten, brachte auch das ‚Kunst- und Gewerbe-Blatt‘⁶⁵ heraus, in dem (siehe Anfang dieses Kapitels) Lankenspergers neue Lenkung vorteilhaft beschrieben wurde. Mit Zellers Unterstützung publizierte Lankensperger 1818 auch seine Broschüre ‚Bewegliche Achsen ...‘²⁹, mit der er seine Lenkung und die seither vorgenommenen Verbesserungen bekanntmachte.

Nach den Anfangserfolgen mit achsschenkelgelenkten Wagen verebbte jedoch das Interesse an seiner Erfindung, und Lankensperger wird hauptsächlich Wagen mit konventioneller Lenkung gebaut haben. Darunter befanden sich auch Gleit- und Fahrzeuge für den Hof von König Ludwig I. (1825–48): ein Gebrauchsschlitten, sog. Chaisenschlitten, von 1830, ein Gala-Coupé, erbaut 1833 (Abb. 54), und ein 1834 fertiggestelltes Coupé für den Stadtgebrauch. Sie alle befinden sich heute im Marstallmuseum in Schloß Nymphenburg.

Der zu Ansehen und Wohlstand gekommene Lankensperger übergab 1839 die Wagenfabrikation an seinen Stiefsohn Joseph Rebhan. Der jetzt Sechzigjährige zog sich mit Frau und Tochter Theresa, seinem einzigen leiblichen Kind, nach Birkenstein bei Fischbachau zurück. Dort stiftete er



Abb. 55 In Memoriam Lankensperger
Am 26. Juni 1982 wurde auf Initiative des Allgemeinen Schnauferl-Clubs eine vom Münchner Graphiker Eugen Weiß gestaltete bronzene Gedenktafel am Haus Pacellstr. 8 enthüllt.

1839 ein Wallfahrtspriesterhaus mit Benefizium und 1845 ein Institut zur Erziehung junger Mädchen, das die ‚Armen Schulschwestern‘ vom Mutterhaus zu St. Jakob am Anger in München im März 1849 beziehen konnten.

Die Übernahme der Stiftung erlebte Lankensperger nicht mehr. Er war am 11. Juli 1847 gestorben und auf dem Friedhof von Fischbachau beigesetzt worden. „Seine Frau und die Tochter fühlten sich in Birkenstein zu einsam und zogen wieder zurück nach München“⁶⁶.

Ehrungen sind Lankensperger Zeit seines Lebens nicht zuteil geworden. Es scheint noch nicht einmal ein Portrait von ihm vorzuliegen. Seit den 1970er Jahren befindet sich an seinem Geburtshaus in Marktl am Inn eine Gedenktafel. Das dortige Heimatmuseum erinnert mit einer Stellwand an den Erfinder. Auch am Haus Pacellistr. 8 in München ist 1982 eine Gedenktafel angebracht worden (Abb. 55). Seit 1986 weist das Deutsche Museum mit dem Modell eines Wagens mit Achsschenkellenkung auf Lankensperger hin (siehe Kapitel 11).

9) Anmerkungen

- 1 Putschke, Wolfgang: Sachtypologie der Landfahrzeuge. Berlin, New York 1971. Der Verfasser, der das Travois als Femer- und als Jochschleife bezeichnet, zitiert (S. 30–34) Quellen mit Datierungsversuchen (Berg, Kothe: 3. Jt.; Hancar 5. Jt. v. Chr.), weist jedoch auf deren hypothetischen Charakter hin.
- 2 Putschke (Anm. 1), S. 48–50
- 3 Treue, Wilhelm (Hrsg): Achse, Rad und Wagen, Göttingen 1986. Hier: Nagel, Wolfram: Die Entwicklung des Wagens im frühen Vorderasien. S. 10.
- 4 Treue (Anm. 3), hier: Nagel, S. 15–17
- 5 Treue (Anm. 3), hier: Hayen, Hajo: Der Wagen in europäischer Frühzeit, S. 130, Felsbilder mit Vierradwagen aus Rished und Langön
- 6 Mötelfindt, Hugo: Die Erfindung des Drehschemels am vierrädrigen Wagen. In: Geschichtsblätter für Technik und Industrie, Braunschweig 1919, Bd. VI S. 33. Mötelfindt datiert die Dejbjerg-Wagen in die La Tène-Zeit (5.–1. Jh. v. Chr.).
- 7 Smolian, Jürgen: Zur Lenkung vierrädriger Wagen in alter und neuer Zeit. In: Zeitschrift für Geschichte der Naturwissenschaften, Technik und Medizin, Leipzig 1965, 2. Jg. Heft 5 S. 71. Smolian datiert den Moorfund um 500 v. Chr.
- 8 Hayen (Anm. 5.) S. 130. Zur Datierung schreibt Hayen: „Die kurz vor Christi Geburt in das Moor gelangten Teile blieben weitgehend erhalten“.
- 9 Röring, Christoph Wilhelm: Untersuchungen zu römischen Reisewagen. Köln 1981. S. 49 und Plan 4
- 10 Ginzrot, Johann Christian: Die Wägen und Fahrwerke der Griechen und Römer und anderer alten Völker. München 1817, Nachdruck Hildesheim/New York 1975, S. 114.
- 11 Ginzrot (Anm. 10) S. 283
- 12 Beckmann, Johann: Beyträge zur Geschichte der Erfindungen. Leipzig 1783. Erstes Stück, S. 392+395
- 13 Gibbs-Smith, Charles: Die Erfindungen von Leonardo da Vinci. Stuttgart 1980, S. 82
- 14 Rausch, Wilhelm: Theoretisch-praktisches Handbuch für Wagenfabrikanten. Weimar 1891. Dritte vermehrte und verbesserte Auflage. Nachdruck Hannover 1984 S. 13.
- 15 Treue (Anm. 3), hier: Wackernagel, Rudolf: Zur Geschichte der Kutsche bis zum Ende des 17. Jahrhunderts. S. 214+215.
- 16 Aufzeichnung von Karl Käßbohrer: „Der Kugeldrehkranz, wie er von 1929 bis 1950 bei uns gebaut worden ist, hatte seine Vorgeschichte ... wir drehten Rillen in die Lauffläche (der Drehkranzringe, d. Verf.) und füllten sie mit hundertzwanzig Kugeln von zweiundzwanzig Millimeter Durchmesser ... der Kugellenkranz ... war geboren“. In: Otto Käßbohrer in seinen Worten, in seinem Wirken, in seiner Zeit. Zweite, erweiterte Ausgabe, Geislingen 1984, S. 165–167. Zum letzten zitierten Satz muß einschränkend gesagt werden, daß kugelgelagerte Drehkränze bereits bei der Vorspanntechnik um die Jahrhundertwende eingebaut worden sind.
- 17 Beckman, L.: Theoretisch-practisches Handbuch für Wagenbauer ... Mit einem Anhang, betreffend die Construction der Eisenbahn-Waggons. Zweite, sehr verbesserte und vermehrte Auflage. Weimar 1854, S. 41+42.
- 18 Feldhaus, Franz Maria; Koll, Karl: Die Technik. Ihr Werden und Wirken. Berlin 1930, S. 326. Wolff-Friedenau, Th.: Automobile in alter Zeit. In: Deutsche Fahrzeug-Technik, Gera 1919, Heft 4 S. 101–104. Farfler (auch Farffler), Stephan (1633–1689), baute um 1655 einen dreirädrigen (mit Gabellenkung), um 1686 einen vierrädrigen Wagen mit Knicklenkung. In beiden Fällen Antrieb über Handkurbel und Zahnräder auf das Vorderrad/auf die Vorderachse.
- 19 GB-Patent 6790 vom 13.3.1835, William Bridges Adams. Der Patentinhaber empfiehlt die Knicklenkung „as very suitable for the application of wheels on my improved construction ... but I make no claim to such a carriage as part of my Invention ... such carriages have been invented but have not been brought into use“ (S.11).
- 20 GB-Patent 8197 vom 16.8.1839, William Bridges Adams und John Buchanan
- 21 Der Katalog (o.J.) des inzwischen aufgelösten Dodington Carriage Museum spricht vom „coachbuilder, inventor, and engineer William Bridges Adams (who) produced a series of carriages with equirota wheels“ (S. 16).
- 22 Beckmann (Anm. 17), S. 33+34.
- 23 Elsner, H.: Zur Theorie der Lenkung automobiler Fahrzeuge. In: Der Motorwagen, Heft XV vom 15.8.1903 S. 230f.

- 24 Elsner, H.: Graphisches Verfahren zur Darstellung der Bewegungsvorgänge bei Lenkvorrichtungen. In: Der Motorwagen, Heft XIX vom 15.10.1903 S. 280f.
- 25 Mit elektrischen Wagen meint Elsner hier sicherlich die Vorspannwagen.
- 26 Reimpell, Jörnßen: Fahrwerktechnik: Grundlagen. 3. überarbeitete Auflage, Würzburg 1995, S. 199.
- 27 Machines approuvées par l'Academie Royale des Science, Tome Troisième, depuis 1713 jusqu'en 1719, Paris. Chariot à Voiles, inventé par M. Du Quet, No. 152, 1714
- 28 „Königl. geheime Registratur des Innern. Privilegium für den Salinen Rath von Reichenbach und den Hofwagner Georg Lankensperger wegen neu erfundenen Wagen, Federn u. Rieb* des Vorderwagens – 25ster May 1816“.
*Rieb: lt. Schmeller/Bayerisches Wörterbuch 2/9: Rieb-Stück (Passau) Rippe, Rippenseite. Hier wohl Reibstück, (mißverständlich für) Spurstange (?)
- 29 Lankensperger, Georg: Bewegliche Achsen und andere Verbesserungen an Wagengestellen. Gedruckt auf Kosten des Verfassers und in Commission im Zeller'schen Kunstmagazin. München 1818.
- 30 Einheitliche Patentgesetzgebung im Deutschen Reich erst seit 25.5.1877 (zum Vergleich: England 1617, Frankreich 1791).
- 31 NN: Ueber die Lankenspergersche und Ackermanssche bewegliche Patent-Achsen. In: Polytechnisches Journal, Dr. Johann Gottfried Dingler, Stuttgart 1820, Bd. I S. 296+297.
- 32 Ackermann, Rudolph (1764–1834), Sattler, Kutschwagen-Entwerfer, Verleger, Kunsthändler und Unternehmer, brachte u.a. die Monatsschrift The Repository of Arts (1808–28) heraus
- 33 GB-Patent 4212 vom 27.1.1818 „Improvements on Axletrees applicable to Four-wheeled Carriages“, Patentinhaber Rudolph Ackermann, mit folgendem Hinweis: „... the Invention, communicated to me by George Lenkensperger, of Munich, in the Kingdom of Bavaria ...“
- 34 Länge, Walter: Die Lenkung moderner Kraftwagen. In: Automobil-Industrie, Würzburg 1961, Nr. 6, S. 78. Reimpell (Anm. 26), S. 197
- 35 F-Patent 911 vom 24.11.1818, Arnold-Haucisz
- 36 Feldhaus, F.M.: Ein vergessener Münchner Erfinder. In: Fortschritte der Technik. Beilage der Neuesten Münchner Nachrichten, 1926 S. 34
- 37 Dingler (Anm. 31), S. 310+311
- 38 Teile und komplette Lenkachsen bot z.B. die Firma Joseph Richards & Co in Birmingham an.
- 39 Kunst- und Gewerbe-Blatt, München 1818, No. 40, Sp. 668+669. Siehe auch Anm. 65.
- 40 Poppe, Johann Heinrich Moritz von: Geschichte aller Erfindungen und Entdeckungen im Bereiche der Gewerbe, Künste und Wissenschaften von der frühesten Zeit bis auf unsere Tage. Frankfurt/M. 1847 und Nachdruck Hildesheim 1972 S. 319
- 41 Keine Erwähnung der Achsschenkelenkung mehr in: Bickes, Friedrich Adolph: Die Schmide-Profession, Heilbronn 1834. Rühlmann, Moritz: Allgemeine Maschinenlehre, Braunschweig 1877. Thrupp, G.A.: The History of Coaches, London 1877. Philipson, John: The Art & Craft of Coachbuilding, London 1897
- 42 GB-Patent 10990 vom 10.12.1845, Robert William Thomson
- 43 D-Patent 84748 vom 25.5.1895, Hugo Mayer
- 44 Davison, C.St.C.B.: History of Steam Road Vehicles, Science Museum, London 1970, S. 20
- 45 GB-Patent 5554 vom 11.10.1827, Goldsworthy Gurney
- 46 F-Patent 13397 vom 25.4.1828, Onésiphore Pecqueur
- 47 GB-Patent 6241 vom 8.3.1832, Joseph Gibbs und William Chaplin
- 48 US-Patent 505.548 vom 13.2.1893, Clarence E. Holley
- 49 Farman, D.: Les Automobiles, Voitures, Tramways et Petits Véhicules. Paris 1896, S. 122
- 50 Koehlich, Richard: Handbuch des gesamten Radfahrwesens. Leipzig/Wien um 1902, S. 47
- 51 Notizen Maybachs, zitiert nach: Schnauffer, Kurt: Die Entwicklung rasch laufender Viertaktmotoren durch Daimler und Maybach 1882–87. Arbeitsgemeinschaft für die Geschichte des deutschen Verbrennungsmotorenbaues, Band 9. Nicht veröffentlicht, 1953.
- 52 Benz, Carl: Lebensfahrt eines deutschen Erfinders. Leipzig 1925, S. 99+100.
- 53 D-Patent 73515 vom 28.2.1893, Benz & Cie.
- 54 Automobil Revue Bern, 14.1.1993, Test Yamaha GTS 1000
- 55 Dingler (Anm. 31), S. 307–310
- 56 Dingler (Anm. 31), S. 304

