

Inhalt Vorlesung Achskonzepte WS 2021/22

1. Vorlesung (Teil 5a) 19.11.2021

- **Vorstellung**
- Prozess
- Fahrwerk
- Achskinematik
- Zielgrößen

2. Vorlesung (Teil 5b) 19.11.2021

- **Achskonzepte**
 - Einführung
 - Starrachsen
 - Halbstarrachsen
 - Einzelradaufhängungen
 - Beispiele
 - Achsen im Wettbewerb

3. Vorlesung (Teil 6a) 03.12.2021

Achsbaukästen

4. Vorlesung (Teil 6b) 03.12.2021

5. Vorlesung (Teil 7a) 17.12.2021

Erprobung,
Simulation und
Innovationen

6. Vorlesung (Teil 7b) 17.12.2021

Agenda 19.11.2021

Uhrzeit	TOP
08.00-08.40	Begrüßung, Vorstellung, Ablauf, Prozess
08.40-09.00	Fragen zum Prozess
09.00-09.45	Fahrzeug und Grundgrößen
09.45-10.00	Pause
10.00-10.45	Achskinematik und Auslegung
10.45-11.15	Erstauslegung
11.15-12.15	Mittagspause
12.15-13.00	Wissensaustausch Achskonzepte (Hebebühne)
13.00-13.45	Achskonzepte Teil 1 (Starrachsen, Halbstarrachsen)
13.45-14.30	Innovation Talk - Fahrdynamik
14.30-14.45	Pause
15.45-15.30	Achskonzepte Teil 2 (Einzelradaufhängungen, Beispiele)
15.30-16.00	Fragen und Antworten
16.00	Ende

Vorstellung Dr. Thomas Kersten

10/1991 – 10/1997	Technische Universität Braunschweig, Studium Maschinenbau, Abschluss: Dipl.-Ing.
11/1997 – 10/2003	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Mechanik der Universität Kassel Lehrveranstaltungen: Technische Mechanik I bis III, Kontinuumsmechanik I+II, Materialtheorie Forschungsthema: Anisotrope Viskoplastizität von Metallen
01/2004	Promotion zum Dr.-Ing.
11/2003 – heute	Arbeitgeber: Volkswagen AG, Wolfsburg
11/2003 – 10/2009	Sachbearbeiter PKW Fahrwerk-Vorentwicklung, Berechnung (Rechnerische Bestimmung von Betriebslasten im Fahrwerk)
11/2009 – 05/2012	Fachgruppensprecher PKW-Fahrwerk-Entwicklung Projekte (Fahrzeugprojekt: Modularer Querbaukasten (MQB))
06/2012 – 07/2016	Unterabteilungsleiter Fahrwerkberechnung (Verantwortung Fahrwerkberechnung Funktion und Festigkeit)
08/2016 – heute	Abteilungsleiter Hinterachse, Volkswagen PKW (Freigabeverantwortung sämtlicher PKW Hinterachsen der Marke Volkswagen)
01/2018	Berufung in den Oberen Managementkreis der Volkswagen AG (OMK)



Kontakt:
thomas.kersten@hs-kempten.de

Produktentstehungsprozess

Unternehmensprozesse

Produktstrategie



Produktentstehung



Serienbetreuung



Produktentstehungsprozess

Produktdefinition



Konzeptentwicklung
Serienentwicklung



Serienvorbereitung



Serienanlauf

Produktentstehungsprozess (PEP)

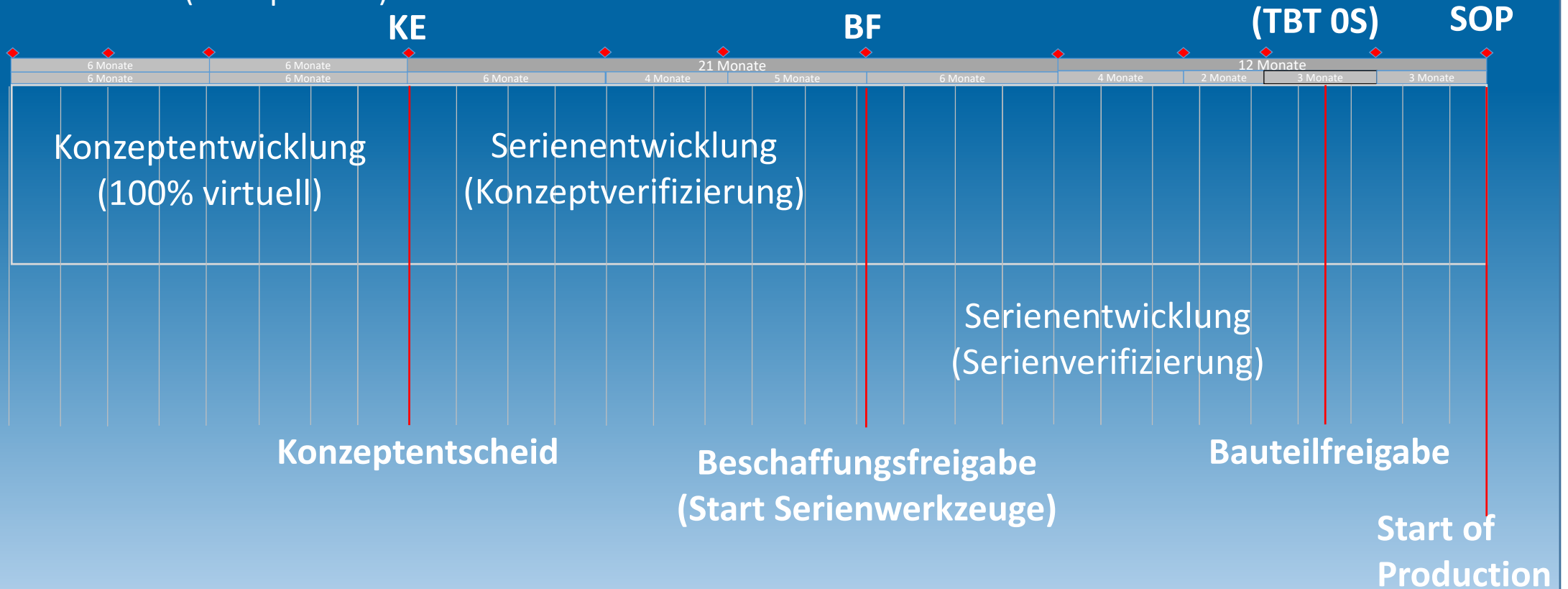
Produktentstehungsprozess (PEP)

- Der Produktentstehungsprozess ist ein Referenzprozess, um eine gezielte Produktentwicklung zu ermöglichen
- Der Produktentstehungsprozess ist durch klare **Meilensteine** und Untermeilensteine unterteilt, welche dann in konkreten Arbeitsprozessen münden
- Der Produktentstehungsprozess kaskadiert sich vom einheitlichen Konzern PEP über einzelne Marken in die Geschäftsbereiche des Unternehmens
- Ein Unternehmen besteht in der Regel aus einer Matrixstruktur mit den Geschäftsbereichen **Vertrieb/Marketing, Beschaffung, Finanz, Produktion, Qualitätssicherung und Entwicklung**
- Je nach Sichtweise kann ein Produkt „Fahrzeug“, „Fahrwerk“, „Achse“ oder „Bauteil“ heißen
- Die Entwicklung erfolgt in sogenannten SE-Teams (Simultaneous Engineering) zur größtmöglichen Effizienz

Produktentstehungsprozess (PEP)

Produktentstehungsprozess (PEP)

- Meilensteine (exemplarisch)



Produktentstehungsprozess (PEP)

Produktentwicklungsprozess

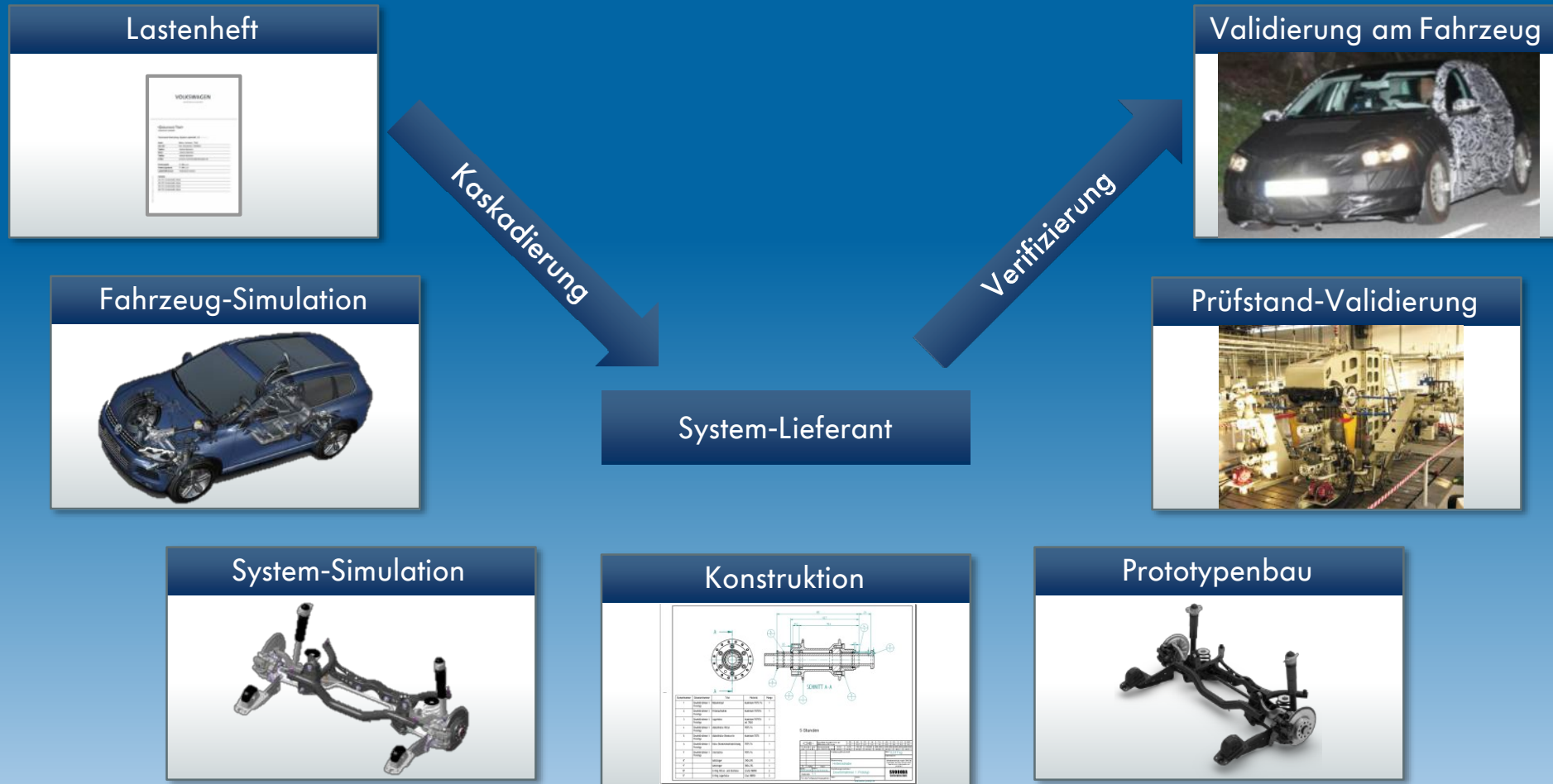


Fahrwerk-Entwicklungsprozess

- | | | | | | |
|-------------------------|----------------------------|---|--------------------|------------------------------------|---------------------|
| ■ Lastenheft-definition | ■ Validierung der Konzepte | ■ Konstruktive Ausarbeitung | ■ Komponenten | ■ Abstimmung Fahrwerk | ■ Markt-einführung |
| ■ Zielvorgaben | ■ Aufbau Konzept-fahrzeug | ■ Validierung der Ergebnisse durch Simulation | ■ Aggregate-träger | ■ Abstimmung Fahrwerk-regelsysteme | ■ Lessons Learned |
| ■ Zielwert-kaskadierung | | | ■ Konzeptfzg. | | ■ Serien-begleitung |
| | | | ■ Baustufenfzg. | | |
| | | | ■ Vorserienfzg. | | |

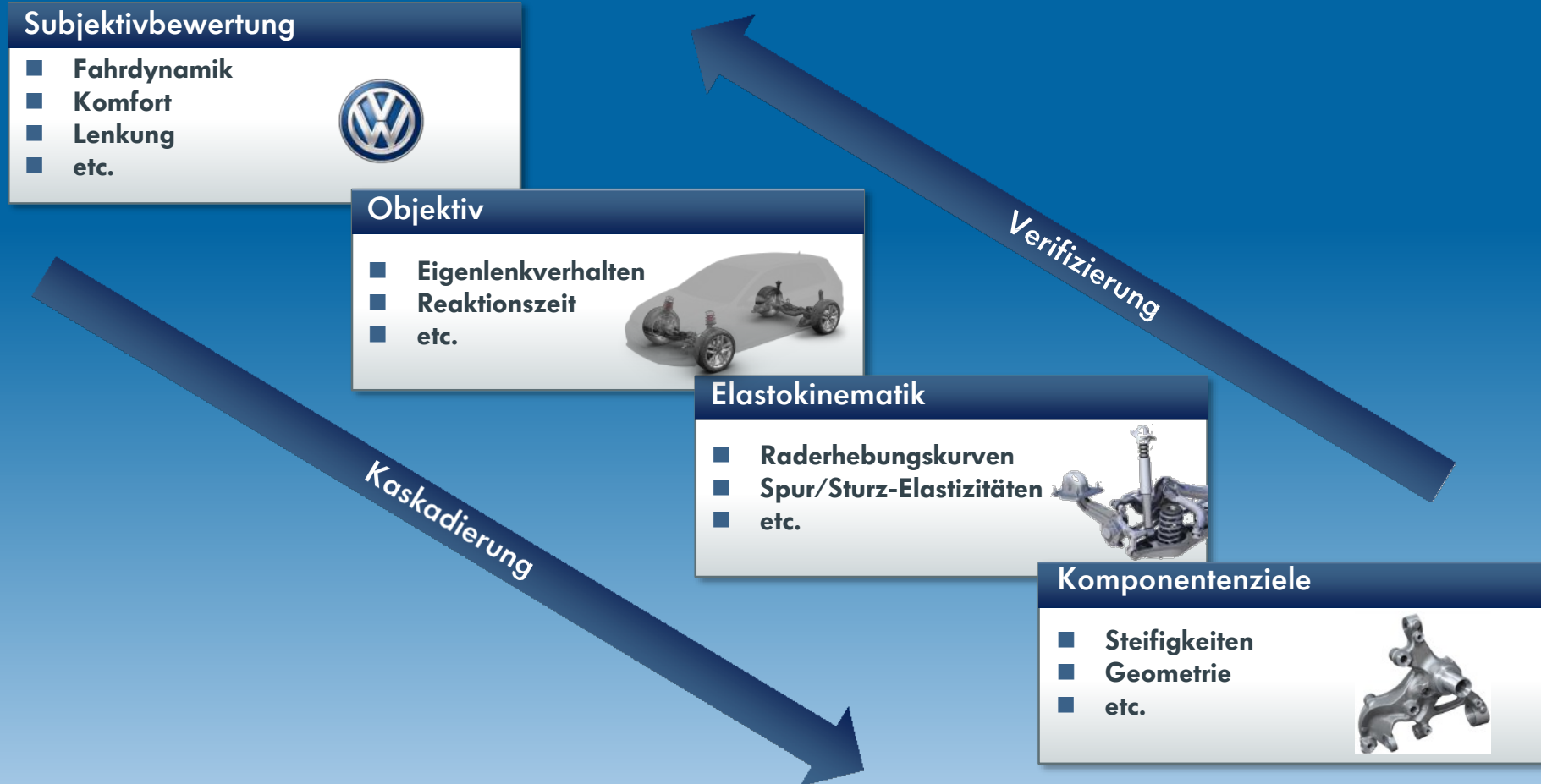
Quelle: Fahrwerkhandbuch [1]

V-Plan Entwicklungsablauf



Quelle: Fahrwerkhandbuch [1]

V-Plan Entwicklungsablauf



Quelle: Fahrwerkhandbuch [1]

Prozess der Fahrwerkentwicklung

Prozessziel	Prozessbeschreibung
■ Entwickeln von PKW-Fahrwerken zu serienreifen Produkten, die durch ihre Wettbewerbs-überlegenheit den Kunden über seine Erwartungen hinaus zufrieden stellen und begeistern. ■ Indikatoren hierfür liefern Marktanalysen zur Kundenzufriedenheit. ■ Die Vorgaben hierfür werden in Abstimmung mit den übrigen Geschäftsbereichen abgeleitet aus Markt-/Kundenanforderungen, Gesetzen und Unternehmensstrategien.	■ In Technischen Produktbeschreibungen werden die Entwicklungsvorgaben festgeschrieben und in den zuständigen Entscheidungsgremien freigegeben. Bei Abweichungen von den Entwicklungsvorgaben wird in den Entscheidungsgremien das weitere Vorgehen festgelegt. ■ Aus dem PEP-Handbuch werden die jeweiligen Projektpläne der Fahrzeugprojekte abgeleitet. Diese bilden die Basis für die Abläufe in der PKW-Fahrwerkentwicklung. ■ Die Prozesse in der PKW-Fahrwerkentwicklung werden im Detail durch Verfahrens- und Arbeitsanweisungen geregelt, soweit diese nicht schon durch übergeordnete Regelungen vorgegeben sind. Durch Änderungsantrag oder Änderungskontrolle werden konstruktive Änderungen durchgeführt. ■ Das Entwicklungsergebnis wird abgesichert durch virtuelle (DMU, Berechnungen, Simulationen) und physische (Versuche, Erprobungen, Laborprüfungen, Abnahmefahrten) Methoden. ■ Die Dokumentation erfolgt in der Technischen Stückliste und im Konstruktionsdatenverwaltungssystem.