- 57 Koeßler, Paul: Schicksal einer Erfindung – Technik-Schaffen und Zuschauer. Vortrag vom 12.2.1985
- 58 Kraisy, Benno: ... älter als das Automobil (Kutschwagen mit Achsschenkellenkung von Lankensperger). In: Automobil- und Motorrad-Chronik, Heft 7/1982 S. 13
- 59 Ginzrot, Johann Christian, Sattler und Wagenbauer in Straßburg und München, baute u. a. für König Friedrich Wilhelm II von Preußen den Goldenen Wagen (1786), verfaßte 1817 das bedeutendste wagenhistorische Werk seiner Zeit (s. Anm. 10)
- 60 Hager, Luisa: Marstallmuseum in Schloss Nymphenburg. Amtlicher Führer, München 1965. Nach Anmerkung 25 (S. 37) lieferten folgende Firmen an die Münchner Hofwagenburg: Klostermayer/München 3 Wagen ab 1806; Ginzrot/München (?) 7 Wagen ab 1811; Reuß/Karlsruhe 5 Wagen ab 1812; Grünwald/München 1 Wagen 1814; Grundner/München 52 Wagen und Martini/Bayreuth 2 Wagen, beide ab 1823; 1825 Ende der Regentschaft Max I. Joseph.
- 61 Die persönlichen Angaben zu Johann Georg Lanketsberger/Georg Lankensperger beruhen großenteils auf den nicht zum Abschluß gekommenen Nachforschungen von Josef Seidl-Ainöder/Heimatmuseum Markt. So bedarf es noch der Klärung, ab wann Lankensperger die neue Schreibweise seines Namens benutzte, ab wann er den Titel königlich bayerischer Hofwagner führen durfte, wie lange er die Rebhan'sche Wagnerei (am Promenadeplatz?) betrieb, wann er die Wagenfabrikation in die Königstraße, heute Briener Straße, verlegte und ob sich Ginzrot (Anm. 59) hieran beteiligte.
- 62 Magistrats Acta München betreff Wagners-Gerechtigkeit, Gewerbeamt 1855–1860-2, Stadtarchiv München
- 63 Reichenbach, Georg von (seit 1811), Mechaniker und Ingenieur (1771–1826), geodätische und astronomische Instrumente, Wassersäulenmaschine, 1811 Salinenrat, 1820 Direktor des bayer. Wasser- und Straßenbauwesens.
- 64 Ausschuss des Polytechnischen Vereins in Bayern (Hrsg): Hundert Jahre Technische Erfindungen und Schöpfungen in Bayern. München und Berlin 1922, S. 38
- 65 Vereinsorgan des Polytechnischen Vereins in Bayern (auch *für* Bayern) erschien unter verschiedenen Titeln: 1815–17: Wöchentlicher Anzeiger für Kunst- und Gewerbefleiß im Königreich Baiern. 1818–22: Kunst- und Gewerbe-Blatt des polytechnischen Vereins im König-Reiche Bayern. 1823–25: Neues Kunst- und Gewerbeblatt. 1825–68: Kunst- und Gewerbe-Blatt ab 1869: Bayerisches Industrie- und Gewerbeblatt. Das Vereinsorgan ist nicht mit Dinglers Polytechnischem Journal (Anm. 31) zu verwechseln.
- 66 Seidl-Ainöder, Josef: Georg Lankensperger erfand die Achsschenkellenkung. In: Altbayerische Heimatpost, Heft 13/1979 S. 5

10) Bildquellen, Danksagungen

Deutsches Museum	5, 6, 8, 12, 20, 23, 33, 34, 43	Stief Ginzrot Popp	42 3, 11 46b
Dodington Carriage Museum	22	Weiss	55
Museum Achse Rad u. Wagen	37, 48	Smolian	7
Marstallmuseum München	52, 54	Röring	10
Kühnle	16, 18	Rausch	14
Volvo	24	Archiv Eckermann	1, 2, 4, 9, 13, 15, 17, 19,
Sbarro	30		21, 25–28, 29, 31–32,
Maurer-MAN	50		35, 36, 38–41, 44–47,
Auwärter-Neoplan	51		49, 53
MAN	56, 57		

Josef Gaßner, Heimatmuseum Markt
 Thomas Köppen, Museum Achse Rad und Wagen, Wiehl
 Hermann Popp, Schweinfurt
 Erich Schober, MAN München
 Josef Seidl-Ainöder, Heimatmuseum Markt
 Rudolf Stief, Augsburg
 Hans Straßl, Deutsches Museum München

11) Rekonstruktion für ein Funktionsmodell 1:5

Mit seinem Auftrag, Meisterwerke aus Naturwissenschaft und Technik zu bewahren und Lerninhalte zu vermitteln, betrachtet es das Deutsche Museum auch als Aufgabe, an vergessene Erfinder und Erfindungen zu erinnern.

Eine Lücke lag bei der Achsschenkellenkung vor, zu Anfang des 19. Jh. für pferdegezogene Wagen erfunden, heute in jedem Auto anzutreffen. Während der Name des Erfinders Georg Lankensperger in Vergessenheit geriet, ist der Name des Patentinhabers Rudolph Ackermann zumindest im anglo-amerikanischen Sprachraum bekannt. Statt Ackermann-Lenkung wird meist jedoch der Fachausdruck Achsschenkellenkung benutzt (vergleiche: Bosch-Zündung, McPherson-Federbein).

Anlässlich des 100. Geburtstags des Autos eröffnete das Deutsche Museum am 7. Mai 1986 Autohalle II, in der der Verfasser an geeigneter Stelle auch die Technikgruppe Lenkung abhandelte. Ein vom MAN-Werk München gestiftetes und von den technischen Lehrlingen unter Ausbildungsleiter Erich Schober angefertigtes Funktionsmodell 1:5 fand Platz in einer Vitrine, in der auch je ein Modell eines Transportwagens 1:20 mit Reibscheit-Lenkung und eines Postwagens 1:5 mit Drehkranz-Lenkung, jeweils pferdegezogen, ausgestellt sind.

Das Modell ist auf einer Grundplatte montiert. Per Knopfdruck werden die Vorderräder eingeschlagen, an zwei Skalen lassen sich die unterschiedlichen Einschlagwinkel des kurveninneren und des kurvenäußeren Rades ablesen.

Weil weder auf einen Wagen mit Lankensperger-Lenkung noch auf eine zeitgenössische, vermaßte Zeichnung zurückgegriffen werden konnte, orientierte sich die Herstellung des Modells an den bildlichen Darstellungen im englischen Patent 4212 vom 27. Januar 1818. Dort ist glücklicherweise eine sechslinige Meßlatte in rheinischen Schuh = rheinländischer oder preußischer Fuß entsprechend 313,85 mm dargestellt. Somit konnte ein maßstabsgerechtes Fahrwerk angefertigt werden. Auf einen Kutschwagen-Aufbau wurde verzichtet, um die Lenkkonstruktion zeigen zu können.

Zur Rekonstruktion des Modells sind bei MAN seinerzeit Zeichnungen und Handskizzen z.T. ohne Maßangaben angelegt worden. Weil sie für die Anfertigung weiterer Nachbildungen wohl nicht ausgereicht hätten, sind Anfang 1998 mit Hilfe des Catplot-Verfahrens für alle Bauteile vermaßte Zeichnungen erstellt worden, und zwar von Aleksandar Stajic und Anne-Marie Engelhardt, Leiterin der Technischen Berufsbildung/ Technische Zeichner bei MAN. Auch eine damals nicht angelegte Stückliste ist nachträglich zusammengestellt worden.

Aus der perspektivischen Darstellung nach Abb. 56 und aus Seiten- und Grundriß nach Abb. 57 gehen Bauteile, Zuordnung und Zeichnungsnummern hervor. Beim Nachbau beispielsweise der Radnaben können sich gegenüber den Zeichnungen geringfügige Abweichungen ergeben. Zur Beachtung: die 23 Zeichnungen mußten für den Druck verkleinert werden, der angegebene Maßstab ist nicht mehr zutreffend.

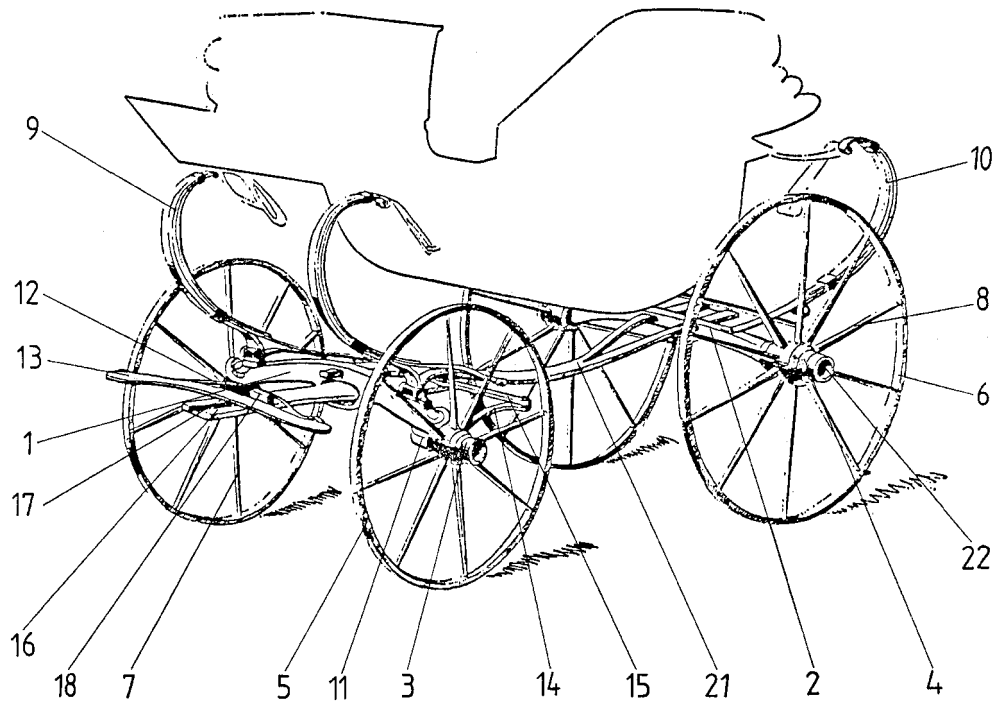
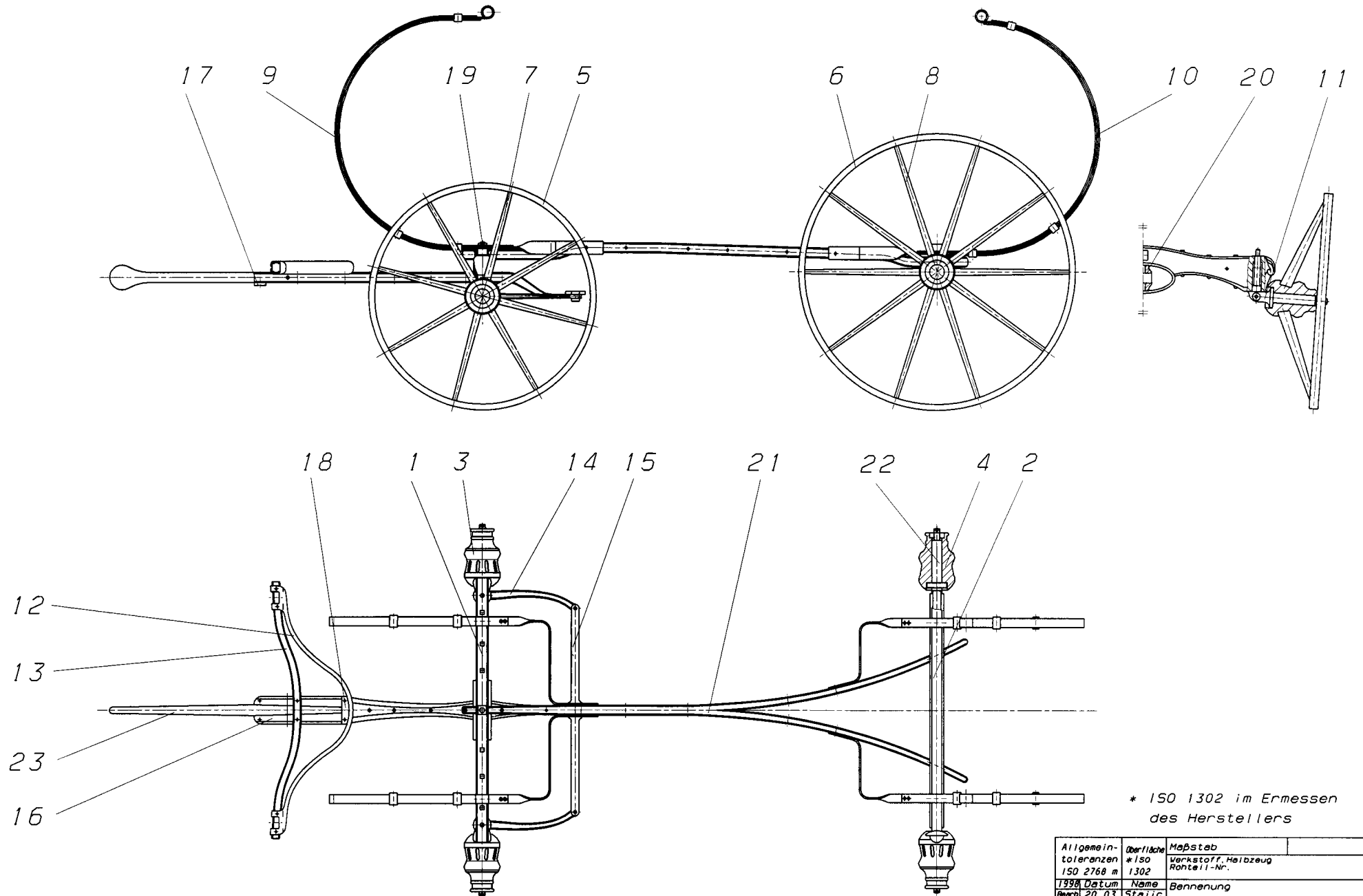


Abb. 56

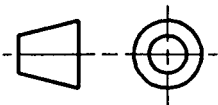


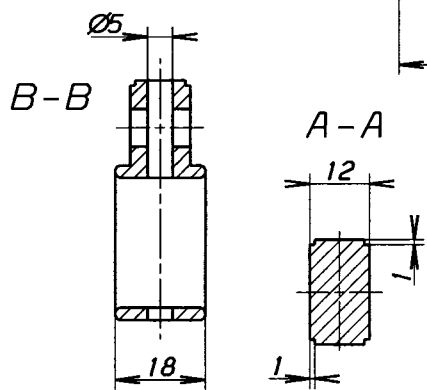
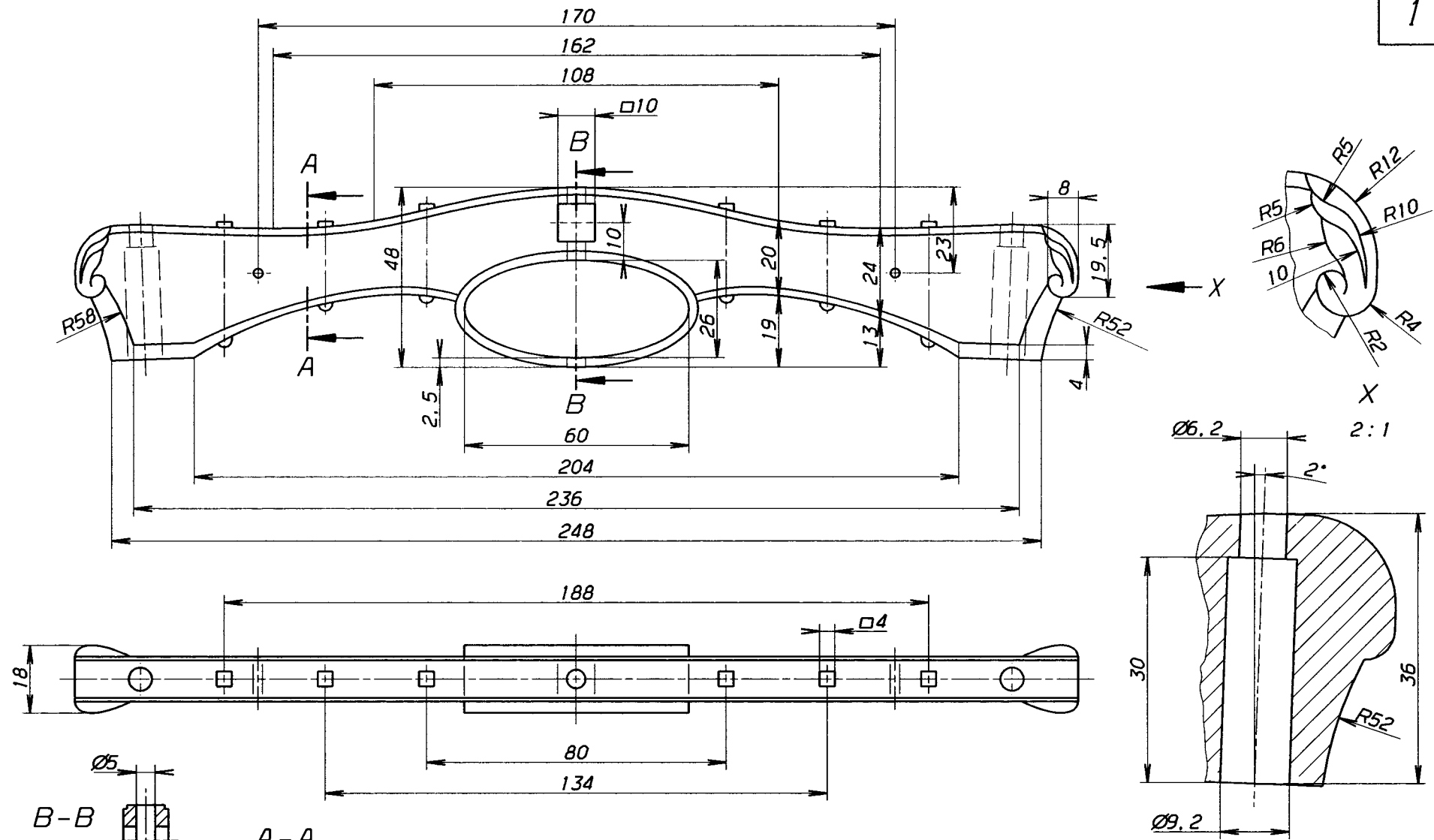
* ISO 1302 im Ermessen
des Herstellers

Allgemein- toleranzen ISO 2768 m	Oberfläche * ISO 1302	Maßstab Verkstoff, Halbzeug Rohteil-Nr.	
1998 Bearb. 20.03.	Datum Name Stajic	Benennung Zsb. Kutsche	
Deutsches Museum		Zeichnungsnummer	Blatt 01 22 Bl.
MAN Nutzfahrzeuge Aktiengesellschaft Werk München		Ers. f.:	Ers. d.:

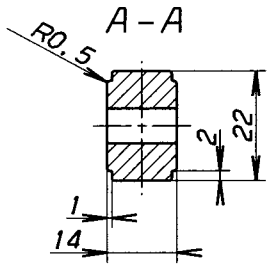
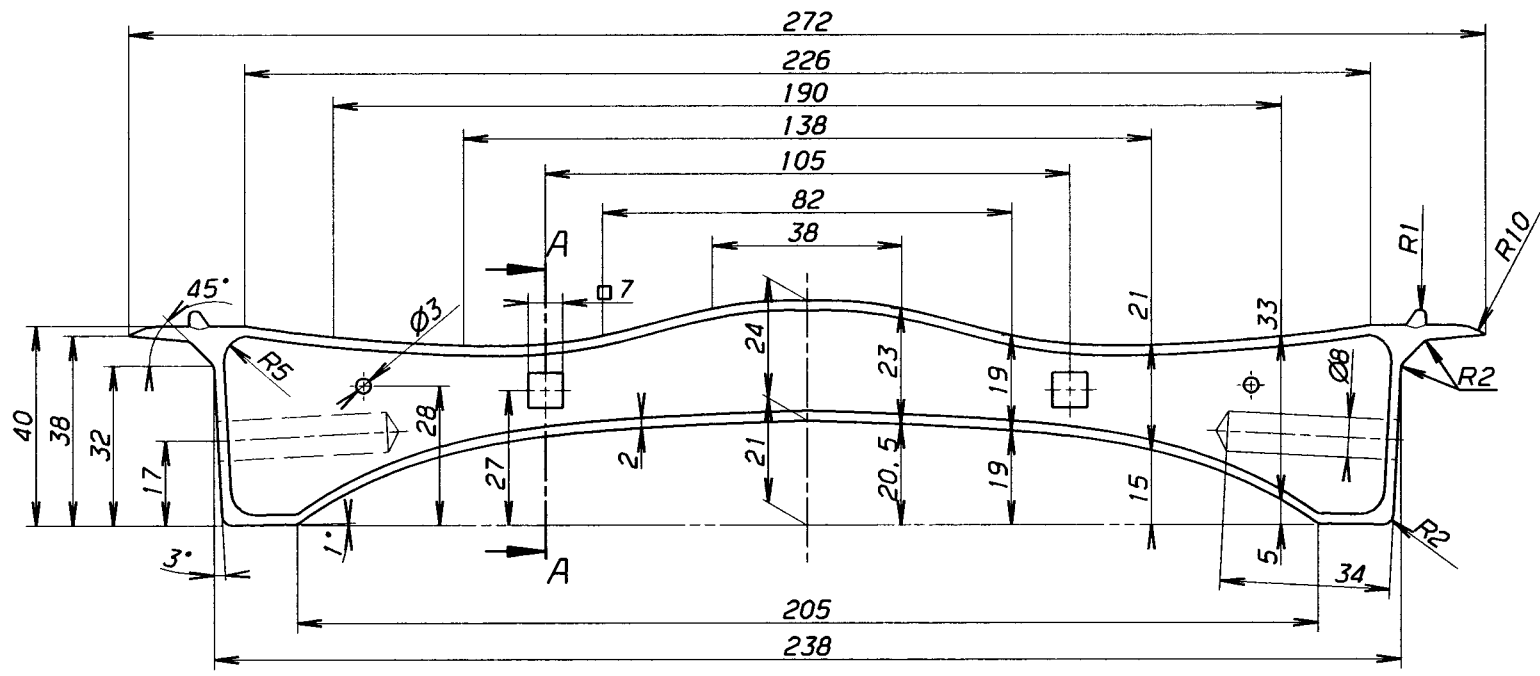
Abb. 57



1	Deichsel	DIN EN 10025	St 37-2/(S235JR)	23	
2	Radzapfen	DIN EN 10025	St 37-2/(S235JR)	22	
1	Rahmenholm	DIN EN 10025	St 37-2/(S235JR)	21	
2	Hülse	DIN EN 10025	St 37-2/(S235JR)	20	
1	Herzbolzen	DIN EN 10025	St 37-2/(S235JR)	19	
1	Riegel oben	DIN EN 10025	St 37-2/(S235JR)	18	
1	Riegel unten	DIN EN 10025	St 37-2/(S235JR)	17	
1	Lenkschwinge	DIN EN 10025	St 37-2/(S235JR)	16	
1	Lenkspurstange	DIN EN 10025	St 37-2/(S235JR)	15	
1	Lenkspurhebel	DIN EN 10025	St 37-2/(S235JR)	14	
1	Zugbügel	DIN EN 10025	St 37-2/(S235JR)	13	
1	Stützbügel	DIN EN 10025	St 37-2/(S235JR)	12	
2	Achsschenkel	DIN EN 10025	St 37-2/(S235JR)	11	
2	Hinterachsfeder	DIN EN 10025	St 37-2/(S235JR)	10	
2	Vorderachsfeder	DIN EN 10025	St 37-2/(S235JR)	9	
10	Hinterradspeiche	DIN EN 10025	St 37-2/(S235JR)	8	
8	Vorderradspeiche	DIN EN 10025	St 37-2/(S235JR)	7	
2	Hinterrad-Außenring			6	
2	Vorderrad-Außenring			5	
2	Hinterradnabe	DIN EN 10025	St 37-2/(S235JR)	4	
2	Vorderradnabe	DIN EN 10025	St 37-2/(S235JR)	3	
1	Hinterachskörper	DIN EN 10025	St 37-2/(S235JR)	2	
1	Vorderachskörper	DIN EN 10025	St 37-2/(S235JR)	1	