Quelle: Fahrwerkhandbuch [1]

Inhalte der Fahrwerkentwicklung



Eine optimale Abstimmung aller Systeme führt zu herausragenden Fahreigenschaften.

Einflussfaktoren für Dynamik, Komfort und Sicherheit



Quelle: Fahrwerkhandbuch [1]

Randbedingungen für die Fahrwerkentwicklung (Achsen)



Fahrwerk: Etwa 25% des Fahrzeuggewichts und etwa 20% der Kosten eines Fahrzeuges!

Agenda 19.11.2021

Uhrzeit	TOP
08.00-08.40	Begrüßung, Vorstellung, Ablauf, Prozess
08.40-09.00	Fragen zum Prozess
09.00-09.45	Fahrzeug und Grundgrößen
09.45-10.00	Pause
10.00-10.45	Achskinematik und Auslegung
10.45-11.15	Erstauslegung
11.15-12.15	Mittagspause
12.15-13.00	Wissensaustausch Achskonzepte (Hebebühne)
13.00-13.45	Achskonzepte Teil 1 (Starrachsen, Halbstarrachsen)
13.45-14.30	Innovation Talk - Fahrdynamik
14.30-14.45	Pause
15.45-15.30	Achskonzepte Teil 2 (Einzelradaufhängungen, Beispiele)
15.30-16.00	Fragen und Antworten
16.00	Ende

Mini Breakout Session



Welche Fragen haben Sie zum Entwicklungsprozess ?
Aufgabe: 10 Min. Gruppenarbeit – danach 10 Min. Antworten.

Agenda 19.11.2021

Uhrzeit	TOP
08.00-08.40	Begrüßung, Vorstellung, Ablauf, Prozess
08.40-09.00	Fragen zum Prozess
09.00-09.45	Fahrzeug und Grundgrößen
09.45-10.00	Pause
10.00-10.45	Achskinematik und Auslegung
10.45-11.15	Erstauslegung
11.15-12.15	Mittagspause
12.15-13.00	Wissensaustausch Achskonzepte (Hebebühne)
13.00-13.45	Achskonzepte Teil 1 (Starrachsen, Halbstarrachsen)
13.45-14.30	Innovation Talk - Fahrdynamik
14.30-14.45	Pause
15.45-15.30	Achskonzepte Teil 2 (Einzelradaufhängungen, Beispiele)
15.30-16.00	Fragen und Antworten
16.00	Ende

Randbedingungen für die Fahrwerkentwicklung (Achsen)



Fahrwerk: Etwa 25% des Fahrzeuggewichts und etwa 20% der Kosten eines Fahrzeuges!

Technische Inhalte der Achsentwicklung

Funktion

- Fahrspaß
- Fahrsicherheit
- Fahrkomfort

- Längsdynamik
- Vertikaldynamik
- Querdynamik

Festigkeit

- Normalgebrauch
- Grenzgebrauch
- Mißbrauch

- Betriebslasten/
Standardlasten
- Traglasten

Gewicht/CO2

- Kraftstoffverbrauch
/ Reichweite
- Emissionen

- Konst. Leichtbau
- Materialien
- Fertigungsverfahren

Zur funktionsseitigen Achsentwicklung müssen zunächst die Zielgrößen für die Eigenschaften des Gesamtfahrzeuges festgelegt und die Anforderungen an die Achsen abgeleitet werden.

→ Ziel: Grundlegende Achskinematik verstehen und die Auswirkungen auf das GFZ

Technische Inhalte der Achsentwicklung

Funktion

- Fahrspaß
- Fahrsicherheit
- Fahrkomfort

- Längsdynamik
- Vertikaldynamik
- Querdynamik

Zur funktionsseitigen Achsentwicklung müssen zunächst die **Zielgrößen** für die **Eigenschaften** des **Gesamtfahrzeuges** festgelegt und die Anforderungen an die Achsen abgeleitet werden. Aufgabe der Fahr**dynamik**entwicklung.



Grundlegende **Achskinematik/Elastokinematik** verstehen und die Auswirkungen auf das Gesamtfahrzeugverhalten (Fahrdynamik/Fahrkomfort/Fahrsicherheit)

Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

Fahrzeug → Grundgrößen

- Bezugssystem
- Bewegungsfreiheitsgrade (Bewegungsgleichungen)
- Radstand
- Spurweite
- Achslast
- Achslastverteilung
- Räderpalette
- Reifen
- Lenkübersetzung
- Wendekreis
- Spurdifferenzwinkel

Achskinematik → Auslegung

- Allgemeines zur Kinematik
- Lenkkinematik
 - Lenkachse
 - Spreizung
 - Lenkrollradius
 - Nachlauf
 - Störkrafthebelarm
- Radhubkinematik
 - Spur
 - Sturz
- Momentanpole
 - Wankpol, Wankachse
 - Längspol, Schrägfederung, Stützwinkel
- Kinbench – Kennwerte (Messung/Simulation)

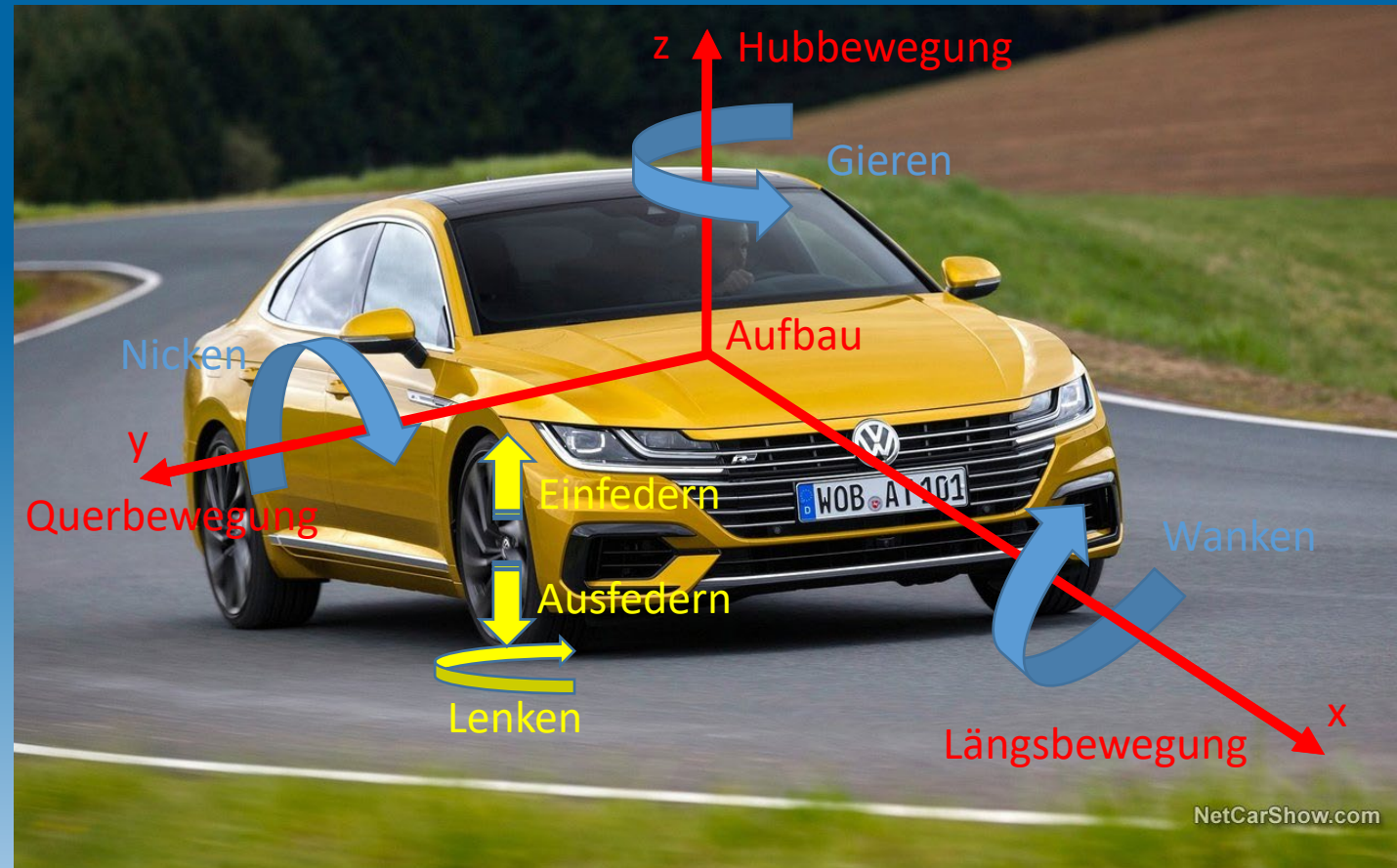
Fahrdynamik → Eigenschaften

- Federwege
- Kippen
- Bremsstabilität
- Wanken
- Nicken
- Gierverstärkung
- Seitenwindempfindlichkeit
- Dynbench – Kennwerte (Messung/Simulation)
- Subjektivbewertung

Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

Fahrzeug → Grundgrößen

- Bezugssystem
- Bewegungsfreiheitsgrade (Bewegungsgleichungen)
- Radstand
- Spurweite
- Achslast
- Achslastverteilung
- Räderpalette
- Reifen
- Lenkübersetzung
- Wendekreis
- Spurdifferenzwinkel



Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

Fahrzeug → Grundgrößen

- Bezugssystem
- Bewegungsfreiheitsgrade (Bewegungsgleichungen)
- **Radstand**
- Spurweite
- Achslast
- Schwerpunktlage
- Achslastverteilung
- Räderpalette
- Reifen
- Lenkübersetzung
- Wendekreis
- Spurdifferenzwinkel

Radstand

Abstand der Vorder- und Hinterräder (x-yEbene)

- Langer Radstand
 - Großer Innenraum (Passagiere)
 - Guter Fahrkomfort
 - Gute Fahrsicherheit
- Kurzer Radstand
 - Gutes Handling
 - Geringere Kosten und Gewicht
- Änderung des Radstandes (infolge Dynamik)
 - + Fahrwerk weicht horizontalen Stößen aus
 - + Positiv für die Federung
 - + Verbesserung des Abrollverhaltens
 - Stetige Schwankungen der Raddrehzahl
 - Drehschwingungen im Antriebsstrang
 - Raddrehzahlsignale im ABS beeinflusst
 - Potentielles Anfachen von Bremstrampeln



Quelle: s.a. Fahrwerkhandbuch [1]

Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

Fahrzeug → Grundgrößen

- Bezugssystem
- Bewegungsfreiheitsgrade
- Bewegungsgleichungen
- Radstand
- **Spurweite**
- Achslast
- Schwerpunktlage
- Achslastverteilung
- Räderpalette
- Reifen
- Lenkübersetzung
- Wendekreis
- Spurdifferenzwinkel

Spurweite

Abstand der Radaufstandspunkte einer Achse
(y-z Ebene)

■ Breite Spurweite

- + Gutes Fahrverhalten
- + Guter Fahrkomfort
- + Besseres Design (Sattes Aussehen)
- Große Fahrzeugbreite
- Höherer Luftwiderstand
- Stärkeres Verziehen bei ungleich verteilten Bremskräften

■ Änderung der Spurweite (infolge Dynamik)

- Querschlupf am Reifenlatsch beeinträchtigt die Kraftübertragung
- Erhöhter Reifenverschleiß
- Steigender Rollwiderstand
- Negative Rückwirkungen auf die Lenkung



Quelle: s.a. Fahrwerkhandbuch [1]

Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

Fahrzeug → Grundgrößen

- Bezugssystem
- Bewegungsfreiheitsgrade
- Bewegungsgleichungen
- Radstand
- Spurweite
- **Achslast**
- **Schwerpunktlage**
- **Achslastverteilung**
- Räderpalette
- Reifen
- Lenkübersetzung
- Wendekreis
- Spurdifferenzwinkel

Achslast

- Jeweilige Last auf Vorder- und Hinterachse (inkl. ungefederter Massen, da meistens gewogen)

Fahrzeug Schwerpunktlage

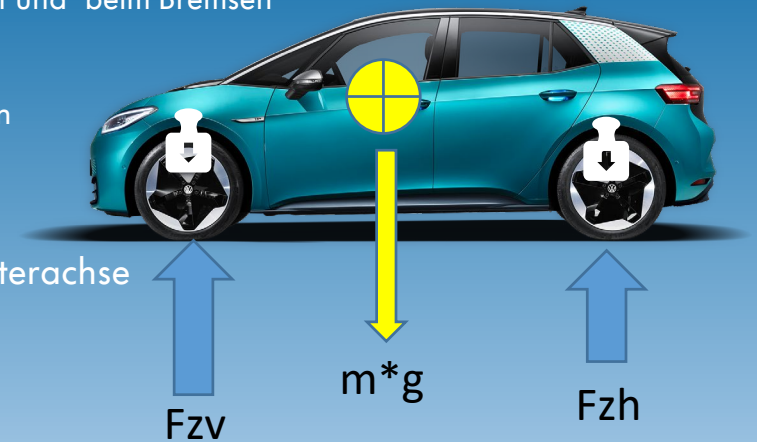
Fiktiver Punkt der konzentrierten Fahrzeugmasse

- Niedrige Schwerpunktlage
 - + Gutes Fahrverhalten und hohe Fahrsicherheit
 - + Geringes Wanken und Nicken
 - + Geringe Radlastschwankung bei Steigungen und beim Bremsen
- Hohe Schwerpunktlage
 - + Bessere Hinterachsbelastung bei Steigungen

Achslastverteilung

Verhältnis der Gesamtlast an Vorder- und Hinterachse

- Typische Werte für die Achslastverteilung
 - K0-Lage von 44% : 56% bis 60% : 40%
 - Verändert sich infolge Dynamik



Quelle: s.a. Fahrwerkhandbuch [1]

Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

Fahrzeug → Grundgrößen

- Bezugssystem
- Bewegungsfreiheitsgrade
- Bewegungsgleichungen
- Radstand
- Spurweite
- Achslast
- Schwerpunktlage
- Achslastverteilung
- **Räderpalette**
- Reifen
- Lenkübersetzung
- Wendekreis
- Spurdifferenzwinkel

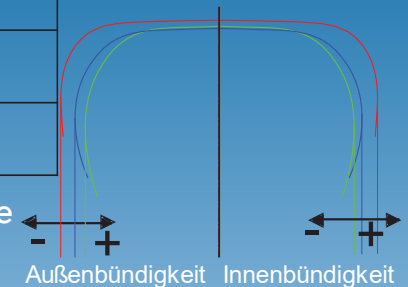
Räderpalette, Beispiel: Ø 645mm, A-Klasse Fahrzeug

Reifen	Rad	ET [mm]	b _{max} [mm]	Ø _{max} [mm]	rel. Bünd. ausser untereinander [mm]	rel. Bünd. innen untereinander [mm]
--------	-----	------------	--------------------------	--------------------------	---	--

Sommerreifen

195/65 R 15 91	6Jx15	43	209	645	+4.5	-20.5
195/65 R 15 91	6½Jx15	46	214	645	+5.0	-15.0
205/55 R 16 91	6½Jx16	50	223	642	+4.5	-6.5
225/45 R 17 91	7Jx17	54	229	642	+5.5	+0.5
225/45 R 17 91	7½Jx17	51	234	642	0.0	0.0
225/40 R 18 92 XL	7½Jx18	51	234	642	0.0	0.0

- Dient zur Packageuntersuchung im Radhaus → Bündigkeit/Freigänge
- Ein Winterrad muss Kettentauglichkeit aufweisen
- ET zur Darstellung der Bestmöglichen Bündigkeit → Vorsicht: Auswirkungen auf Festigkeit der Achsbauteile
- Seitenwandhöhe des Reifens beeinflusst Festigkeit der Achsbauteile
- Radmasse (ungefederte Masse) beeinflusst Komfort und Festigkeit



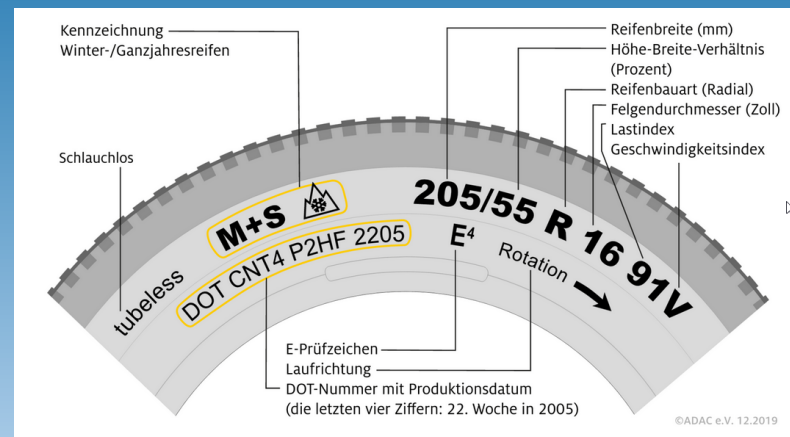
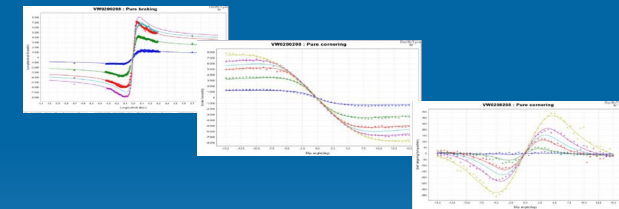
Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

Fahrzeug → Grundgrößen

- Bezugssystem
- Bewegungsfreiheitsgrade
- Bewegungsgleichungen
- Radstand
- Spurweite
- Achslast
- Schwerpunktlage
- Achslastverteilung
- Räderpalette
- **Reifen**
- Lenkübersetzung
- Wendekreis
- Spurdifferenzwinkel

Reifen

- Der Reifen ist das Bindeglied zwischen Fahrbahn und Fahrzeug
- Die Seitenwandhöhe und Fülldruck haben Einfluss auf Fahrkomfort und Festigkeit
- Die wesentlichen Reifencharakteristiken sind
 - Längskraft über Längsschlupf
 - Seitenkraft über Schräglaufwinkel und
 - Rückstellmoment über Schräglaufwinkel
- Besondere Herausforderungen stellt da kombinierte Schlupfverhalten dar, bei dem Längs- und Querschlupf gleichzeitig auftreten (z.B. Bremsen in der Kurve)
- Reifendimensionen (z.B. 205/55 R16 91V)



Quelle: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/ausstattung-technik-zubehoer/reifen/reifenkauf/reifenkennzeichnung/>

Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

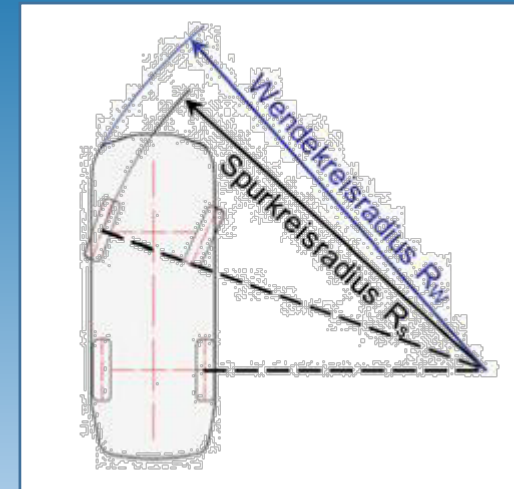
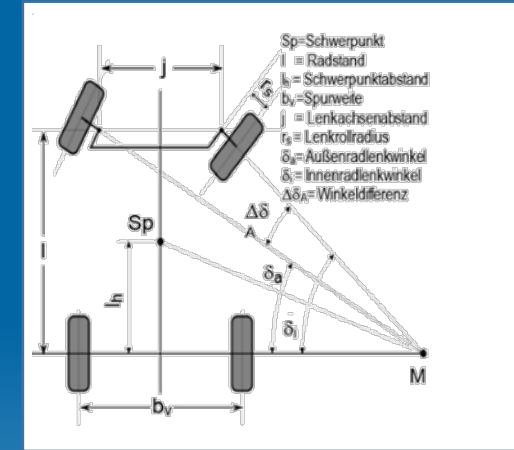
Fahrzeug → Grundgrößen

- Bezugssystem
- Bewegungsfreiheitsgrade
- Bewegungsgleichungen
- Radstand
- Spurweite
- Achslast
- Schwerpunktlage
- Achslastverteilung
- Räderpalette
- Reifen
- **Lenkübersetzung**
- **Wendekreis**
- **Spurdifferenzwinkel**

Quelle: Fahrwerkhandbuch [1]

Kenngrößen der Lenkkinematik

- **Ackermannwinkel**
 - Der Vorderradlenkwinkel, um ein frontgelenktes Fahrzeug ohne Seitenkraft und damit ohne Schräglaufwinkel, d. h. bei sehr langsamer Fahrt, um eine Kurve zu führen
 - Durch unterschiedliche Kurvenradien der Räder müssen diese auch unterschiedliche Ackermannwinkel aufweisen
- **Wendekreis**
 - Der Kreisbogen, den die am weitesten nach außen vorstehenden Fahrzeugteile beim größten Lenkansschlag
- **Spurkreis**
 - Der Kreisbogen, den der äußere Radaufstandspunkt beim max. Lenkansschlag beschreibt
 - Ein kleiner Wendekreis verbessert die Manövrierfähigkeit, dazu muss der Radstand möglichst klein und der Lenkansschlag möglichst groß sein



Technische Inhalte der Achsentwicklung

Funktion

- Fahrspaß
- Fahrsicherheit
- Fahrkomfort

- Längsdynamik
- Vertikaldynamik
- Querdynamik

Festigkeit

- Normalgebrauch
- Grenzgebrauch
- Mißbrauch

- Betriebslasten/
Standardlasten
- Traglasten

Gewicht/CO2

- Kraftstoffverbrauch
/ Reichweite
- Emissionen

- Konst. Leichtbau
- Materialien
- Fertigungsverfahren

Zur funktionsseitigen Achsentwicklung müssen zunächst die Zielgrößen für die Eigenschaften des Gesamtfahrzeuges festgelegt und die Anforderungen an die Achsen abgeleitet werden.

→ Ziel: Grundlegende Achskinematik verstehen und die Auswirkungen auf das GFZ

Agenda 19.11.2021

Uhrzeit	TOP
08.00-08.40	Begrüßung, Vorstellung, Ablauf, Prozess
08.40-09.00	Fragen zum Prozess
09.00-09.45	Fahrzeug und Grundgrößen
09.45-10.00	Pause
10.00-10.45	Achskinematik und Auslegung
10.45-11.15	Erstauslegung
11.15-12.15	Mittagspause
12.15-13.00	Wissensaustausch Achskonzepte (Hebebühne)
13.00-13.45	Achskonzepte Teil 1 (Starrachsen, Halbstarrachsen)
13.45-14.30	Innovation Talk - Fahrdynamik
14.30-14.45	Pause
15.45-15.30	Achskonzepte Teil 2 (Einzelradaufhängungen, Beispiele)
15.30-16.00	Fragen und Antworten
16.00	Ende

Agenda 19.11.2021

Uhrzeit	TOP
08.00-08.40	Begrüßung, Vorstellung, Ablauf, Prozess
08.40-09.00	Fragen zum Prozess
09.00-09.45	Fahrzeug und Grundgrößen
09.45-10.00	Pause
10.00-10.45	Achskinematik und Auslegung
10.45-11.15	Erstauslegung
11.15-12.15	Mittagspause
12.15-13.00	Wissensaustausch Achskonzepte (Hebebühne)
13.00-13.45	Achskonzepte Teil 1 (Starrachsen, Halbstarrachsen)
13.45-14.30	Innovation Talk - Fahrdynamik
14.30-14.45	Pause
15.45-15.30	Achskonzepte Teil 2 (Einzelradaufhängungen, Beispiele)
15.30-16.00	Fragen und Antworten
16.00	Ende

Agenda 19.11.2021

Uhrzeit	TOP
08.00-08.40	Begrüßung, Vorstellung, Ablauf, Prozess
08.40-09.00	Fragen zum Prozess
09.00-09.45	Fahrzeug und Grundgrößen
09.45-10.00	Pause
10.00-10.45	Achskinematik und Auslegung
10.45-11.15	Erstauslegung
11.15-12.15	Mittagspause
12.15-13.00	Wissensaustausch Achskonzepte (Hebebühne)
13.00-13.45	Achskonzepte Teil 1 (Starrachsen, Halbstarrachsen)
13.45-14.30	Innovation Talk - Fahrdynamik
14.30-14.45	Pause
15.45-15.30	Achskonzepte Teil 2 (Einzelradaufhängungen, Beispiele)
15.30-16.00	Fragen und Antworten
16.00	Ende

Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

Fahrzeug → Grundgrößen

- Bezugssystem
- Bewegungsfreiheitsgrade (Bewegungsgleichungen)
- Kadstand
- Spurweite
- Achslast
- Achslastverteilung
- Räderpalette
- Reifen
- Lenkübersetzung
- Wendekreis
- Spurdifferenzwinkel

Achskinematik → Auslegung

- **Allgemeines zur Kinematik**
- Lenkinematik
 - Lenkachse
 - Spreizung
 - Lenkrollradius
 - Nachlauf
 - Störkrafthebelarm
- Radhubkinematik
 - Spur
 - Sturz
- Momentanpole
 - Wankpol, Wankachse
 - Längspol, Schrägfederung, Stützwinkel
- Kinbench – Kennwerte (Messung/Simulation)

Fahrdynamik → Eigenschaften

- Federwege
- Kippen
- Bremsstabilität
- Wanken
- Nicken
- Gierverstärkung
- Seitenwindempfindlichkeit
- **Erstauslegung Funktion**
- Dynbench – Kennwerte (Messung/Simulation)
- Subjektivbewertung

Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

Achskinematik



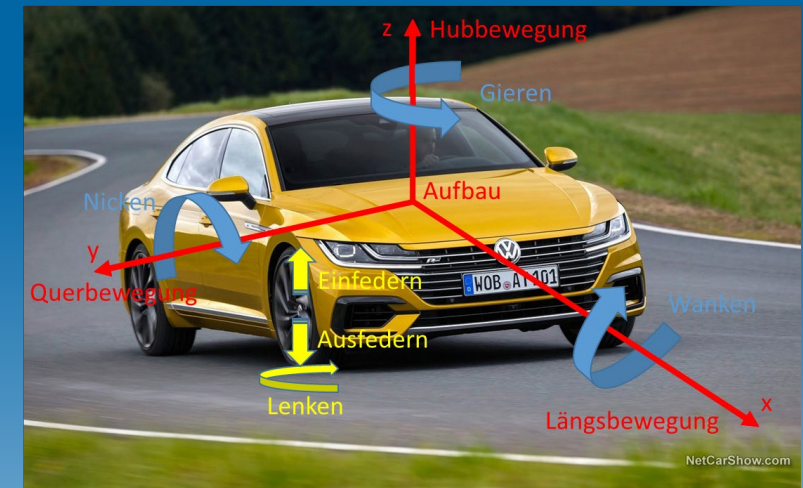
Auslegung

- **Allgemeines zur Kinematik**
- Lenkkinematik
 - Lenkachse
 - Spreizung
 - Lenkrollradius
 - Nachlauf
 - Störkrafthebelarm
- Radhubkinematik
 - Spur
 - Sturz
- Momentanpole
 - Wankpol, Wankachse
 - Längspol, Schrägfederung, Stützwinkel
- Kinbench – Kennwerte (Messung/Simulation)

Quelle: Fahrwerkhandbuch [1]

Kinematik der Radaufhängung

- Aufgrund der Bedeutung der relativen Stellung des Reifens zur Fahrbahn sehr wichtig
- Bestimmt die räumliche Bewegung des Rades bei Federung und Lenkung
- Das Aufhängungskonzept bestimmt Anzahl und Topologie der Kinematikpunkte
- Radstand, Spurweite, Reifen- und Felgengröße ermöglichen die Auslegung der Kinematikpunkte relativ zum Fahrzeug
- Radaufhängung und Lenkung bilden eine kinematische Kette



Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

Achskinematik



Auslegung

- Allgemeines zur Kinematik
- Lenkkinematik
 - Lenkachse
 - Spreizung
 - Lenkrollradius
 - Nachlauf
 - Störkrafthebelarm
- Radhubkinematik
 - Spur
 - Sturz
- Momentanpole
 - Wankpol, Wankachse
 - Längspol, Schrägfederung, Stützwinkel
- Kinbench – Kennwerte (Messung/Simulation)

Quelle: Fahrwerkhandbuch [1]

Kenngrößen der Lenkkinematik

■ Lenkachse

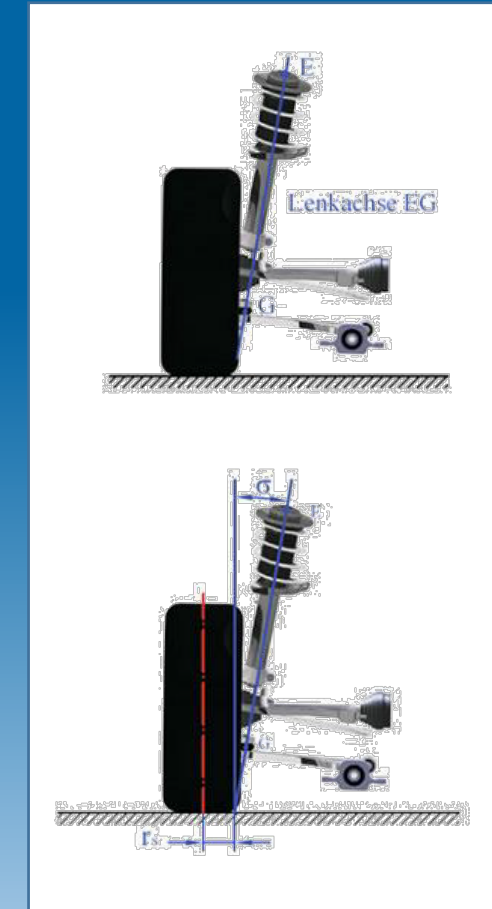
- die (virtuelle) Achse, um die sich das Rad beim Lenken dreht (frühere Achsschenkelachse)

■ Lenkachsenspreizung

- Neigungswinkel der Lenkachse zu einer Senkrechten auf der Fahrbahn in der y-z Ebene
- Positiv, wenn die Achse innen nach geneigt ist

■ Lenkrollradius

- Abstand des Schnittpunktes der Lenkachse mit der Fahrbahnebene zur Schnittlinie der Radmittelebene mit der Fahrbahn
- Positiver Lenkrollradius, wenn der Lenkachsenschnittpunkt mit der Fahrbahn von der Radmittelebene aus nach innen, negativer Lenkrollradius, wenn er von der Radmittelebene aus nach außen liegt



Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

Achskinematik



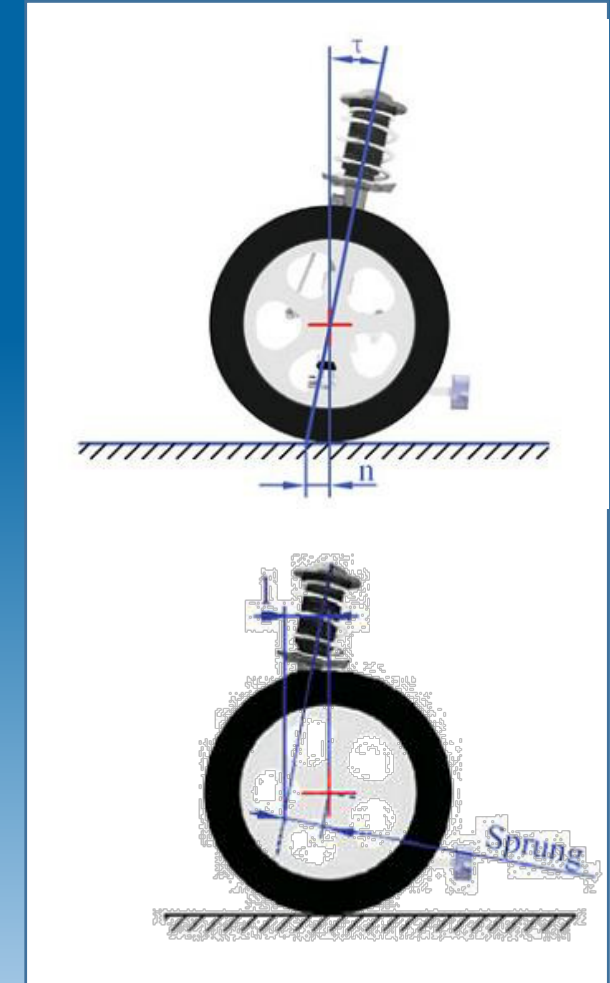
Auslegung

- Allgemeines zur Kinematik
- **Lenkkinematik**
 - Lenkachse
 - Spreizung
 - Lenkrollradius
 - Nachlauf
 - Störkrafthebelarm
- Radhubkinematik
 - Spur
 - Sturz
- Momentanpole
 - Wankpol, Wankachse
 - Längspol, Schrägfederung, Stützwinkel
- Kinbench – Kennwerte (Messung/Simulation)

Quelle: Fahrwerkhandbuch [1]

Kenngrößen der Lenkkinematik

- **Nachlaufwinkel**
 - Neigungswinkel der Lenkachse zur Senkrechten auf die Fahrbahn in der x-z Ebene
 - Positiv definiert, wenn die Achse nach hinten geneigt ist
- **Nachlaufstrecke**
 - Abstand zwischen dem Durchstoß der Lenkachse in x-Richtung mit der Fahrbahn und der Senkrechten zur Fahrbahn am Radaufstandspunkt
 - Positiv, wenn der Schnittpunkt vor dem Radaufstandspunkt liegt
- **Nachlaufversatz**
 - Horizontaler Abstand, der sich zwischen dem Radmittelpunkt und der Lenkachse auf der x-z Ebene am Radmittelpunkt ergibt
 - Positiv, wenn der Radmittelpunkt hinter der Lenkachse liegt



Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

Achskinematik



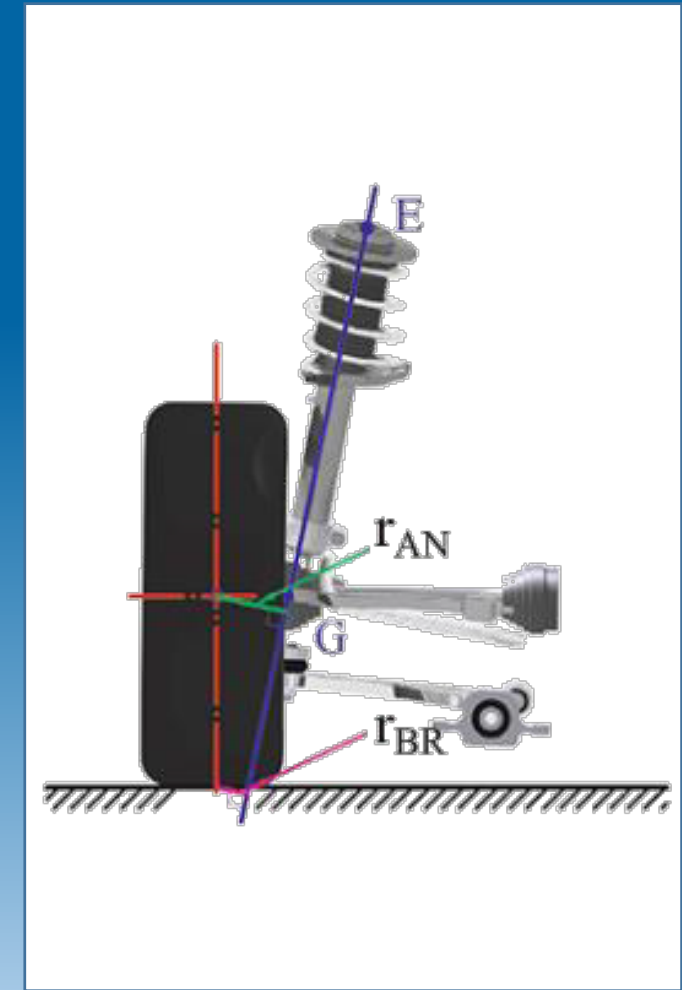
Auslegung

- Allgemeines zur Kinematik
- **Lenkkinematik**
 - Lenkachse
 - Spreizung
 - Lenkrollradius
 - Nachlauf
 - Störkrafthebelarm
- Radhubkinematik
 - Spur
 - Sturz
- Momentanpole
 - Wankpol, Wankachse
 - Längspol, Schrägfederung, Stützwinkel
- Kinbench – Kennwerte (Messung/Simulation)

Quelle: Fahrwerkhandbuch [1]

Kenngrößen der Lenkkinematik

- Störkrafthebelarm beim Bremsen
 - der senkrechte Abstand vom Radaufstandspunkt zur Lenkachse
 - entspricht dem Lenkrollradius multipliziert mit dem cos des Nachlaufwinkels und des Spreizungswinkels
- Störkrafthebelarm beim Antreiben
 - der senkrechte Abstand vom Radaufstandspunkt zur Lenkachse
 - Beim Bremsen und Anfahren entstehende Längskräfte verursachen ein Drehmoment um die Lenkachse
 - Beeinflussung des Lenksystems
- Spurstangenweg
 - der Verschiebeweg, den die Zahnstange der Lenkung aus der 0-Position zurücklegt
 - positiv, wenn Bewegung nach links
 - negativ, wenn Bewegung nach rechts zeigt



Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

Achskinematik



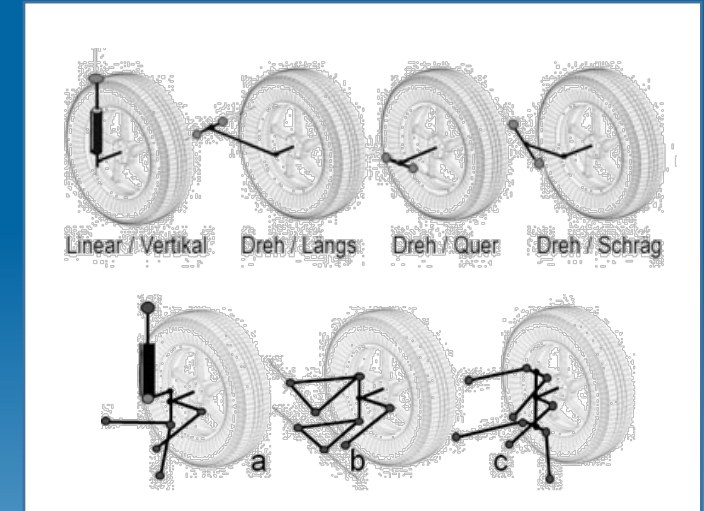
Auslegung

- Allgemeines zur Kinematik
- Lenkinematik
 - Lenkachse
 - Spreizung
 - Lenkrollradius
 - Nachlauf
 - Störkrafthebelarm
- **Radhubkinematik**
 - Spur
 - Sturz
- Momentanpole
 - Wankpol, Wankachse
 - Längspol, Schrägfederung, Stützwinkel
- Kinbench – Kennwerte (Messung/Simulation)

Quelle: Fahrwerkhandbuch [1]

Radhubkinematik

- Einfach geführte Radaufhängungen ohne Gelenk
 - Fest mit dem Radträger verbunden
 - Erfüllen nicht die vielseitigen Ansprüche eines heutigen Fahrwerks
- Gelenkig am Radträger angebrachte Radaufhängungen
 - Erhöhter Fahrkomfort und verbesserte Fahrdynamik
 - Steigerung des Effekts durch zusätzliche Radführungselemente
- Schräg angeordnete Drehachsen
 - Deutlich steigende Komplexität der Aufhängungen



Kenngrößen der Radhubkinematik

- Sturzwinkel, Schrägfederungswinkel, Rollzentrum, Vorspuränderung, Sturzänderung

Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

Achskinematik



Auslegung

- Allgemeines zur Kinematik
- Lenkinematik
 - Lenkachse
 - Spreizung
 - Lenkrollradius
 - Nachlauf
 - Störkrafthebelarm
- **Radhubkinematik**
 - **Spur**
 - Sturz
- Momentanpole
 - Wankpol, Wankachse
 - Längspol, Schrägfederung, Stützwinkel
- Kinbench – Kennwerte (Messung/Simulation)

Quelle: Fahrwerkhandbuch [1]

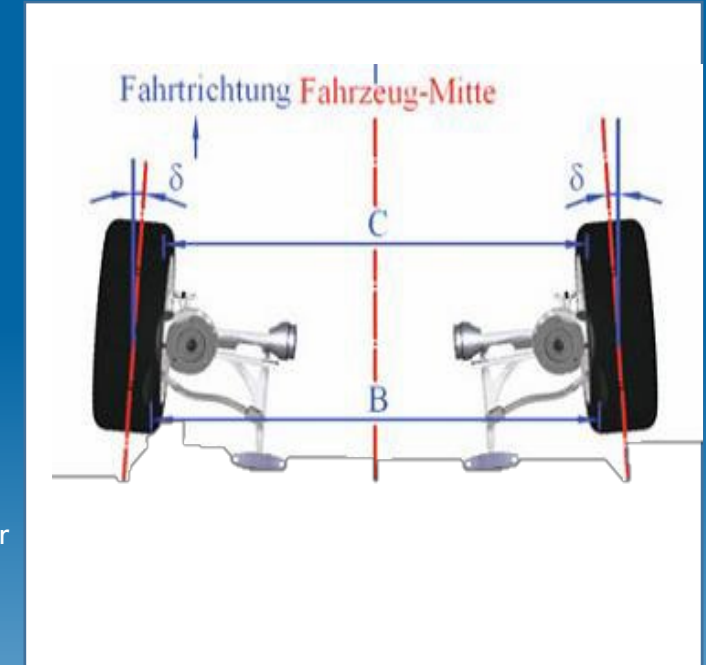
Kenngrößen der Radhubkinematik

■ Radhub

- Δs des Radaufstandspunktes zur Konstruktionslage
- Positiv beim Einfedern
- Negativ beim Ausfedern

■ **Spurwinkel**

- Differenzwinkel zwischen den Schnittlinien der Radmittelebenen beider Räder mit der auf die Räder projizierten x-z Ebene
- Vorspur: Differenz der Abstände der Felgenhörner hinter und vor den Rädern einer Achse, wenn der Abstand vorn kleiner ist als der Abstand hinten
- Nachspur: Abstand der Felgenhörner vor der Achse größer als der Abstand hinter der Achse
- Die Spur beeinflusst die Geradeausfahrt, das Kurvenverhalten und die Fahrwerkabstimmung



Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

Achskinematik



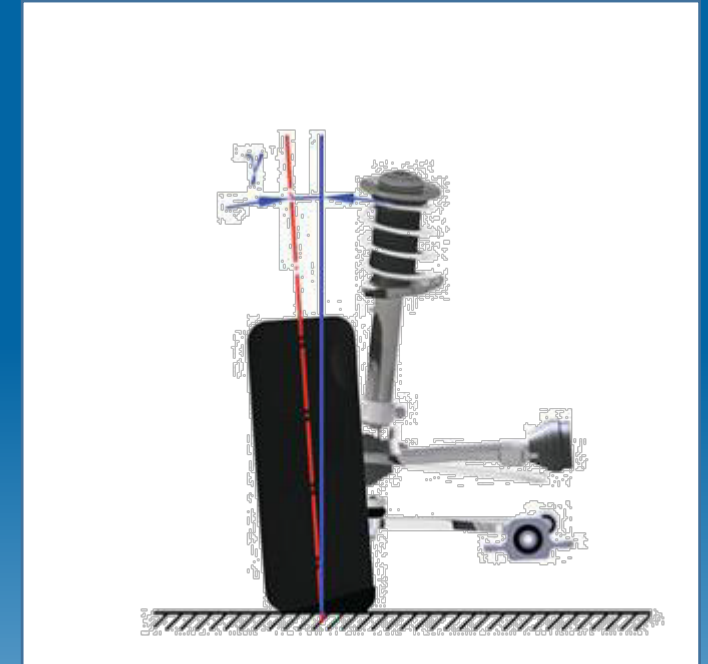
Auslegung

- Allgemeines zur Kinematik
- Lenkinematik
 - Lenkachse
 - Spreizung
 - Lenkrollradius
 - Nachlauf
 - Störkrafthebelarm
- **Radhubkinematik**
 - **Spur**
 - **Sturz**
- Momentanpole
 - Wankpol, Wankachse
 - Längspol, Schrägfederung, Stützwinkel
- Kinbench – Kennwerte (Messung/Simulation)

Kenngrößen der Radhubkinematik

■ Sturz

- Der Winkel zwischen Radmittel- und z-x Ebene
- Der Sturz beeinflusst den Seitenkraftaufbau und damit die Querdynamik
- Positiv wenn das Rad nach außen geneigt ist
- Negativ wenn das Rad nach innen geneigt ist
- Ein negativer Sturz am Kurvenaußenrad erzeugt Sturzseitenkräfte, die die Querverführung der Achse verbessern
- Für gute Seitenkraftübertragung sollte das Rad auch unter Seitenkraft nie in positiven Sturz gehen
- Ein größerer Sturzwinkel verursacht Reifenverschleiß und höheren Rollwiderstand
- Die vorgegebenen Werte für Spur und Sturz müssen vermessen und eingestellt werden (<https://www.youtube.com/watch?v=EK1wjCeZzMY>, https://www.youtube.com/watch?v=QiVAEE-fgnk&list=PLjjR6PDaXvawJoVXjrlUegogabf_ciC_i&index=3)



Quelle: Fahrwerkhandbuch [1]

Quelle: Fahrwerkhandbuch [1]

Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

Achskinematik



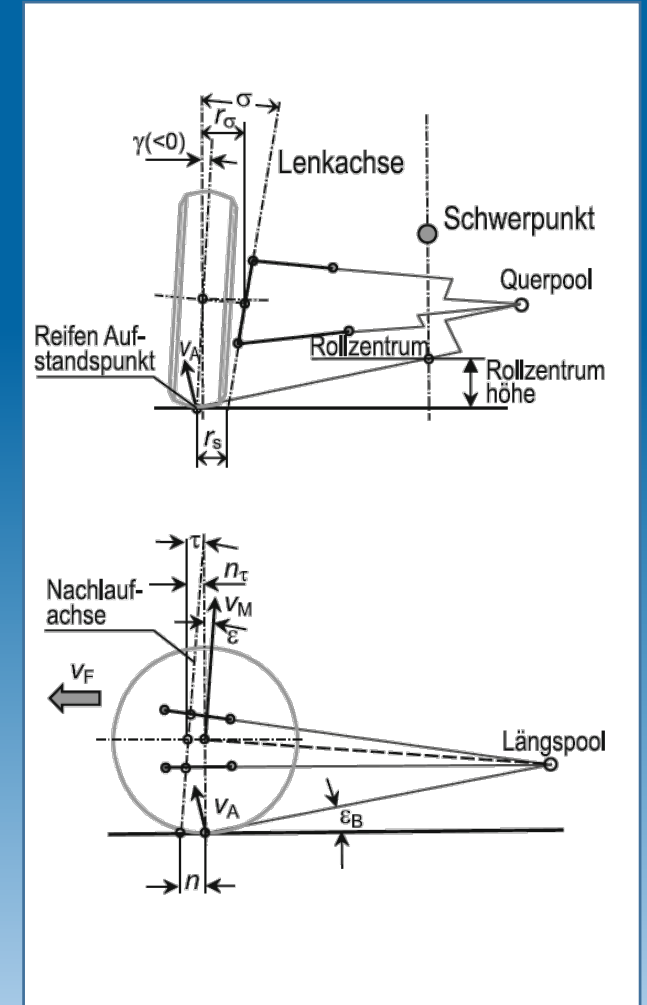
Auslegung

- Allgemeines zur Kinematik
- Lenkinematik
 - Lenkachse
 - Spreizung
 - Lenkrollradius
 - Nachlauf
 - Störkrafthebelarm
- Radhubkinematik
 - Spur
 - Sturz
- **Momentanpole**
 - Wankpol, Wankachse
 - Längspol, Schrägfederung, Stützwinkel
- Kinbench – Kennwerte (Messung/Simulation)

Quelle: Fahrwerkhandbuch [1]

Momentanpole der Radaufhängung

- Reduktion der komplexen räumlichen Bewegung auf 2 Ebenen.
- Starre Körper einer kinematischen Kette besitzen während ihrer Bewegung einen momentanen räumlichen Punkt, der sich nicht bewegt ($v = 0$).
 - Der Körper dreht sich um diesen Punkt mit der Drehgeschwindigkeit ω .
 - Dieser Punkt wird Momentanpol genannt.
 - Somit lassen sich nun Bewegungsrichtung, Geschwindigkeit und Querbeschleunigung eines jeden Punktes auf dem Bauteil berechnen.



Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

Achskinematik



Auslegung

- Allgemeines zur Kinematik
- Lenkinematik
 - Lenkachse
 - Spreizung
 - Lenkrollradius
 - Nachlauf
 - Störkrafthebelarm
- Radhubkinematik
 - Spur
 - Sturz
- **Momentanpole**
 - **Wankpol, Wankachse**
 - Längspol, Schrägfederung, Stützwinkel
- Kinbench – Kennwerte (Messung/Simulation)

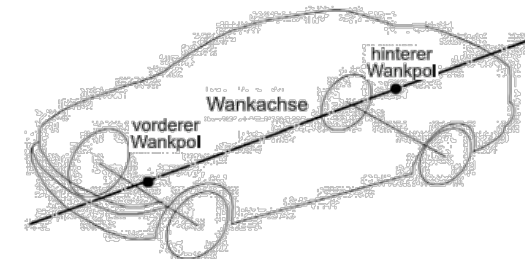
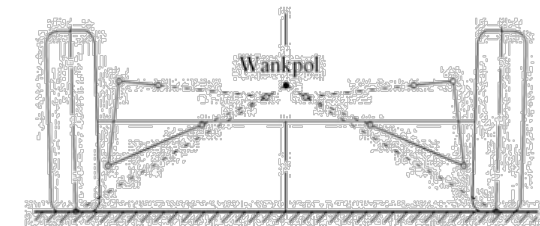
Quelle: Fahrwerkhandbuch [1]

Wankpol

- Momentaner Drehpunkt des Aufbaus in einer Achsebene um den sich der Aufbau bei Wankbewegungen neigt.
- Hoher Wankpol
 - Aufbau wankt weniger, da Hebelarm zum Schwerpunkt gering ist
- Tiefer Wankpol
 - Geringe Spurweiten und Sturzänderung

Wankachse

- Die Verbindungslinie der vorderen und hinteren Wankpole.
- Der Aufbau wankt um diese Achse, wenn an dem Schwerpunkt Seitenkräfte eingeleitet werden.



Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

Achskinematik

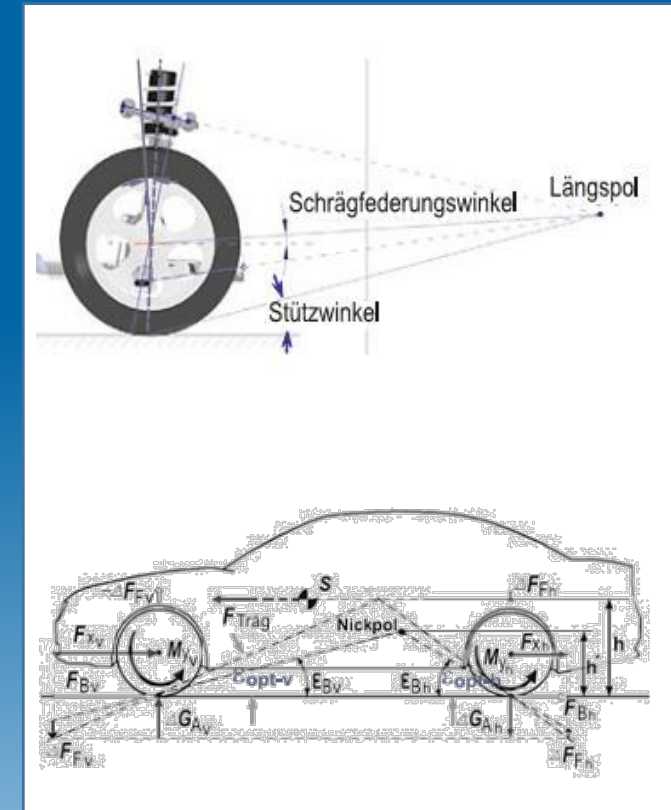


Auslegung

- Allgemeines zur Kinematik
- Lenkinematik
 - Lenkachse
 - Spreizung
 - Lenkrollradius
 - Nachlauf
 - Störkrafthebelarm
- Radhubkinematik
 - Spur
 - Sturz
- **Momentanpole**
 - Wankpol, Wankachse
 - Längspol, Schrägfederung, Stützwinkel
- Kinbench – Kennwerte (Messung/Simulation)

Quelle: Fahrwerkhandbuch [1]

- Schrägfederung
 - Winkel auf der x-z-Ebene zwischen der Bewegungsrichtung des Radmittelpunktes beim Federn und der z-Achse
- Bremsnickausgleich
 - Anteil der Abstützung der beim Bremsen entstehenden Nickmomente durch die Lenker der Radaufhängung
 - Verbleibender Anteil wird durch die Federung aufgefangen (vordere Federn werden belastet und die hinteren entlastet)
 - Der Federkraftdifferenz mal dem Radstand entspricht das unabgestützte Bremsnickmoment
- Hoher Bremsnickausgleich
 - Fahrzeugaufbau nickt beim Bremsen weniger
 - 60 bis 80 % typische Werte in der Konstruktionslage



Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

Achskinematik



Auslegung

- Allgemeines zur Kinematik
- Lenkkinematik
 - Lenkachse
 - Spreizung
 - Lenkrollradius
 - Nachlauf
 - Störkrafthebelarm
- Radhubkinematik
 - Spur
 - Sturz
- **Momentanpole**
 - Wankpol, Wankachse
 - Längspol, Schrägfederung, Stützwinkel
- Kinbench – Kennwerte (Messung/Simulation)

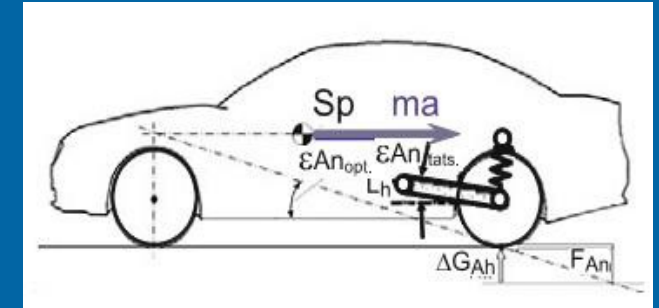
Quelle: Fahrwerkhandbuch [1]

■ Anfahrnickausgleich

- Anteil der Abstützung der beim Beschleunigen entstehenden Nickmomente durch die Lenker
Den verbleibenden Anteil fängt die Federung auf (das Fahrzeug nickt nach hinten)

■ Hoher Anfahrnickausgleich

- Fahrzeug nickt beim Anfahren weniger



Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

Achskinematik



Auslegung

- Allgemeines zur Kinematik
- Lenkinematik
 - Lenkachse
 - Spreizung
 - Lenkrollradius
 - Nachlauf
 - Störkrafthebelarm
- Radhubkinematik
 - Spur
 - Sturz
- Momentanpole
 - Wankpol, Wankachse
 - Längspol, Schrägfederung, Stützwinkel
- **Kinbench – Kennwerte (Messung/Simulation)**

Kinbench - Kennwerte

- ☐ Zur Beurteilung einer Achskinematik wird ein sogenannten KnC (Kinematik and Compliance) Benchmark gemacht
- ☐ Neben der reinen kinematischen Größen (quasistatisches Federn) werden Größen der Lenkung und die Änderungen der Kinematik infolge von Krafteinwirkungen (Elastokinematik) ermittelt
- ☐ Darüber hinaus werden einfache fahrdynamische Ableitungen (Brems- und Anfahrnicken, Wanken, Gierverstärkung) gemacht
- ☐ Die Ermittlung kann auf dem Prüfstand oder Vollvirtuell (MKS) erfolgen
- ☐ Aufbau Prüfstand/MKS Testrig
- ☐ Wesentliche Meßgrößen
- ☐ Beispielbenchmarks



Komponenten

- Aktuator - Sensor
- Radsensoren
- Fahrzeugklemmen
- Lenkmaschine
- Echtzeit-Regelung
- Programmierrechner
- Analysesoftware

Quelle: Fahrwerkhandbuch [1]

Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

Achskinematik



Auslegung

- Allgemeines zur Kinematik
- Lenkinematik
 - Lenkachse
 - Spreizung
 - Lenkrollradius
 - Nachlauf
 - Störkrafthebelarm
- Radhubkinematik
 - Spur
 - Sturz
- Momentanpole
 - Wankpol, Wankachse
 - Längspol, Schrägfederung, Stützwinkel
- **Kinbench – Kennwerte (Messung/Simulation)**

Kinbench - Kennwerte

- ☐ Zur Beurteilung einer Achskinematik wird ein sogenannten KnC (Kinematik and Compliance) Benchmark gemacht
- ☐ Neben der reinen kinematischen Größen (quasistatisches Federn) werden Größen der Lenkung und die Änderungen der Kinematik infolge von Krafteinwirkungen (Elastokinematik) ermittelt
- ☐ Darüber hinaus werden einfache fahrdynamische Ableitungen (Brems- und Anfahrnicken, Wanken, Gierverstärkung) gemacht
- ☐ Die Ermittlung kann auf dem Prüfstand oder Vollvirtuell (MKS) erfolgen
- ☐ Aufbau Prüfstand/MKS Testrig
- ☐ **Wesentliche Meßgrößen**
- ☐ Beispielbenchmarks



Komponenten

- Aktuator - Sensor
- Radsensoren
- Fahrzeugklemmen
- Lenkmaschine
- Echtzeit-Regelung
- Programmierrechner
- Analysesoftware

Quelle: Fahrwerkhandbuch [1]

Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

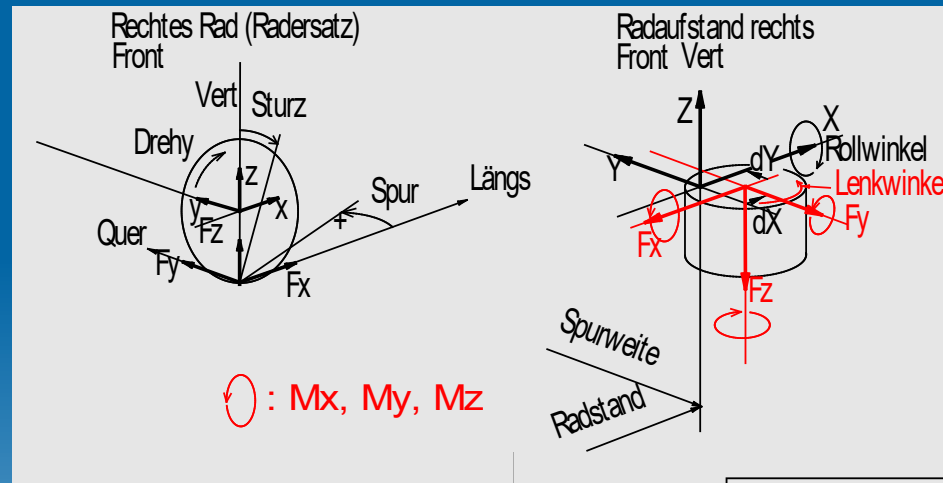
Achskinematik



Auslegung

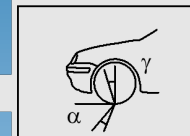
- Allgemeines zur Kinematik
- Lenkkinematik
 - Lenkachse
 - Spreizung
 - Lenkrollradius
 - Nachlauf
 - Störkrafthebelarm
- Radhubkinematik
 - Spur
 - Sturz
- Momentanpole
 - Wankpol, Wankachse
 - Längspol, Schrägfederung, Stützwinkel
- **Kinbench – Kennwerte
(Messung/Simulation)**

Kinbench – Kennwerte – Wesentliche Meßgrößen

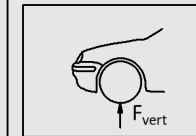


EXACTA

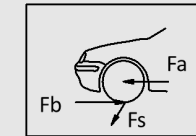
Messungen auf dem Achskinematikmeßstand



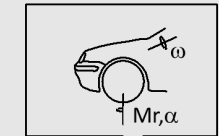
Statik



Kinematik



Elasto-
kinematik



Lenkungs-
messungen

Quelle: Fahrwerkhandbuch [1]

Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

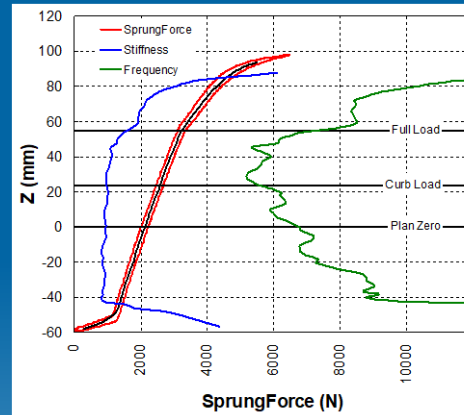
Achskinematik



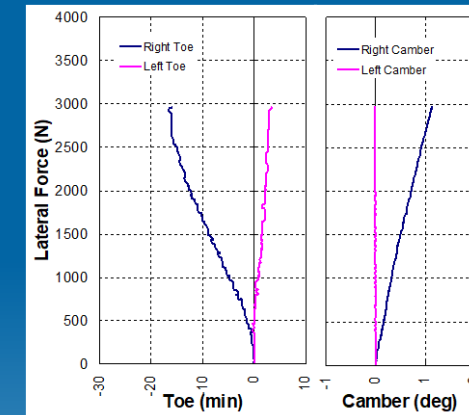
Auslegung

- Allgemeines zur Kinematik
- Lenkinematik
 - Lenkachse
 - Spreizung
 - Lenkrollradius
 - Nachlauf
 - Störkrafthebelarm
- Radhubkinematik
 - Spur
 - Sturz
- Momentanpole
 - Wankpol, Wankachse
 - Längspol, Schrägfederung, Stützwinkel
- **Kinbench – Kennwerte (Messung/Simulation)**

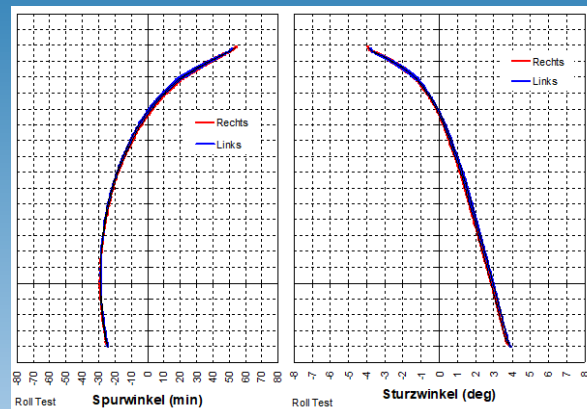
Kinbench – Kennwerte – Wesentliche Diagramme



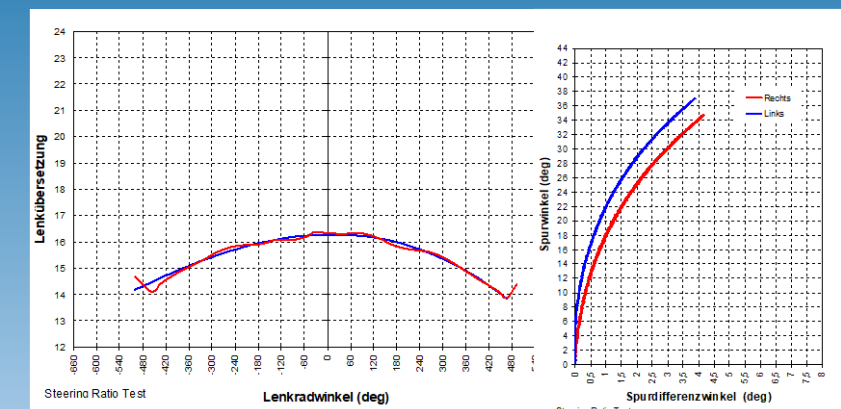
Radlastkurve



Spur und Sturz unter Seitenkraft



Spur und Sturz beim Federn



Lenkübersetzung und Spurdifferenzwinkel

Quelle: Fahrwerkhandbuch [1]

Quelle: Fahrwerkhandbuch [1]

Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

Achskinematik



Auslegung

- Allgemeines zur Kinematik
- Lenkinematik
 - Lenkachse
 - Spreizung
 - Lenkrollradius
 - Nachlauf
 - Störkrafthebelarm
- Radhubkinematik
 - Spur
 - Sturz
- Momentanpole
 - Wankpol, Wankachse
 - Längspol, Schrägfederung, Stützwinkel
- **Kinbench – Kennwerte (Messung/Simulation)**

Kinbench - Kennwerte

- ☐ Zur Beurteilung einer Achskinematik wird ein sogenannten KnC (Kinematik and Compliance) Benchmark gemacht
- ☐ Neben der reinen kinematischen Größen (quasistatisches Federn) werden Größen der Lenkung und die Änderungen der Kinematik infolge von Kräfteinwirkungen (Elastokinematik) ermittelt
- ☐ Darüber hinaus werden einfache fahrdynamische Ableitungen (Brems- und Anfahrnicken, Wanken, Gierverstärkung) gemacht
- ☐ Die Ermittlung kann auf dem Prüfstand oder Vollvirtuell (MKS) erfolgen
- ☐ Aufbau Prüfstand/MKS Testrig
- ☐ Wesentliche Meßgrößen
- ☐ **Beispielbenchmark Tesla**



Komponenten

- Aktuator - Sensor
- Radsensoren
- Fahrzeugklemmen
- Lenkmaschine
- Echtzeit-Regelung
- Programmierrechner
- Analysesoftware

Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

Achskinematik



Auslegung

- Allgemeines zur Kinematik
- Lenkkinematik
 - Lenkachse
 - Spreizung
 - Lenkrollradius
 - Nachlauf
 - Störkrafthebelarm
- Radhubkinematik
 - Spur
 - Sturz
- Momentanpole
 - Wankpol, Wankachse
 - Längspol, Schrägfederung, Stützwinkel
- Kinbench – Kennwerte (Messung/Simulation)

[illegible]