Stück	Benennung	Normblatt	Verkstoff	Pos. Nr.	Bemerkung
		Allgemein- toleranzen ISO 2768 m	Oberfläche ISO 1302	Maßstab Verkstoff, Halbzeug Rohteil-Nr.	
		1998 Datum Bearb. 20.03.	Name Stajic	Benennung Stückliste	
		Deutsches Museum		Zeichnungsnummer	Blatt 02 22 Bl.
		 MAN Nutzfahrzeuge Aktiengesellschaft Werk München		Ers. f. :	Ers. d. :
Zust.	Änderung	Datum	Name		

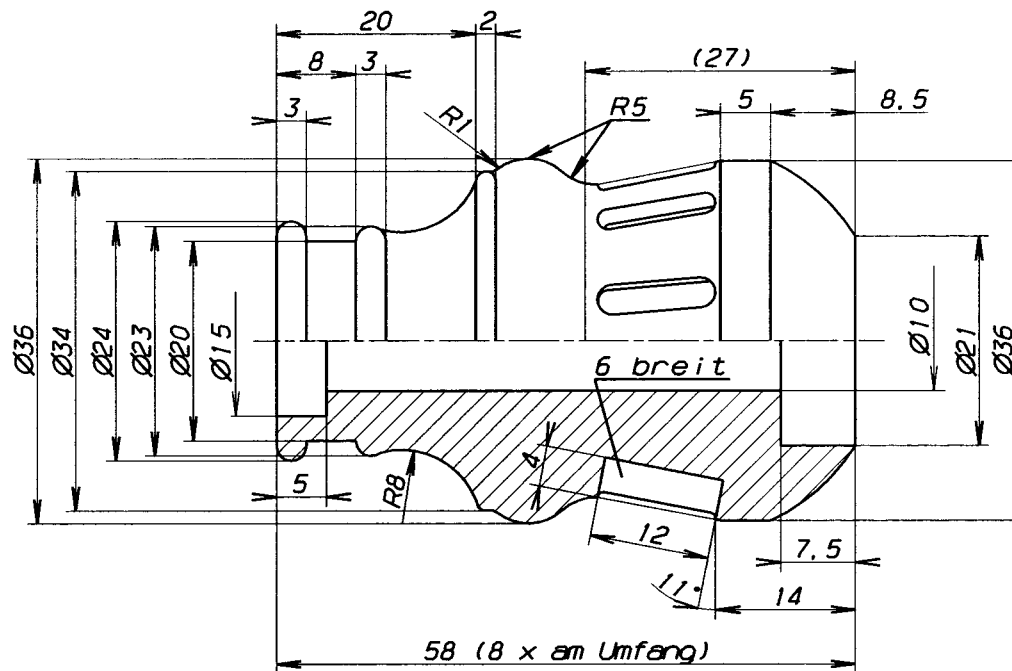


		Allgemeine-toleranzen ISO 2768 m	Oberfläche Iso 1302	Maßstab 1:1 (2:1) Werkstoff, Halbzeug Rohteil-Nr.
		1998 Datum Bearb. 20.03.	Name Stajic	Benennung Vorderachskörper
		Deutsches Museum		Zeichnungsnummer
		MAN Nutzfahrzeuge Aktiengesellschaft Werk München		Blatt 03 22 Bl.
Zust.	Änderung	Datum	Name	Ers. f.: Ers. d.:

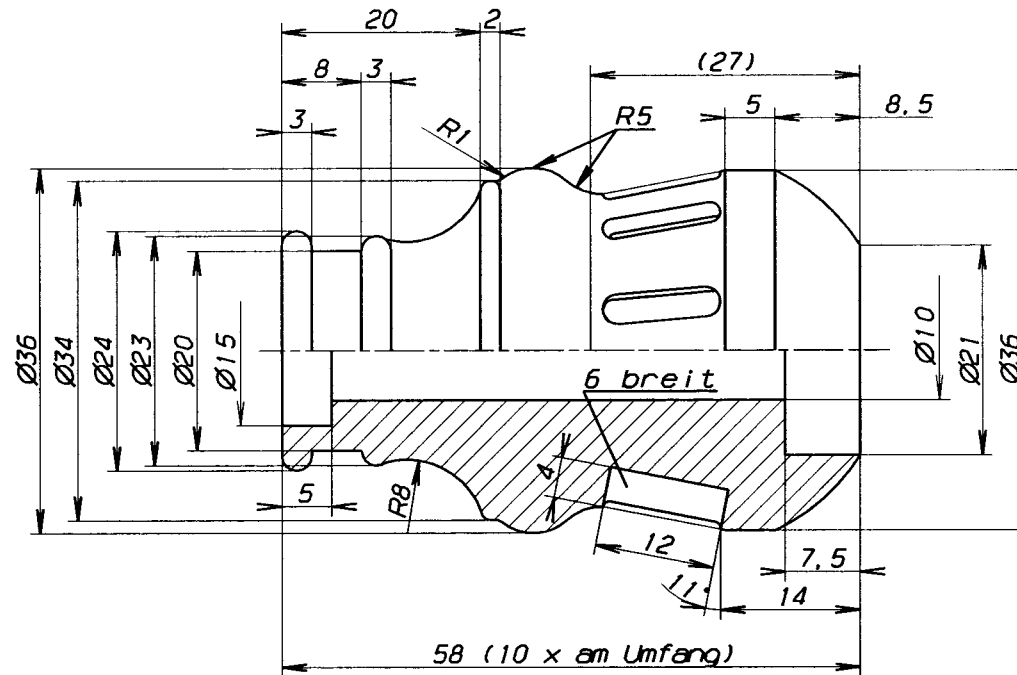


 	Allgemein- toleranzen ISO 2768 m	Oberfläche ISO 1302	Maßstab 1:1 Werkstoff, Halbzeug Rohteil-Nr.	
	1998 Datum Bearb. 20.03.	Name Stajic	Benennung Hinterachskörper	
Deutsches Museum			Zeichnungsnummer	Blatt 04 22 Bl.
Zust. Änderung	Datum	Name	Ers. f. :	Ers. d. :



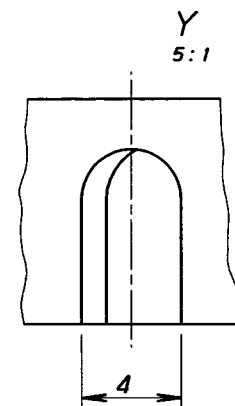
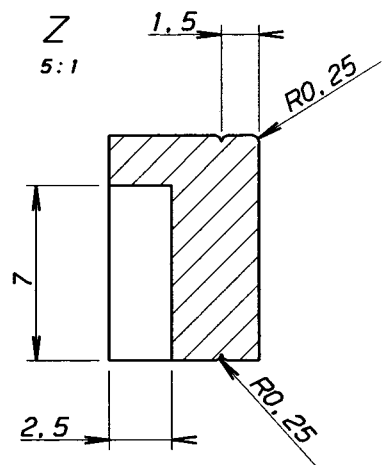
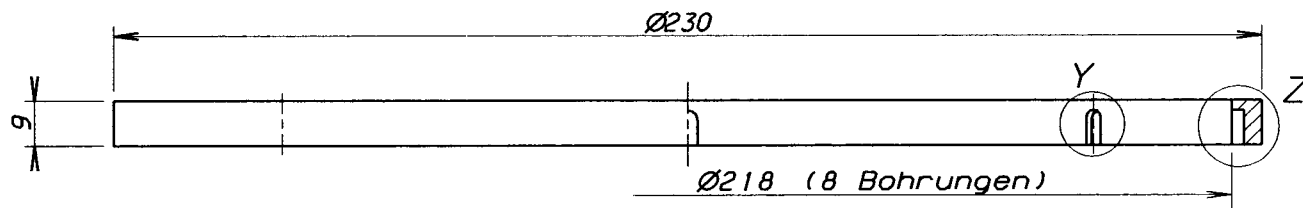


	Allgmein- toleranzen ISO 2768 m	Oberfläche ISO 1302	Maßstab 2:1	
	1998 Datum Bears 20.03.	Name Stajic	Werkstoff, Halbzeug Rohteil-Nr.	
Deutsches Museum			Benennung Vorderradnabe	
MAN Nutzfahrzeuge Aktiengesellschaft Werk München			Zeichnungsnummer	Blatt 05 2281
Zust. Änderung	Datum	Name	Ers. f. :	Ers. d. :

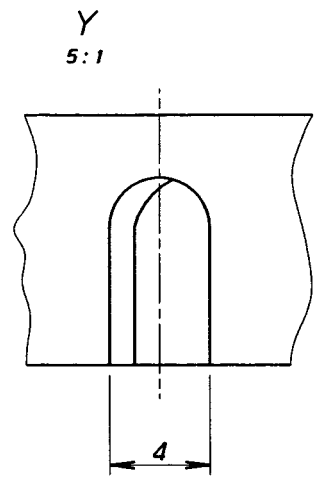
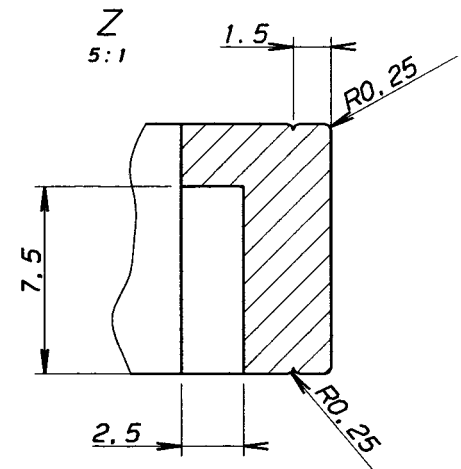
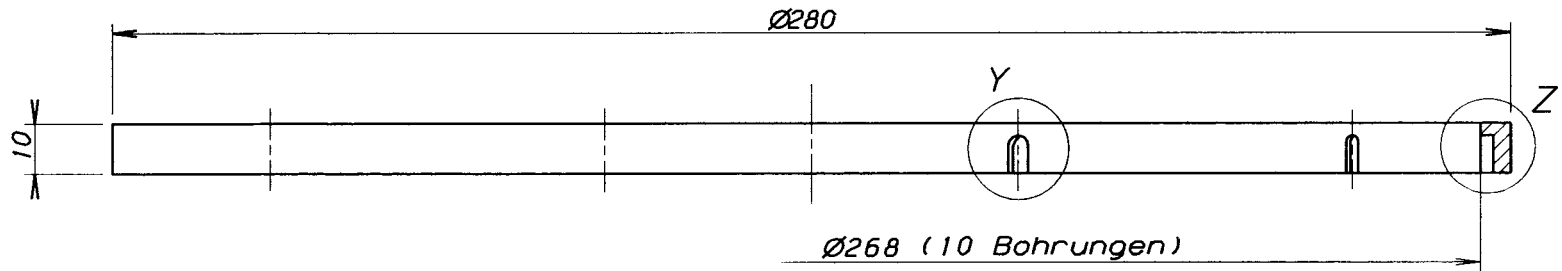


	Allgemein- toleranzen ISO 2768 m	Oberfläche Iso 1302	Maßstab 2:1 Werkstoff, Halbzeug Rohteil-Nr.	
	1998 Datum Beorb. 20.03.	Name Stajic	Benennung Hinterradnabe	
	Deutsches Museum		Zeichnungsnummer	Blatt 06 22 Bl.
Zust. Änderung	Datum	Name	Ers. f.:	Ers. d.:



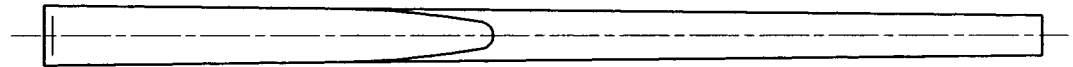
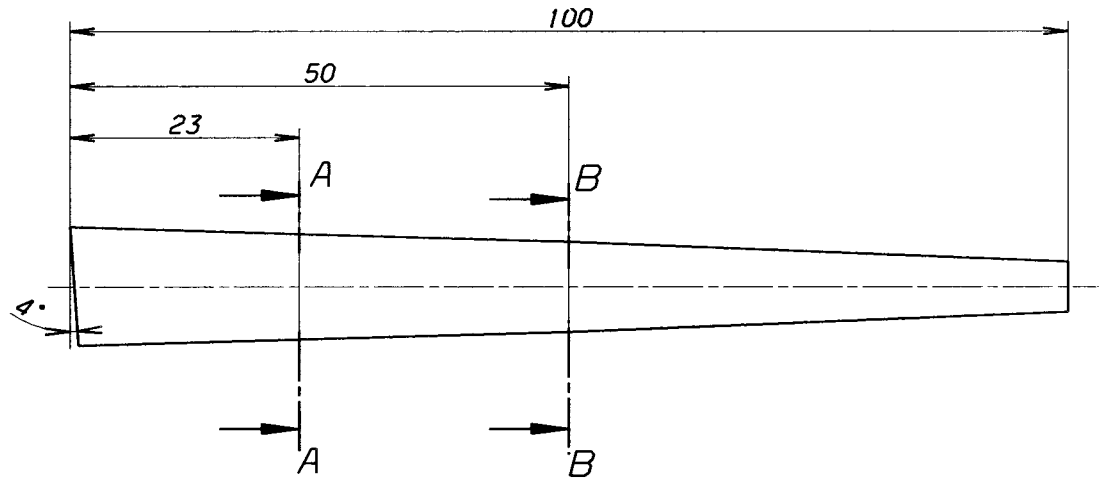
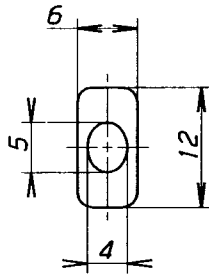