1) Vergleich VE-Fahrzeuge

2) Vergleich E-Fahrzeuge

KnC-Bericht

Tesla Model 3



VW Neo IS1 (0017)
10.10.2017



Tesla Model 3
07.03.2018



Tesla Model S
28.05.2015



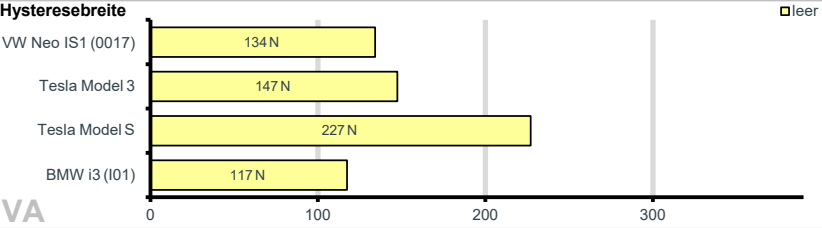
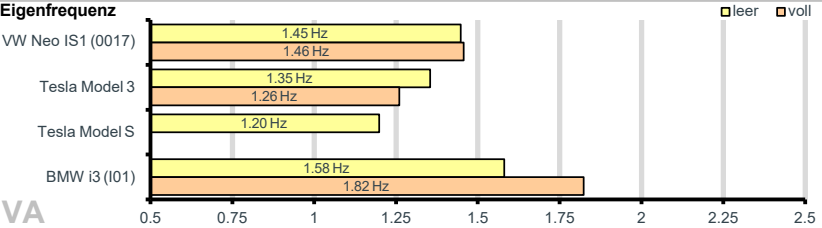
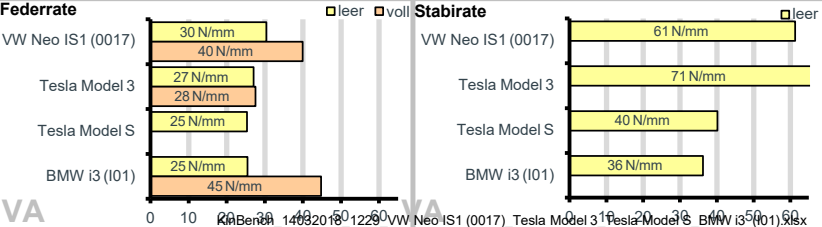
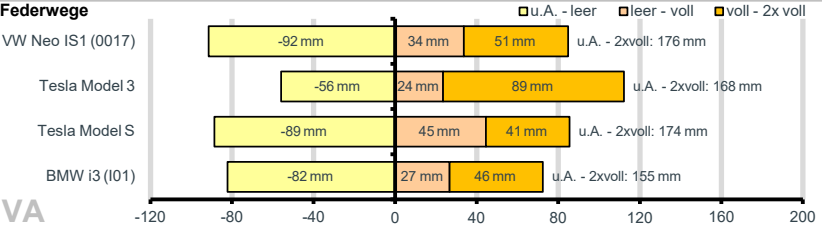
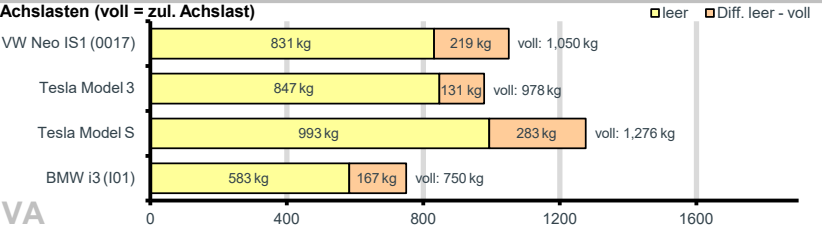
BMW i3 (I01)
23.01.2014

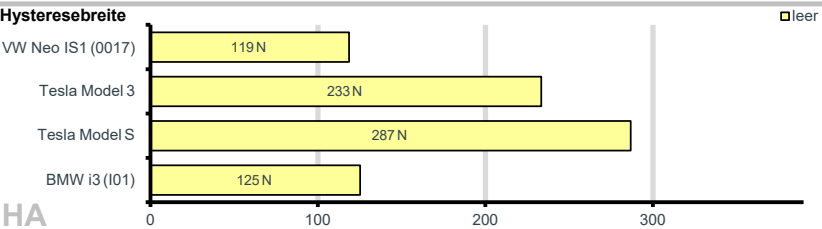
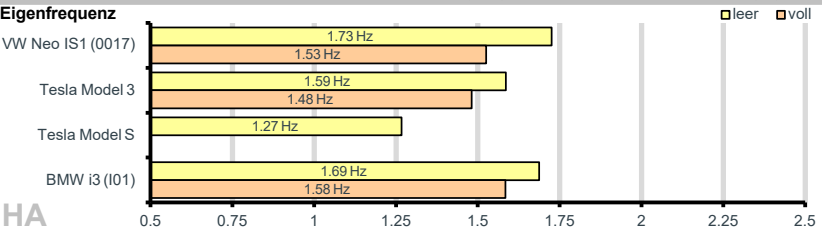
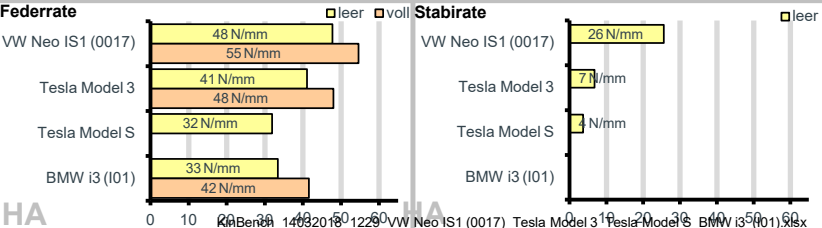
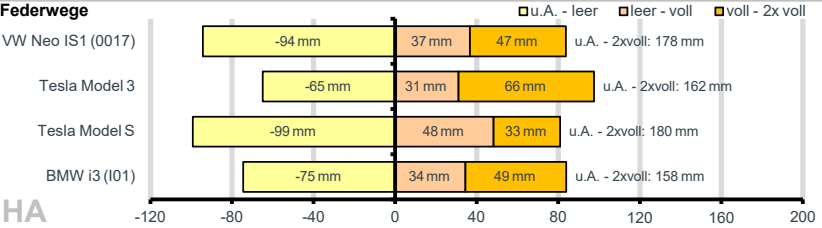
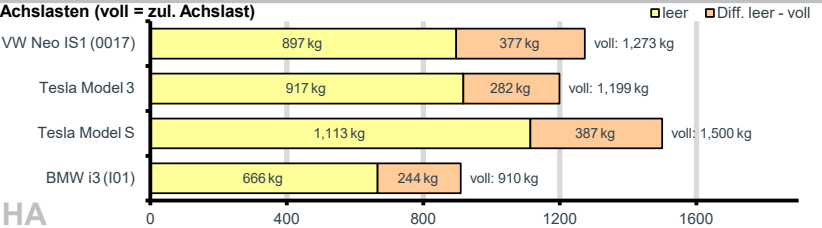


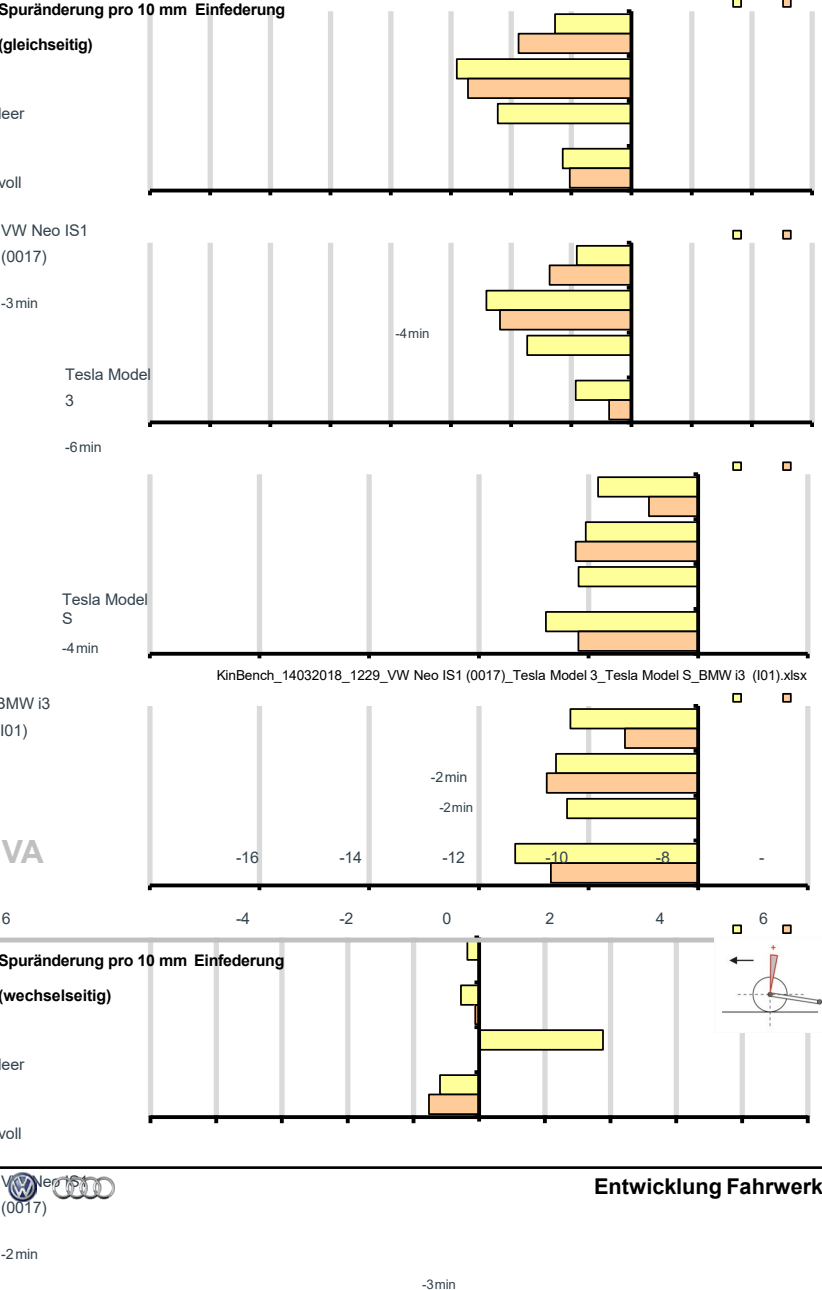
(Elasto-)Kinematik-Benchmark

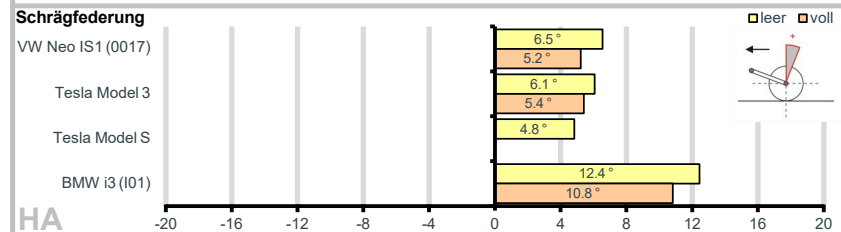
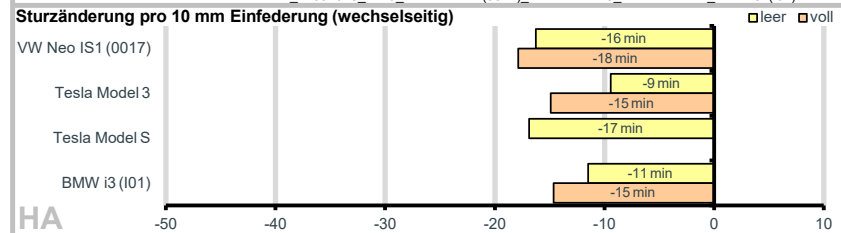
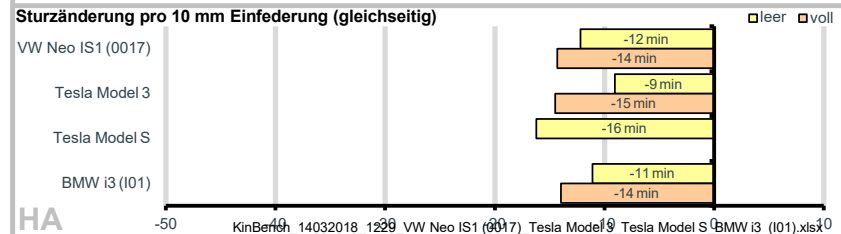
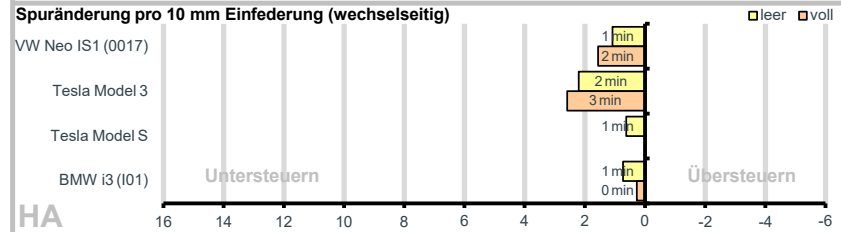
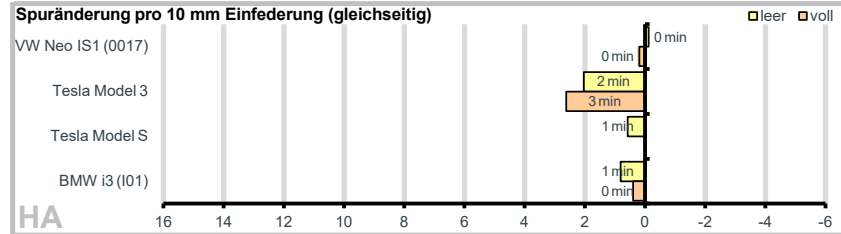
Kurzprotokoll

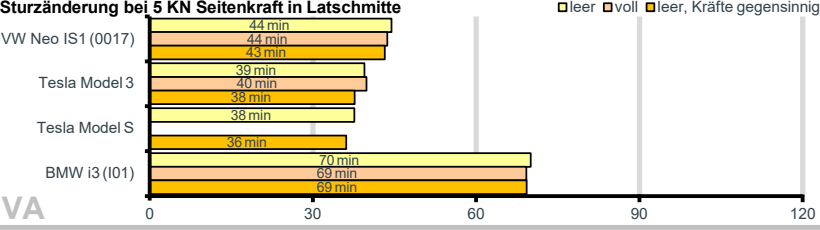
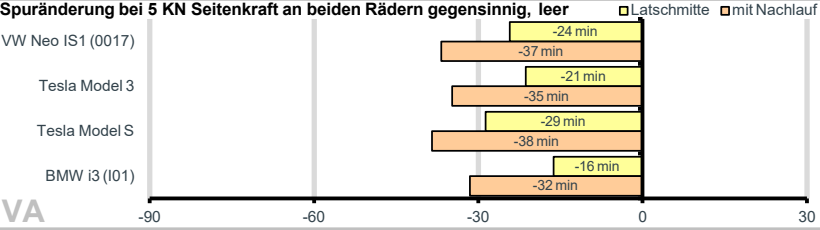
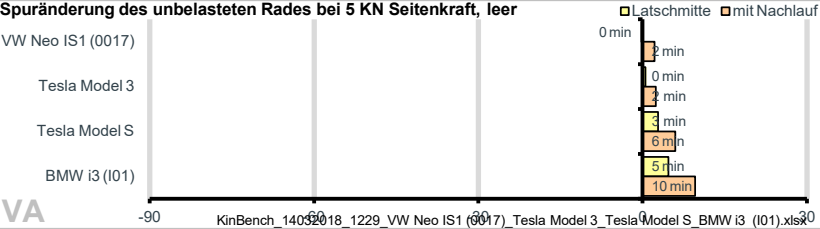
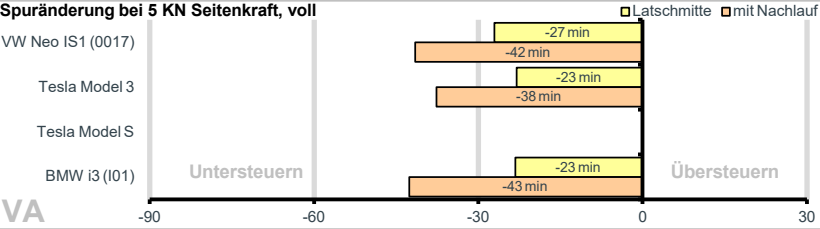
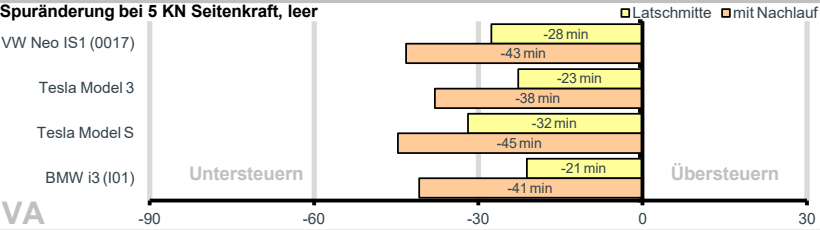
Daten					
Messung	Hersteller	Volkswagen	Tesla	Tesla	BMW
	Modell	Neo	Model 3	Model S	i3
	Modelljahr	2017	2018	2015	2014
	Leistung kW	0	192	310	60
	Fahrzeugklasse	A	A	C	A
	Kennzeichen			IN-E 3176	M-DJ 4125
	interne Nummer	MEB31X 00017			I01
	Datum der Messung	10.10.2017	07.03.2018	28.05.2015	23.01.2014
	Serie / Versuch	Versuch	Serie	Serie	Serie
	Fahrwerk	Normalfahrwerk	Normalfahrwerk	Normalfahrwerk	Normalfahrwerk
	Feder	Stahlfeder	Stahlfeder	Luftfeder	Stahlfeder
	Dämpfer	konventionell	konventionell	geregelt	konventionell
	Niveauregulierung	Ohne	ohne	Vollständig	Ohne
	Messstand	Mts Volkswagen	Mts Audi	Mts Audi	Mts Bmw
	Auftraggeber	Niemann, Hans-Henning (EFD/1)	Krome, Helmut (I/EF-3)	Krome, Helmut (I/EF-3)	Dudda, Karsten (EFD/4)
	Baustandskommentar	IS1	Long Range, 75 kWh	85kWh	BEV, ohne Range- Extender
	Name im Diagramm	VW Neo IS1 (0017)	Tesla Model 3	Tesla Model S	BMW i3 (I01)
Gesamt-fahrzeug	Antriebsart	Heck	Heck	Heck	Heck
	Radstand mm	2764	2875	2961	2570
	Leergewicht kg	1728	1764	2107	1248
	SP-Höhe (Schätzung) mm	KinBench_14032018_1229_VW Neo IS1 (0017)_Tesla Model 3_Tesla Model S_BMW i3 (I01).xlsx			559
	charakt. Geschwindigkeit km/h	146	143	128	145
	max. Gierverstärkung 1/s	0.46	0.58	0.43	0.57
	Wankstärke °/g	3.0	2.7	3.6	3.2
Vorder-achse	Spurweite mm	1537	1588	1645	1571
	Reifendimension	215/55 R18 99 V	235/45 R18	245/35 R21	155/70 R19
	Felgengröße	7,5x18 ET 51	8,5x18 ET 40	8,5x21 ET 40	5x19 ET 43
	stat. Reifenhalbmesser mm	321	311	334	327
	VA-Gewichtsanteil %	48.1	48.0	47.1	46.7
	Gesamtfederweg mm	176.3	168.0	174.1	154.7
	Aufbaueigenfrequenz Hz	1.46	1.39	1.24	1.61
	Momentanzentrumshöhe mm	96	110	106	109
	Lenkübersetzung	15.7	11.8	14.1	13.7
Hinter-achse	Spurweite mm	1503	1585	1675	1576
	Reifendimension	215/55 R18 99 V	235/45 R18	265/35 R21	155/70 R19
	Felgengröße  	7,5x18 ET 51	8,5x18 ET 40	8,5x21 ET 40	5x19 ET 43
	stat. Reifenhalbmesser mm	321	311	339	327
	Gesamtfederweg mm	177.9	162.5	180.2	158.4
	Aufbaueigenfrequenz Hz	1.79	1.67	1.36	1.73