		Allgemein- toleranzen ISO 2768 m	Oberfläche ISO 1302	Maßstab 1:1 (5:1)		
		1998 Datum Bearb. 20.03.	Name Stajic	Werkstoff, Halbzeug Rohteil-Nr.		
		Deutsches Museum		Benennung Vorderrad-Außenring		
		MAN Nutzfahrzeuge Aktiengesellschaft Werk München			Zeichnungsnummer	Blatt 07 22 Bl.
Zust.	Änderung	Datum	Name	Ers. f.:	Ers. d.:	



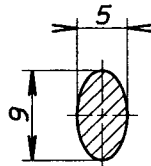
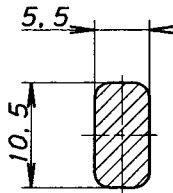
	Allgemein- toleranzen ISO 2768 m	Oberfläche ISO 1302	Maßstab 1:1 (5:1)	
	Werkstoff, Halbzeug Rohteil-Nr.			
	1998 Datum Bearb. 20.03.	Name Stajic	Benennung Hinterrad-Außenring	
	Deutsches Museum		Zeichnungsnummer	Blatt 08 22 Bl.
Zust. Änderung	Datum	Name	Ers. f. :	Ers. d. :



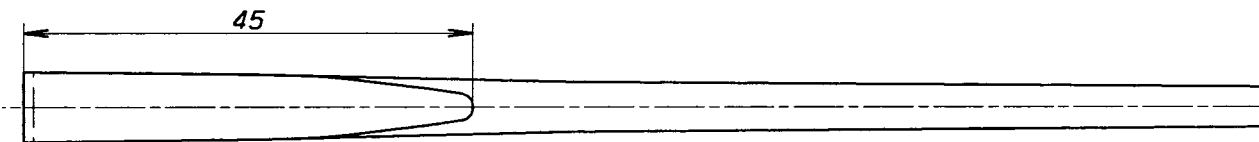
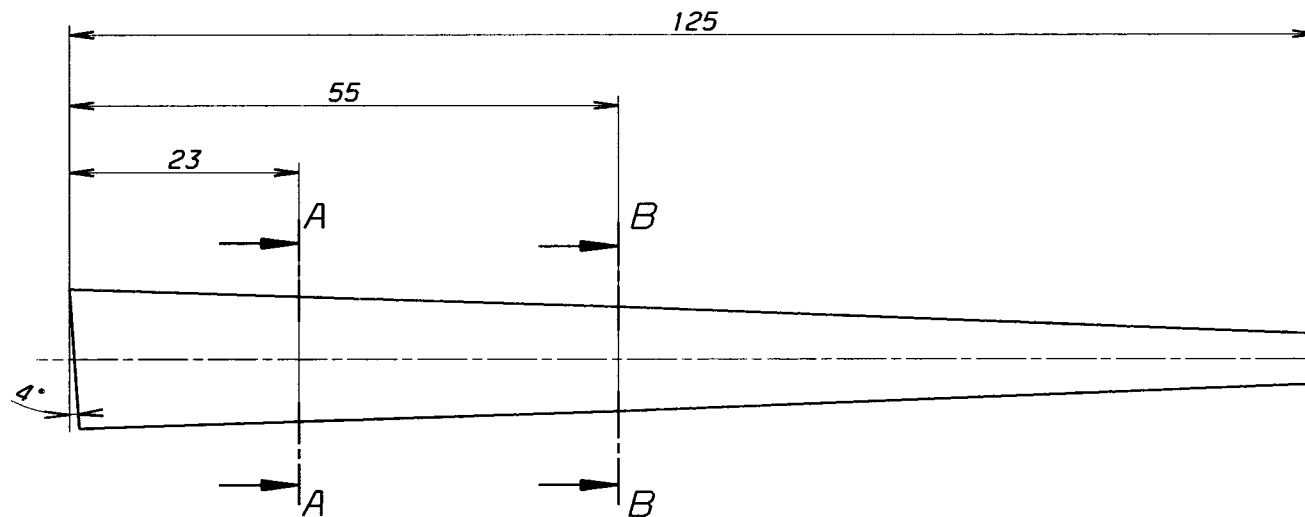
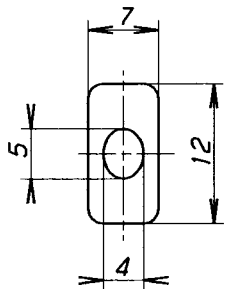


A-A

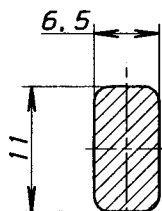
B-B



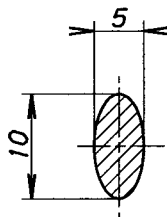
		Allgemein-toleranzen ISO 2768 m	Oberfläche Iso 1302	Maßstab 2:1 Werkstoff, Halbzeug Rohteil-Nr.
		1998 Datum Bearb. 20.03.	Name Stajic	Benennung Vorderradspeiche
		Deutsches Museum		Zeichnungsnummer
		MAN Nutzfahrzeuge Aktiengesellschaft Werk München		Blatt 09 22 Bl.
Zust. Änderung	Datum	Name	Ers. f. :	Ers. d. :



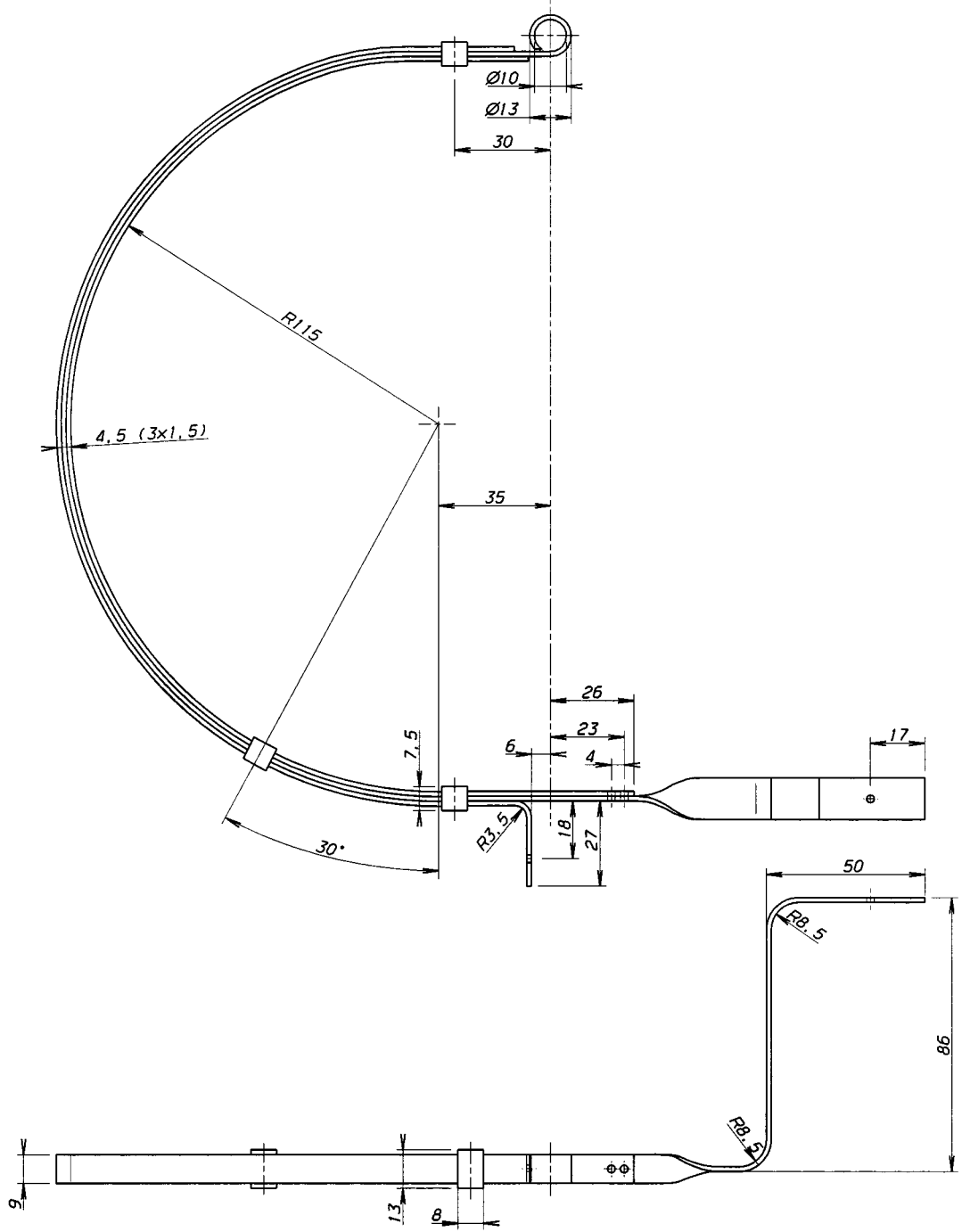
A-A



B-B

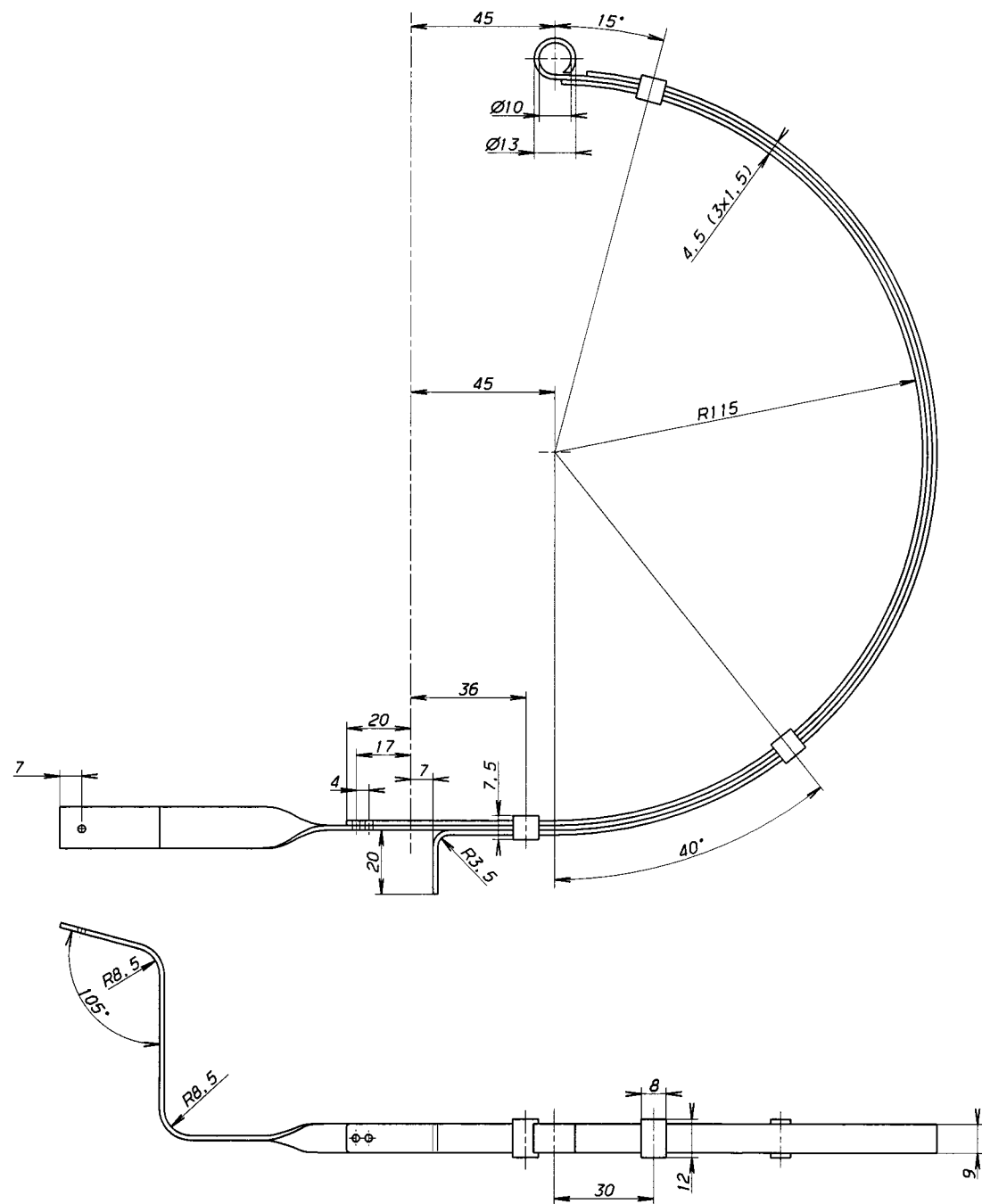


	Allgmein- toleranzen ISO 2768 m	Oberfläche Iso 1302	Maßstab 2:1 Werkstoff, Halbzeug Rohteil-Nr.
	1998 Datum Beord 20.03.	Name Stajic	Benennung Hinterradspeiche
	Deutsches Museum		Zeichnungsnummer
	MAN Nutzfahrzeuge Aktiengesellschaft Werk München		Blatt 10 22 Bl.
Zust. Änderung	Datum	Name	Ers. f. : Ers. d. :



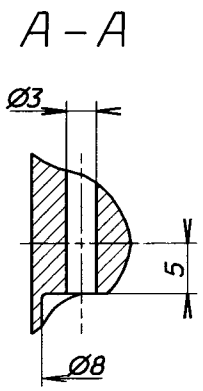
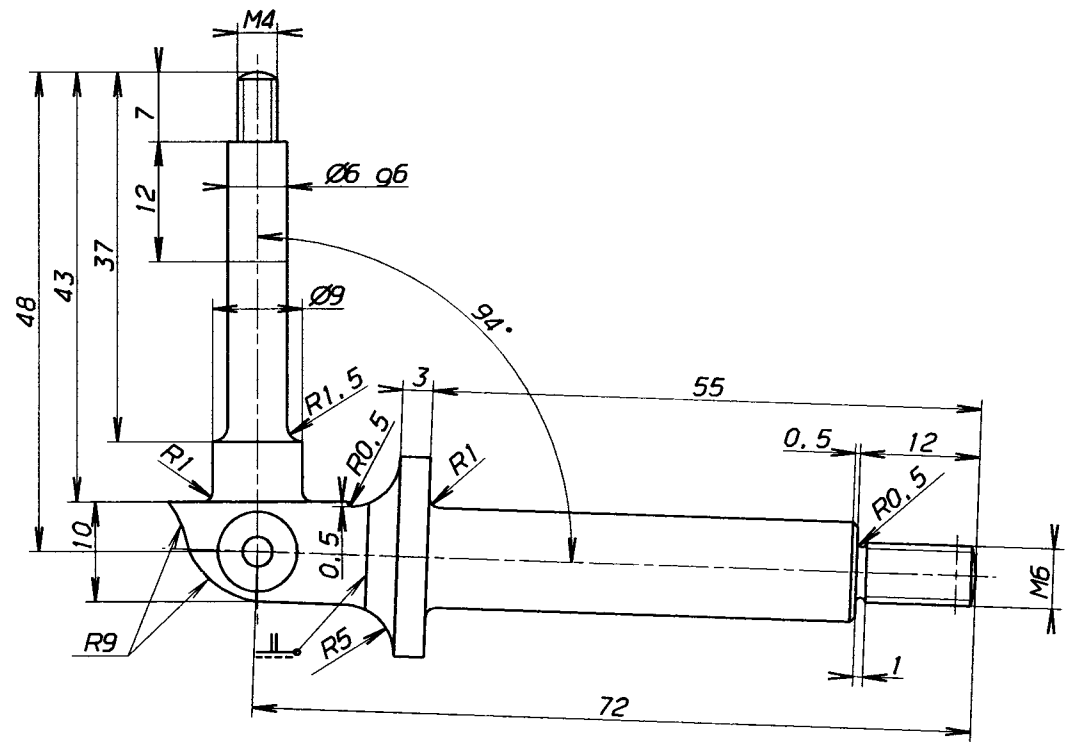
Unbemaßte Bohrungen Ø2,4

		Allgemein- toleranzen ISO 2768 m 1998 Datum Bearb. 20.03.2010	Oberfläche ISO 1302	Maßstab 1:1 Werkstoff, Halbzeug Rottell-Nr.	
		Name Deutsches Museum	Benennung Vorderachsfeder		
		Zeichnungsnummer 11	Blatt 22 Bl.		
Zust./Änderung Datum Name		Ers. f.:	Ers. d.:		

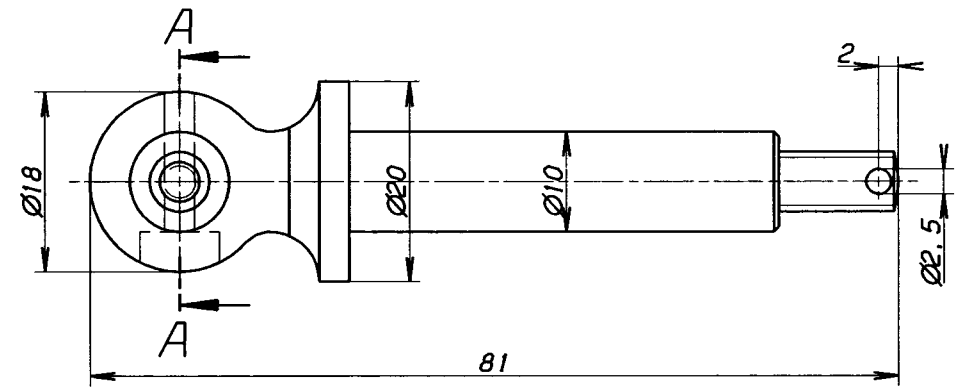


Unbemähte Bohrungen Ø2,4

		Allgemein- toleranzen ISO 2768 m	Oberfläche ISO 1302	Maßstab 1:1 Werkstoff, Maßzeug Rottell-Nr.
1998 Bearb.	Datum 20.03.	Name Steijic	Benennung Hinterachsfeder	
Deutsches Museum			Zeichnungsnummer	Blatt 12 22 Bl.
Zus./Änderung	Datum	Name	MAN Nutzfahrzeuge Aktiengesellschaft Werk München	Ers. f.: Ers. d.:

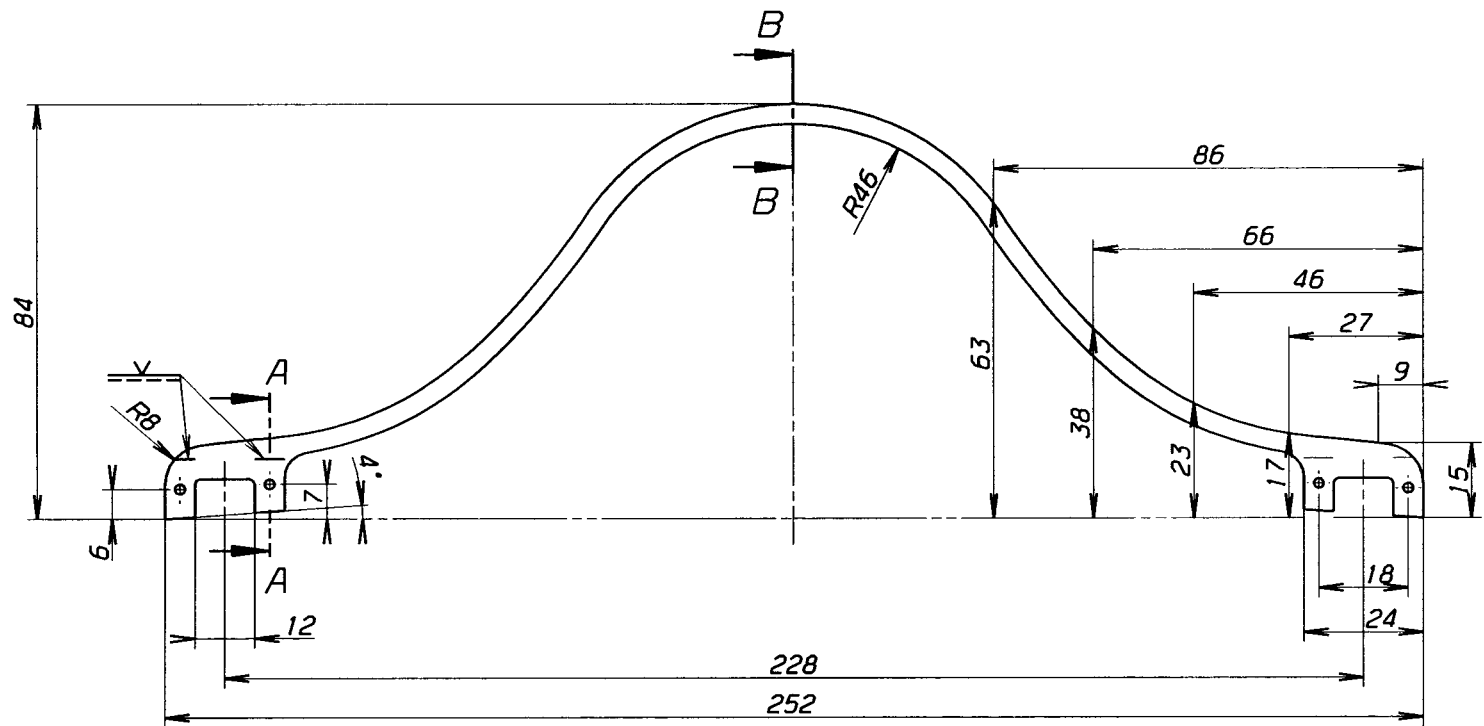


Links Aussenkung gegenüber



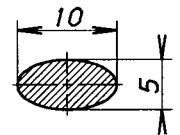
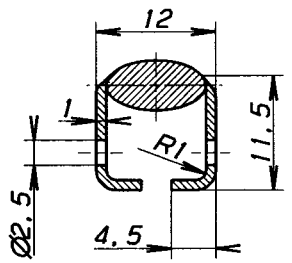
	Allgemein- toleranzen ISO 2768 m	Oberfläche ISO 1302	Maßstab 2:1 Werkstoff, Halbzeug Rohteil-Nr.
	1998 Datum Bearb. 20.03.	Name Stajic	Benennung Achsschenkel re.
Deutsches Museum	Zeichnungsnummer		Blatt 13 22 Bl.
Zust. Änderung Datum Name	Ers. f.:	Ers. d.:	





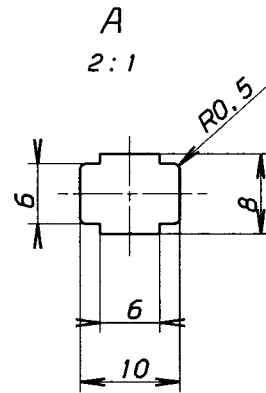
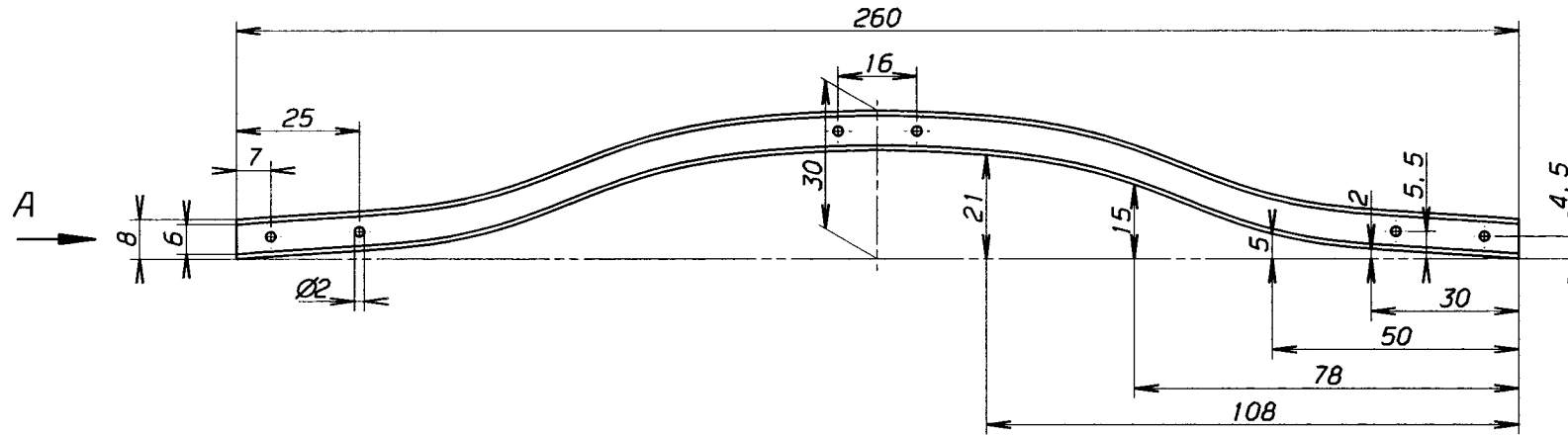
A-A
2:1