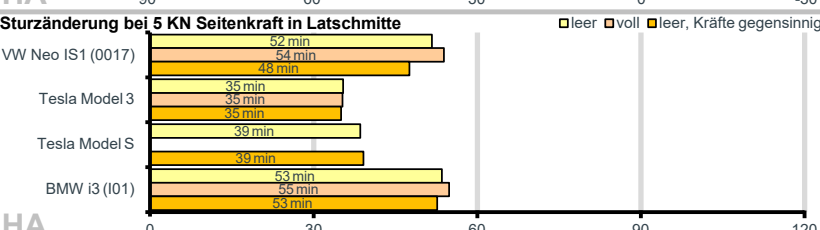
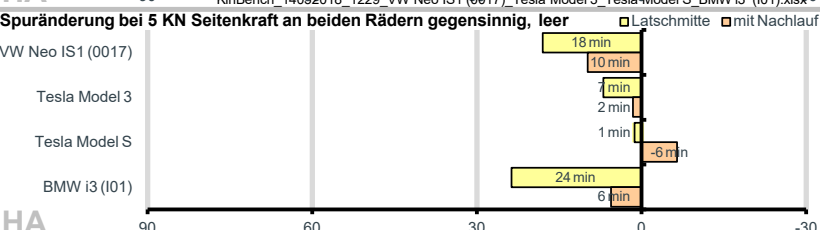
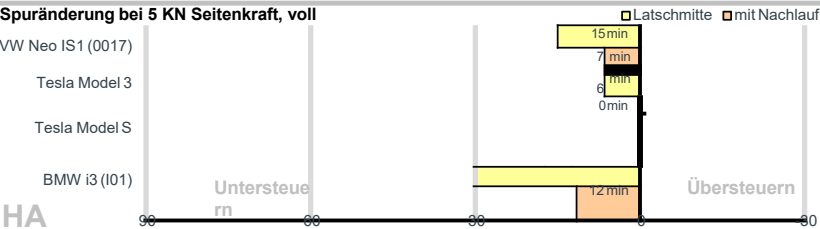
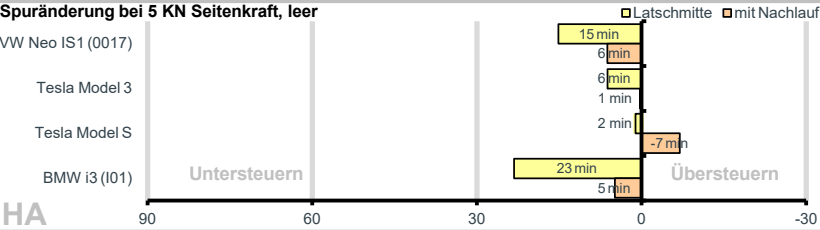


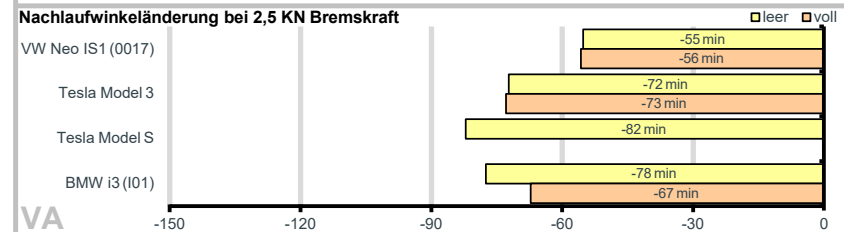
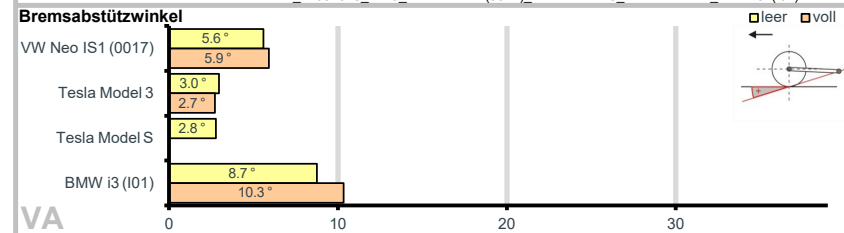
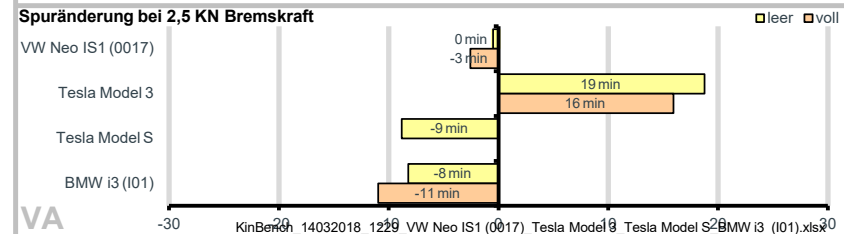
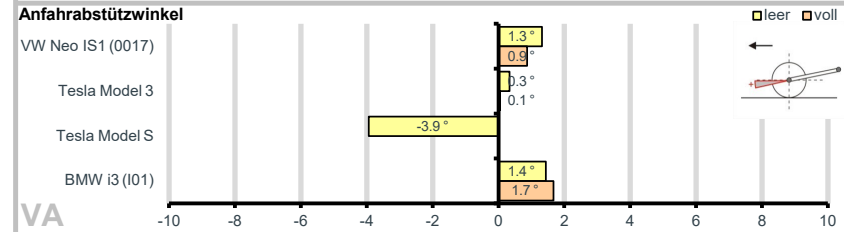
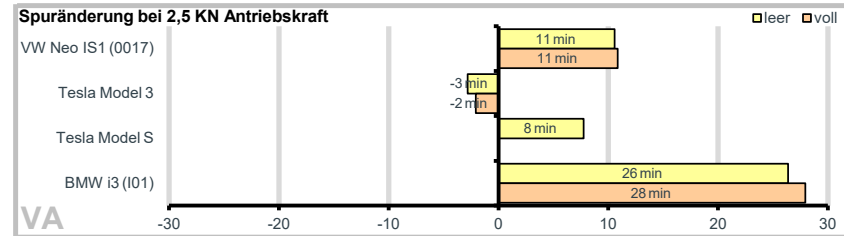




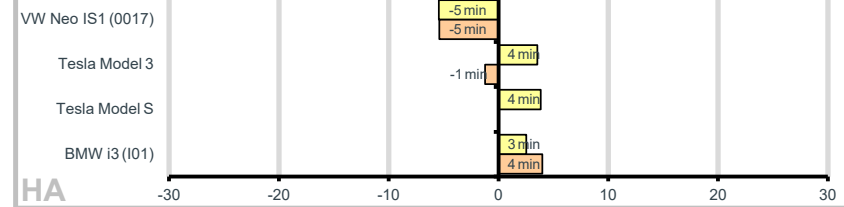




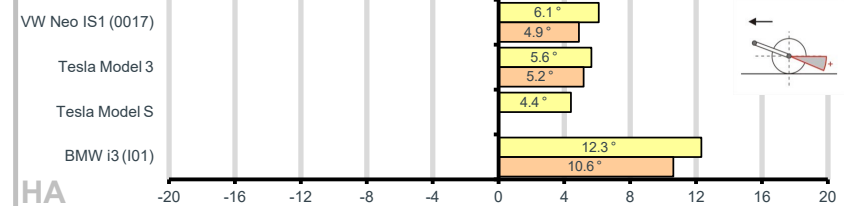




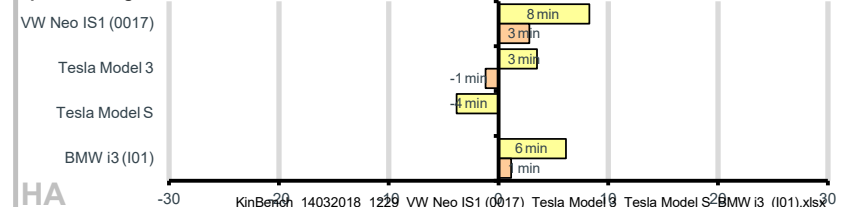
Spuränderung bei 2,5 KN Antriebskraft



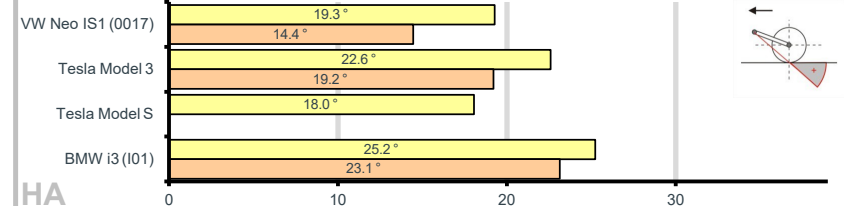
Anfahrabstützwinkel



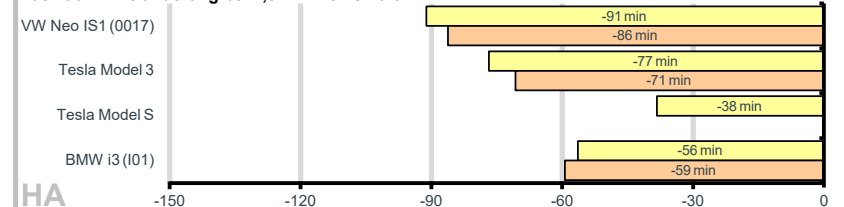
Spuränderung bei 2,5 KN Bremskraft

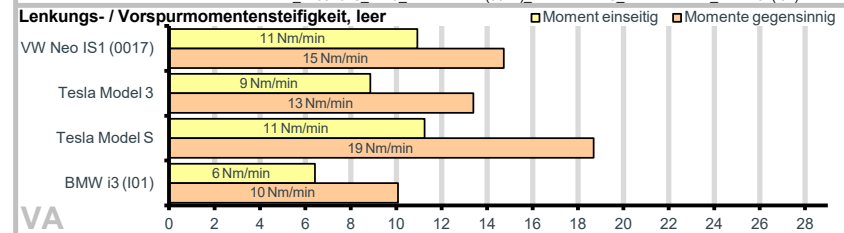
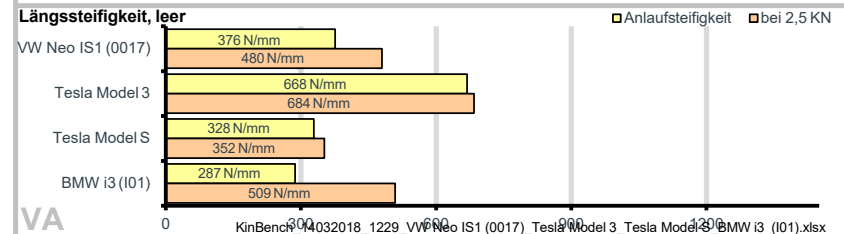
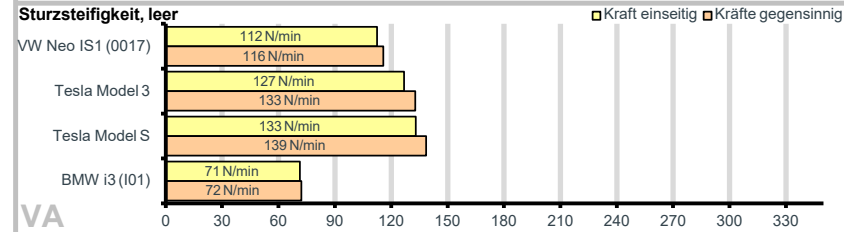
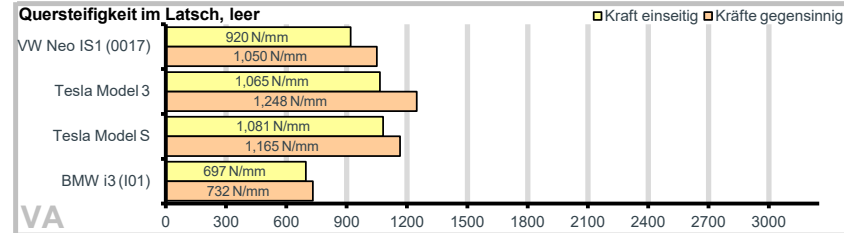


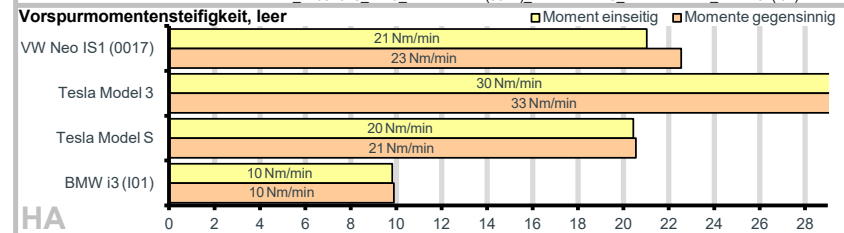
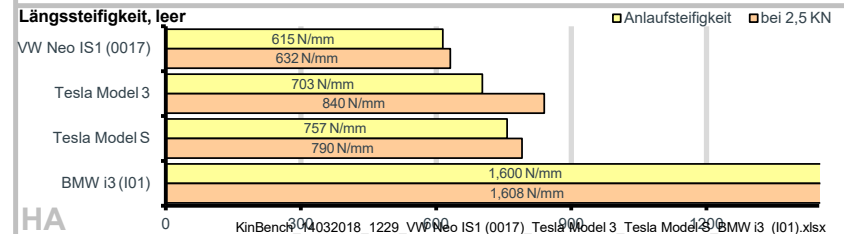
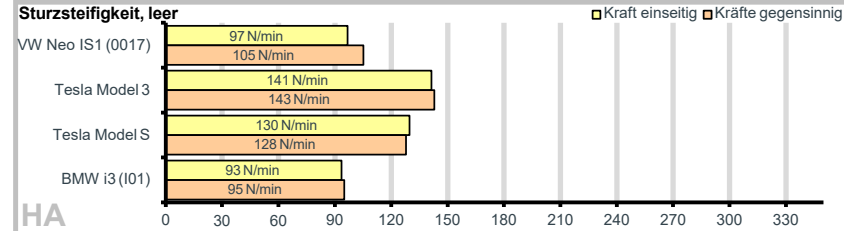
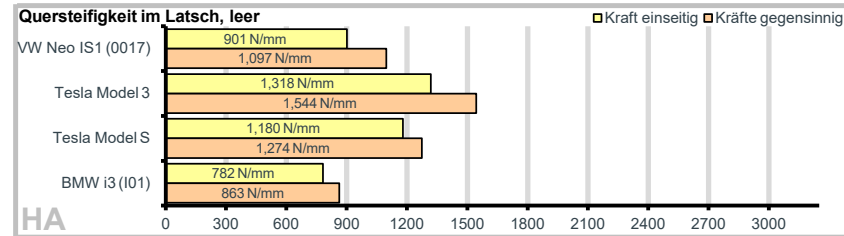
Bremsabstützwinkel



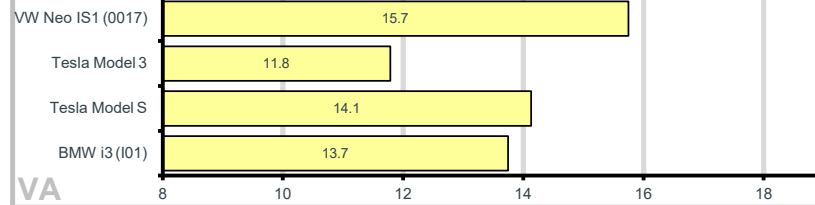
Nachlaufwinkeländerung bei 2,5 KN Bremskraft