B-B
2:1

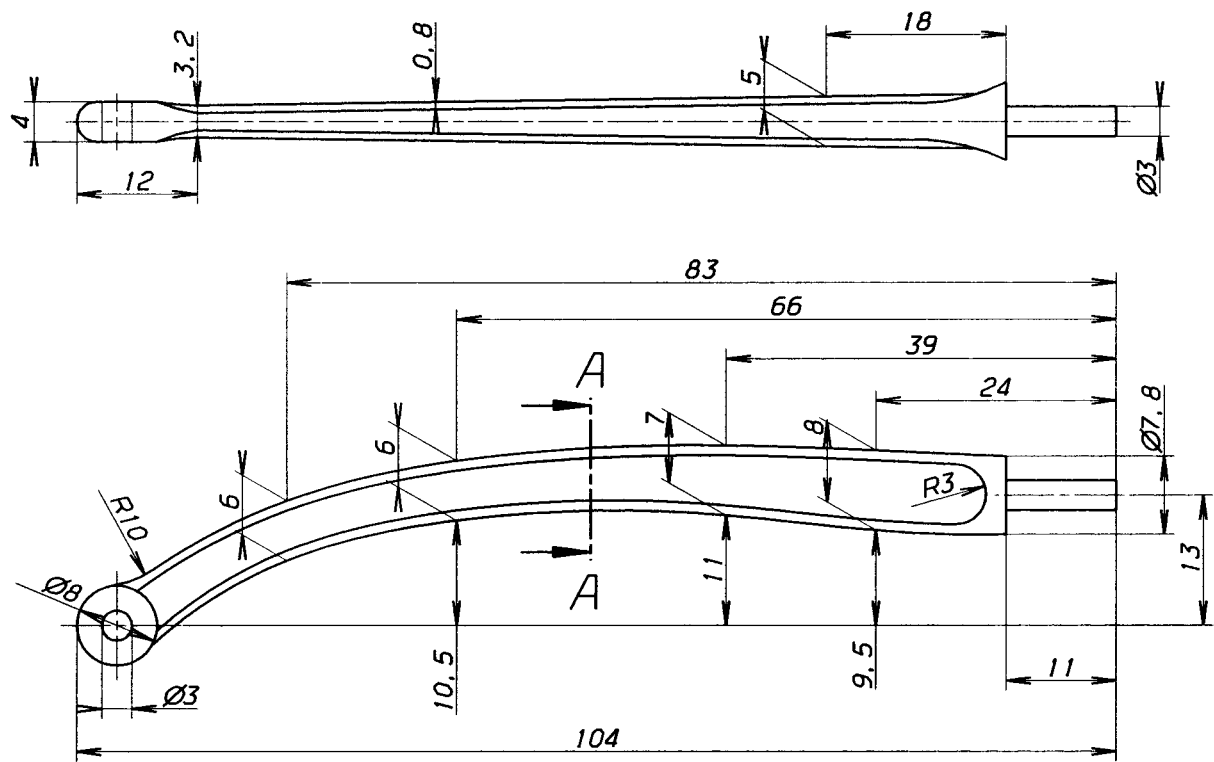


	Allgmein- toleranzen ISO 2768 m	Oberfläche ISO 1302	Maßstab 1:1 (2:1) Werkstoff, Halbzeug Rohteil-Nr.	
	1998 Datum Bearb. 20.03.	Name Stajic	Benennung Stützbügel	
	Deutsches Museum		Zeichnungsnummer	Blatt 14 22Bl.
Zust. Änderung	Datum	Name	Ers. f.:	Ers. d.:

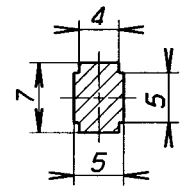




		Allgemein- toleranzen ISO 2768 m	Oberfläche ISO 1302	Maßstab 1:1 (2:1) Werkstoff, Halbzeug Rohteil-Nr.
		1998 Datum Bearb 20.03.	Name Stajic	Benennung Zugbügel
		Deutsches Museum		Zeichnungsnummer
		MAN Nutzfahrzeuge Aktiengesellschaft Werk München		Blatt 15 22 Bl.
Zust.	Aenderung	Datum	Name	Ers. f. : Ers. d. :



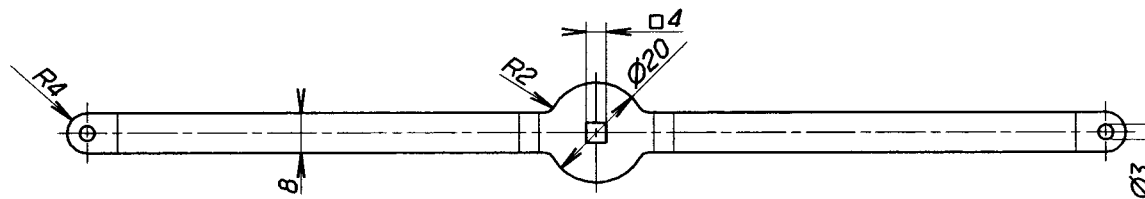
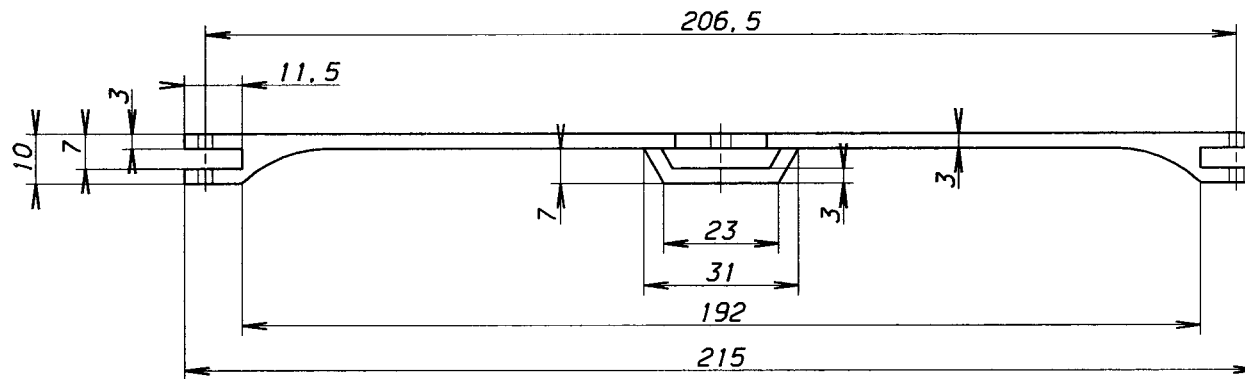
A - A



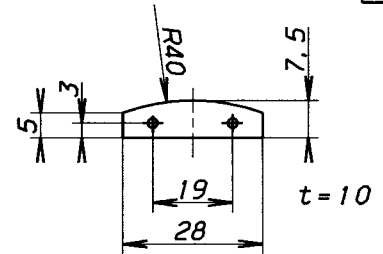
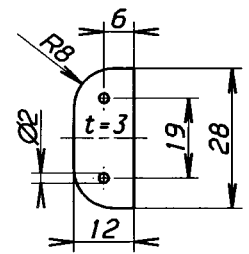
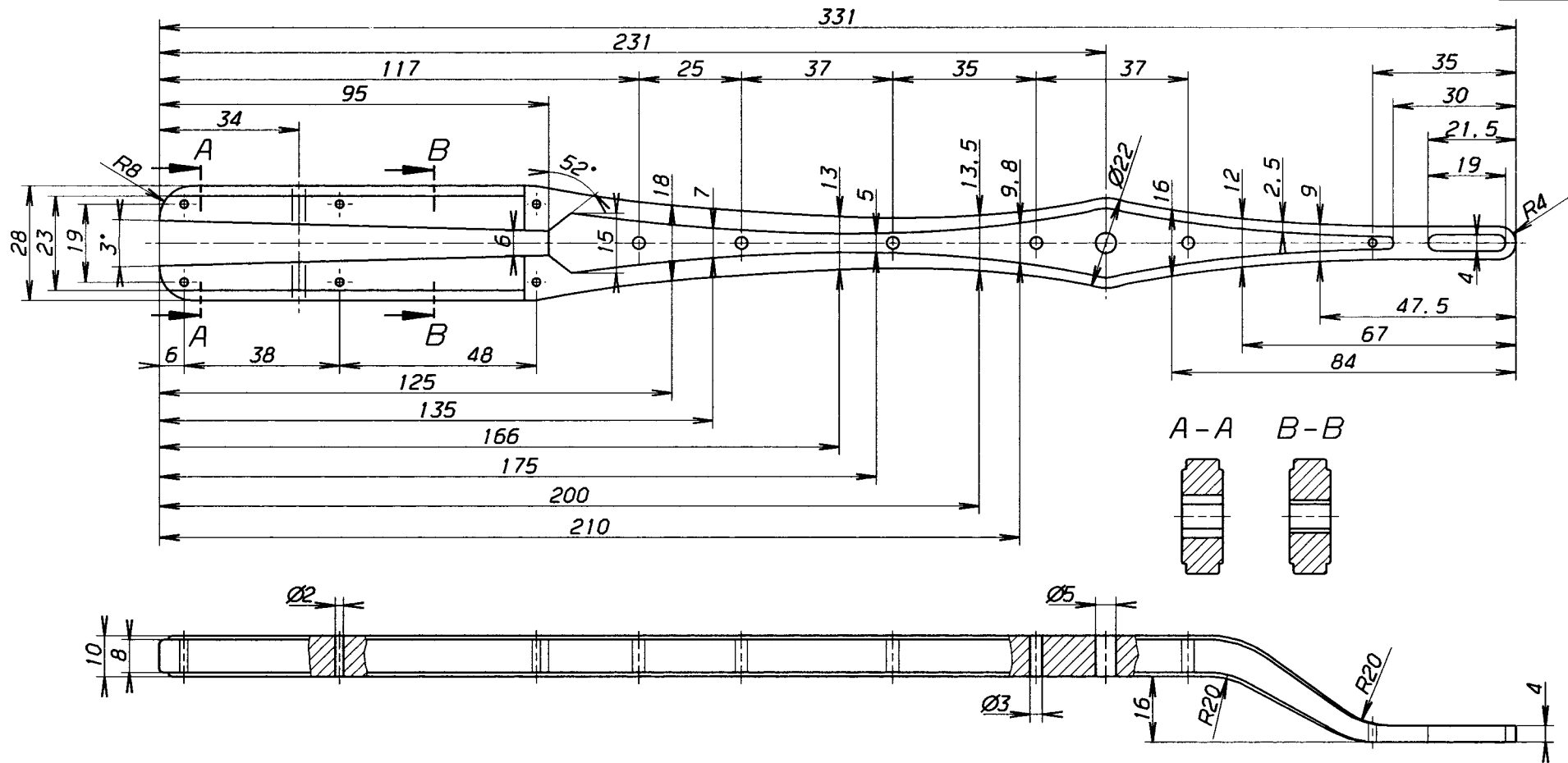
unbemaßte Radien R20

	Allgemein- toleranzen ISO 2768 m	Oberfläche ISO 1302	Maßstab 2:1 Werkstoff, Halbzeug Rohteil-Nr.	
	1998 Datum Bearb. 20.03.	Name Stojic	Benennung Lenkspurhebel	
	Deutsches Museum		Zeichnungsnummer	Blatt 16 22 Bl.
Zust. Änderung	Datum	Name	Ers. f.:	Ers. d.:

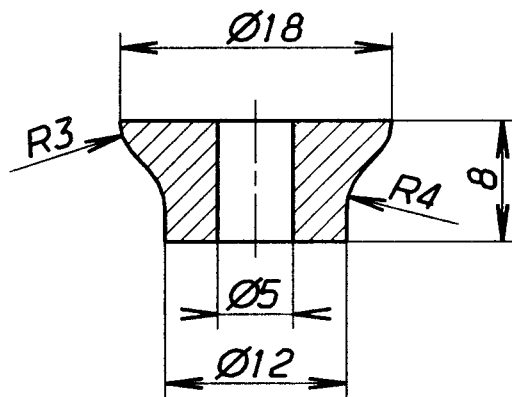
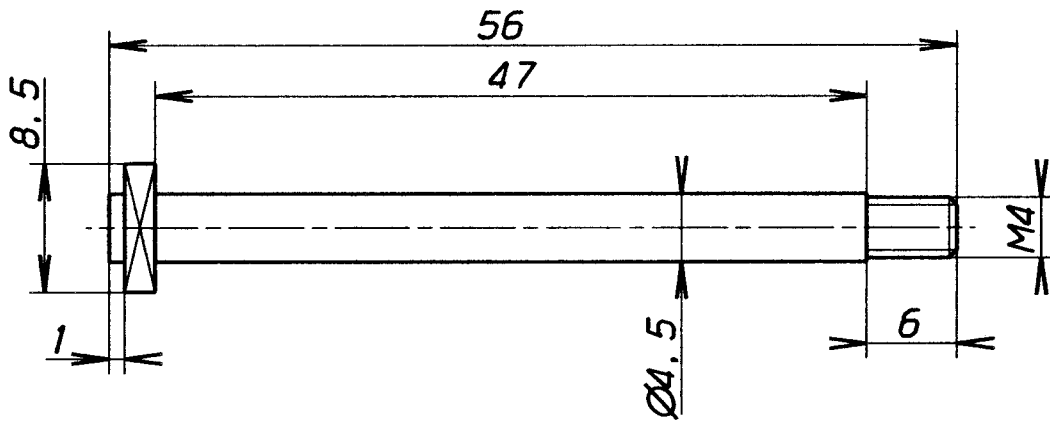




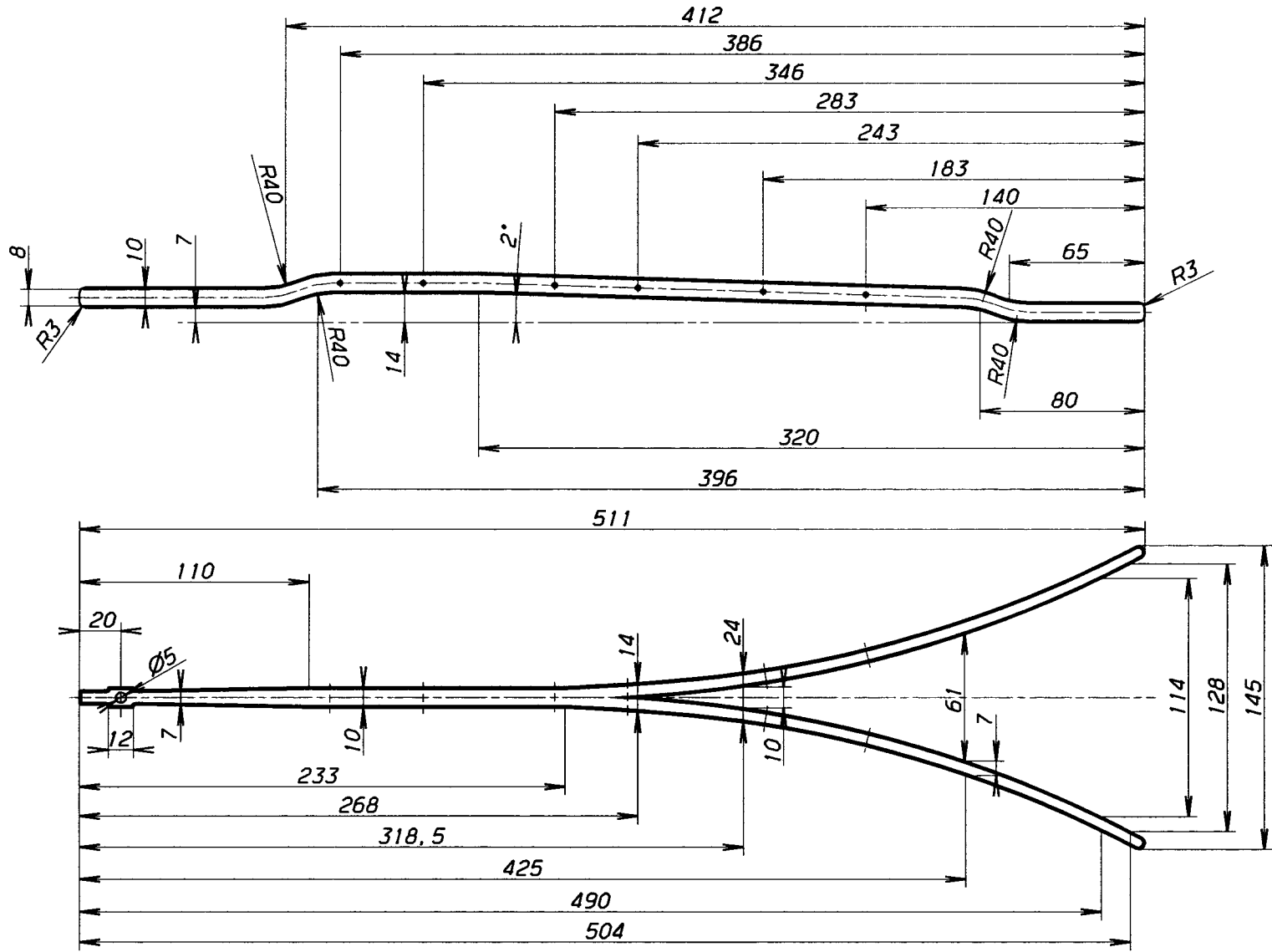
		Allgemeine toleranzen ISO 2768 m	Oberfläche Iso 1302	Maßstab 1:1 Werkstoff, Halbzeug Rohteil-Nr.
		1998 Datum Bearb. 20.03.	Name Stajic	Benennung Lenkspurstange
Deutsches Museum			Zeichnungsnummer	Blatt 17 2281
MAN Nutzfahrzeuge Aktiengesellschaft Werk München	Ers. f.:	Ers. d.:		
Zust. Änderung	Datum	Name		



	Allgemeine-toleranzen ISO 2768 m	Oberfläche Iso 1302	Maßstab 1:1 Werkstoff, Halbzeug Rottteil-Nr.	Bennung Lenkschwinge, Riegel unten u. oben	Blatt 18 22Bl.
	1998 Datum Boord 17.03.	Name Stajic	Zeichnungsnummer		
Deutsches Museum			Ers. f.:	Ers. d.:	
Zust. Änderung	Datum	Name	MAN Nutzfahrzeuge Aktiengesellschaft Werk München		

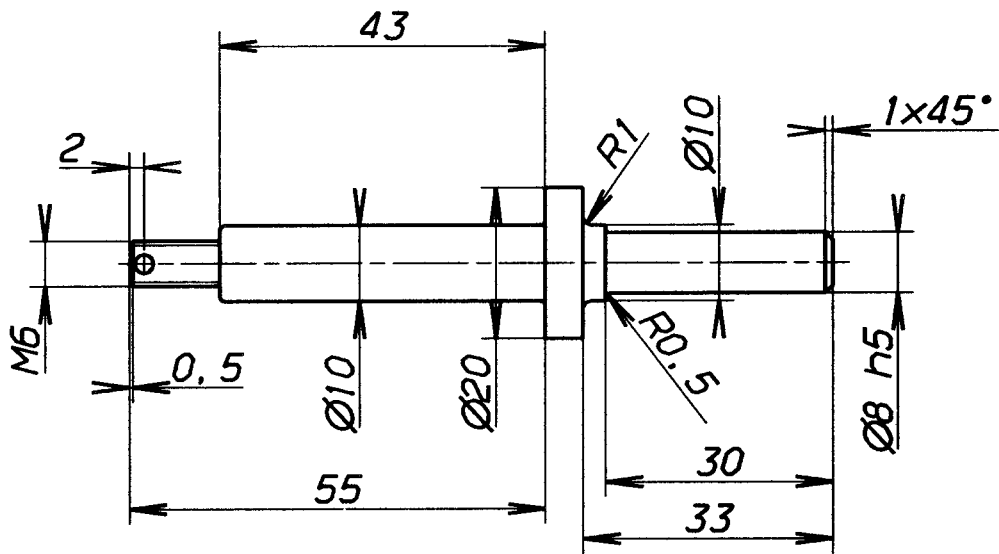


		Allgemeintoleranzen ISO 2768 m		Oberfläche ISO 1302		Maßstab 2:1				
		1998 Datum		Name		Werkstoff, Halbzeug Rohteil-Nr.				
		Bearb. 20.03.		Stajic		Benennung Herzbolzen, Hülse				
				Deutsches Museum						
				MAN Nutzfahrzeuge Aktiengesellschaft Werk München		Zeichnungsnummer			Blatt 19	
Zust. Änderung		Datum		Name		Ers. f. :			Ers. d. : 22Bl.	

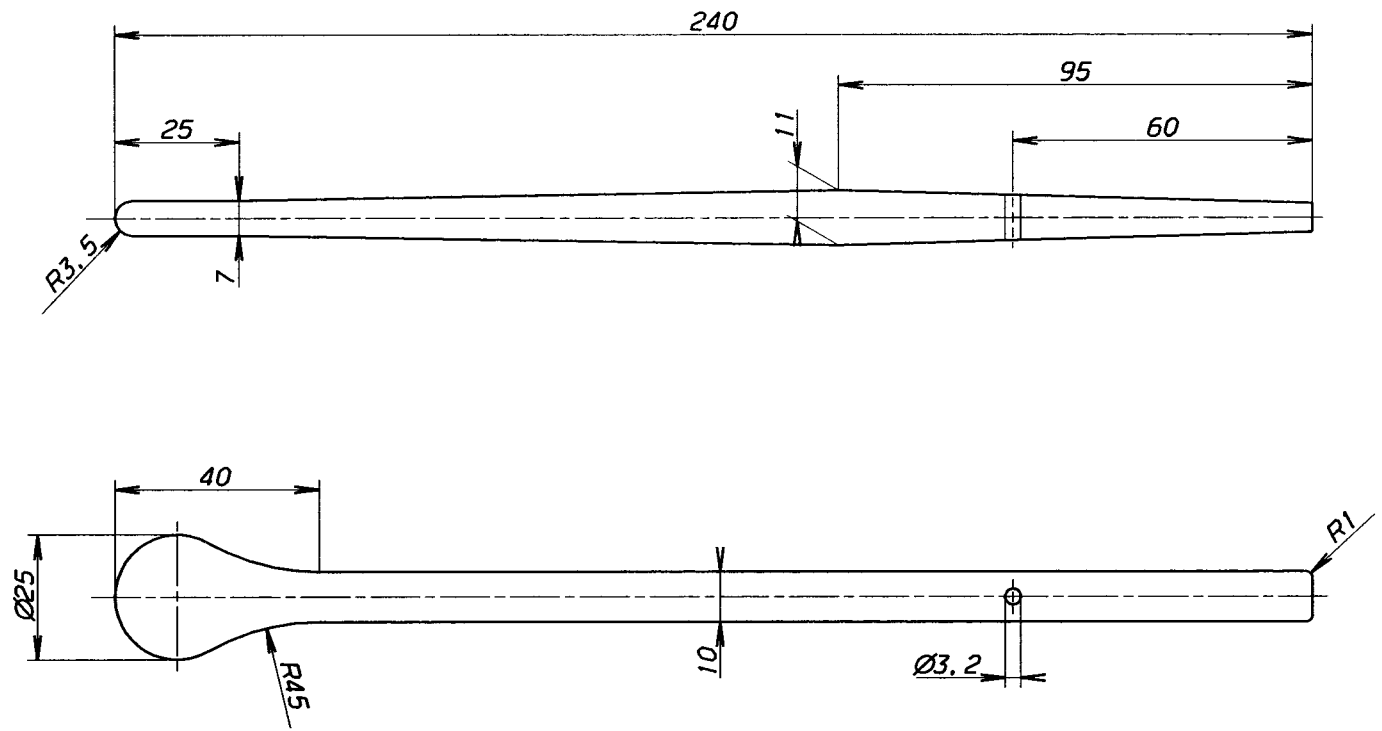


unbemaßte Bohrungen Ø2,4

		Allgmein- toleranzen ISO 2768 m	Oberfläche ISO 1302	Maßstab 1:2 Werkstoff, Halbzeug Rottteil-Nr.
		1998 Datum Bearb. 20.03.	Name Stajic	Benennung Rahmenholm
		Deutsches Museum		
		MAN Nutzfahrzeuge Aktiengesellschaft Werk München		
Zust. Änderung	Datum	Name	Zeichnungsnummer	Blatt 20 22 Bl.
			Ers. f. :	Ers. d. :



			Allgemeintoleranzen ISO 2768 m		Oberfläche ISO 1302		Maßstab 1:1	
			1998 Datum		Name		Werkstoff, Halbzeug Rohteil-Nr.	
			Bearb. 20.03.		Stajic		Benennung	
			Deutsches Museum		Radzapfen			
			MAN Nutzfahrzeuge Aktiengesellschaft Werk München		Zeichnungsnummer			Blatt 21
Zust. Änderung					Datum	Name	Ers. f. :	
								22 Bl.



	Allgemein- toleranzen ISO 2768 m	Oberfläche ISO 1302	Maßstab 1:1 Werkstoff, Halbzeug Rohteil-Nr.	
	1998 Datum Bearb. 20.03.	Name Stajic	Benennung <p style="text-align: center;">Deichsel</p>	
Deutsches Museum			Zeichnungsnummer	Blatt 22 22 Bl.
MAN Nutzfahrzeuge Aktiengesellschaft Werk München	Ers. f.:	Ers. d.:		
Zust. Änderung	Datum	Name		