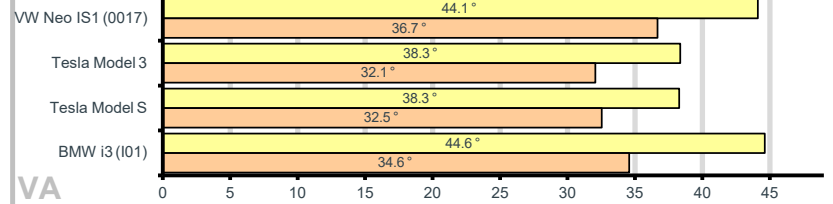


Lenkübersetzung bei Geradeausstellung



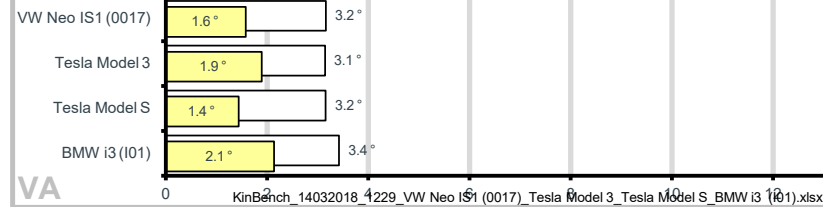
VA

max. Radeinschlag



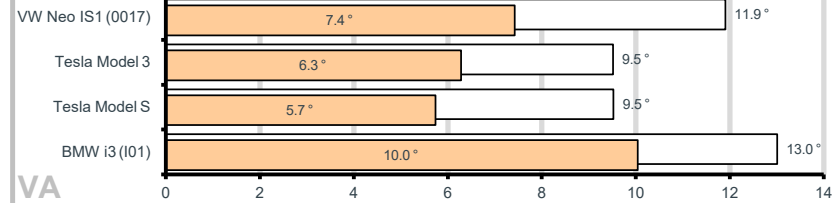
VA

Spurdifferenzwinkel bei 20° Radeinschlag innen



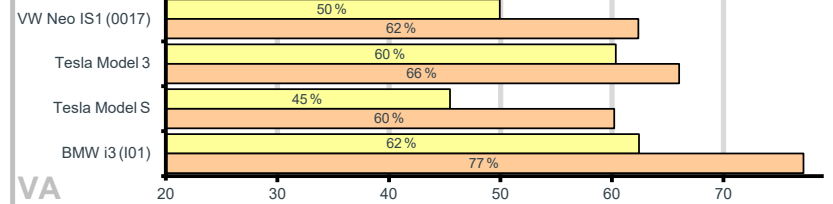
VA

Spurdifferenzwinkel bei Volleinschlag

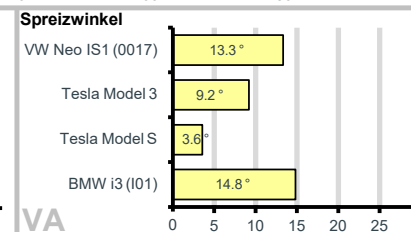
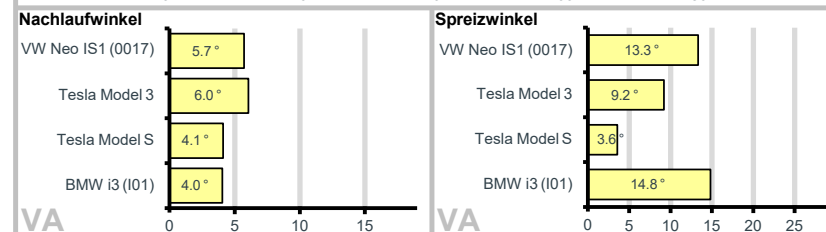
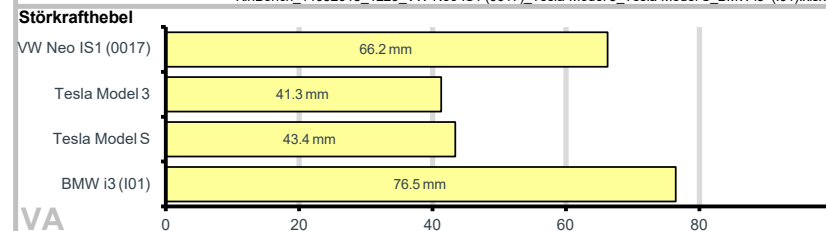
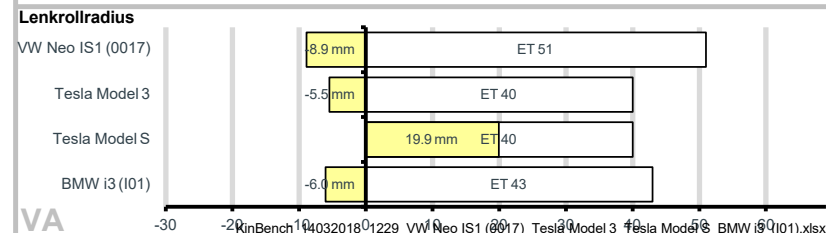
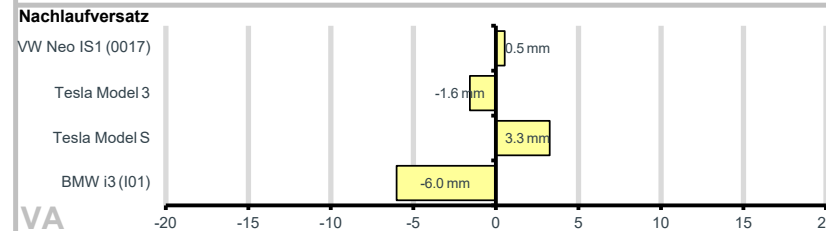
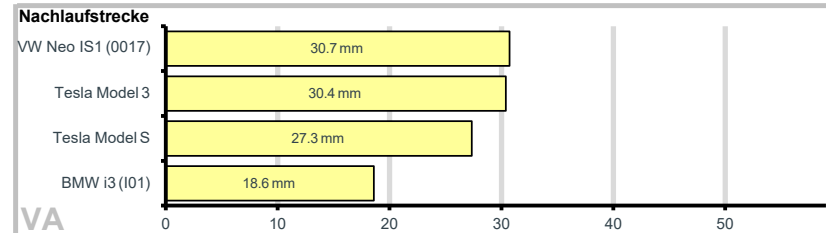


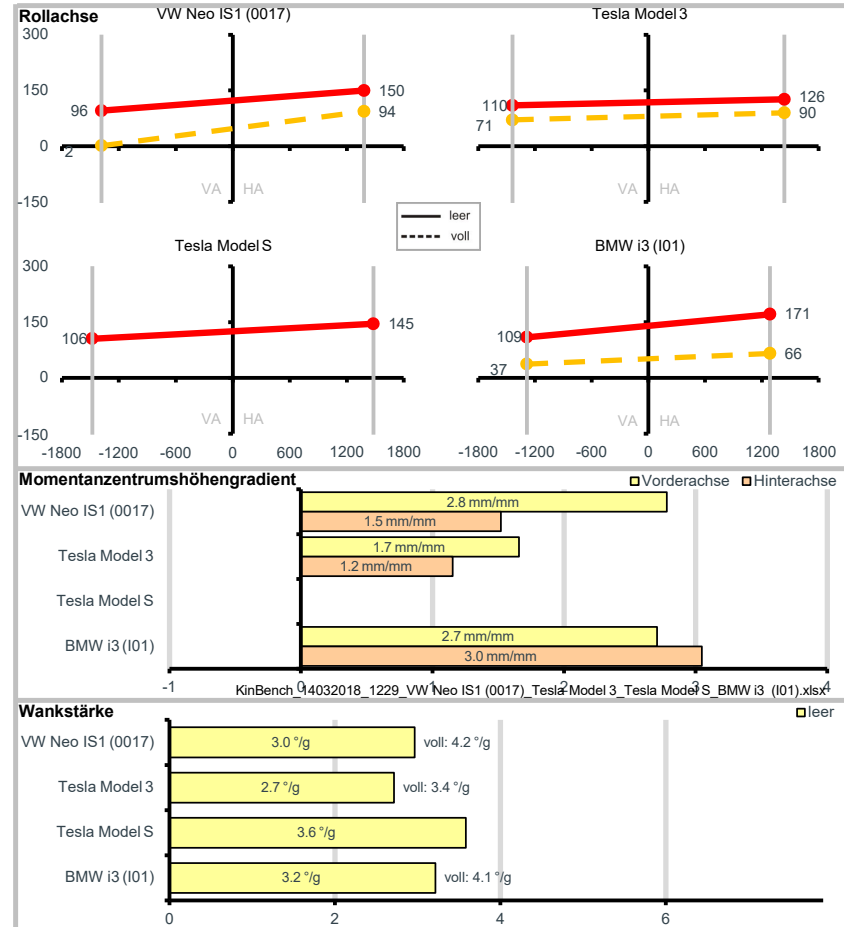
VA

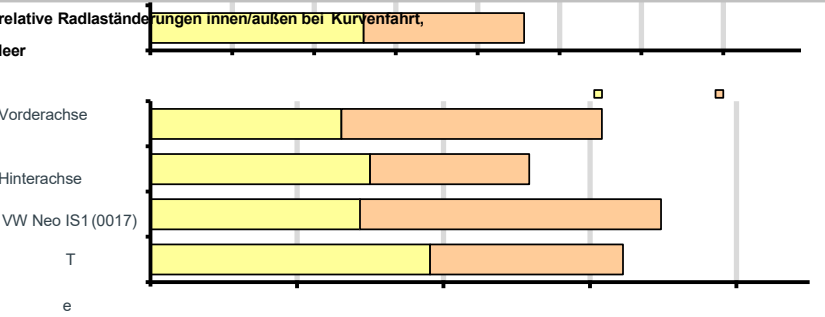
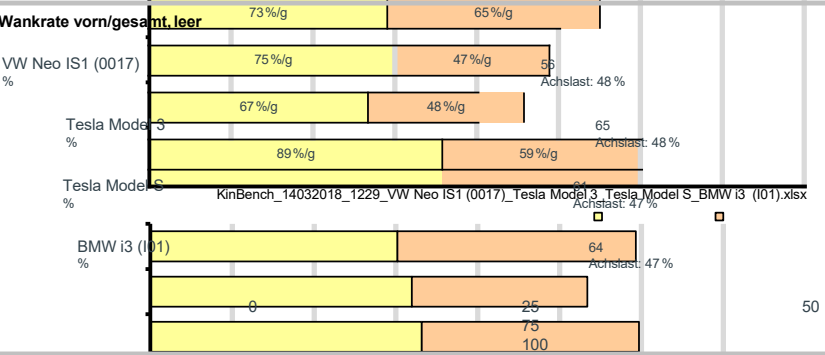
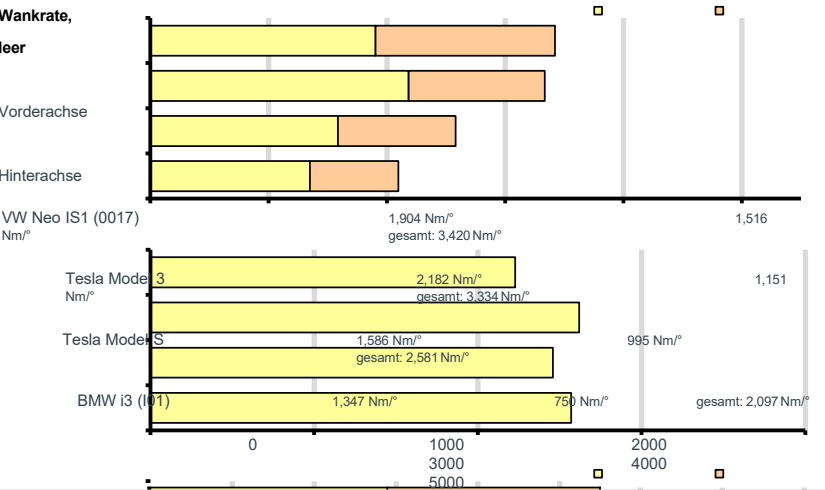
realer Spurdifferenzwinkel / Ackermann-Spurdifferenzwinkel

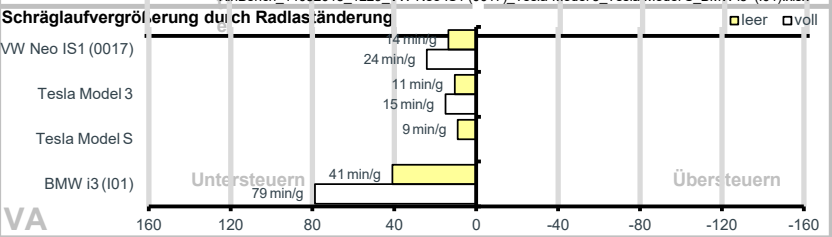
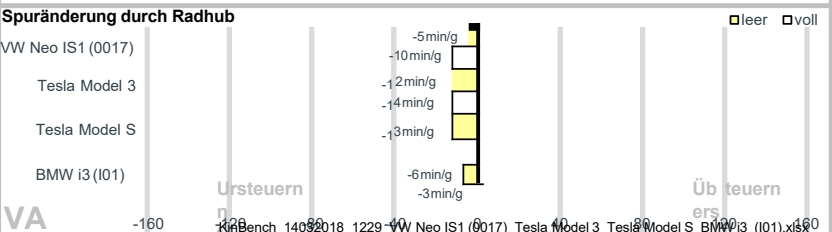
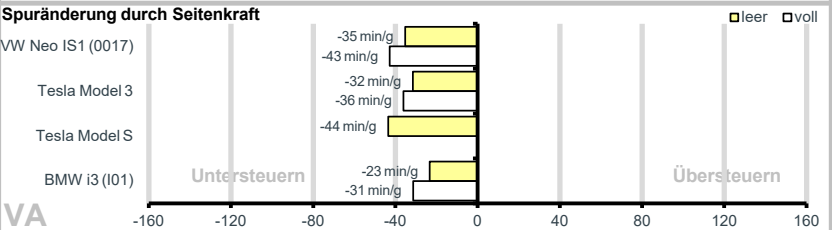
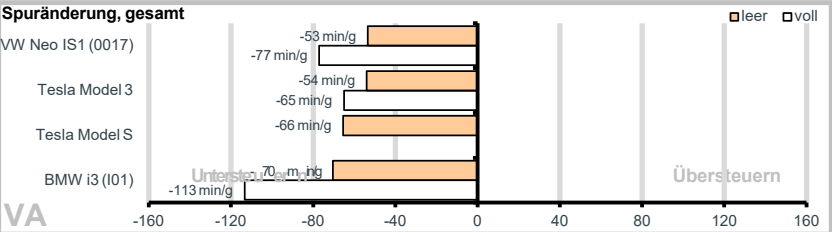


VA

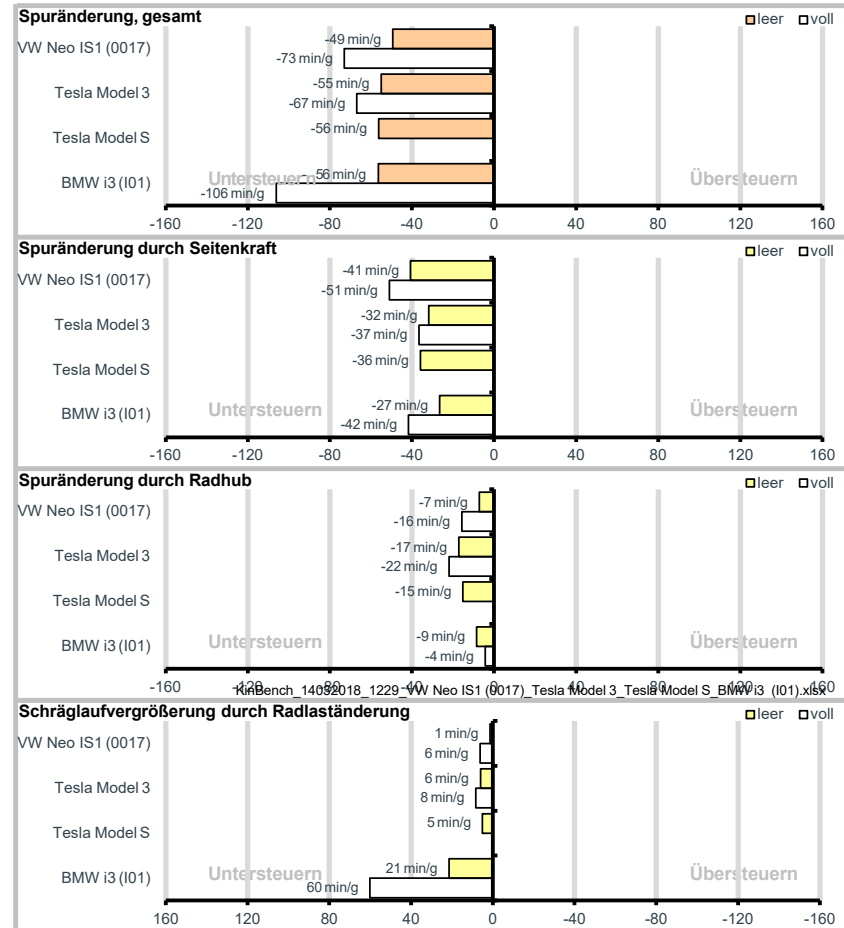


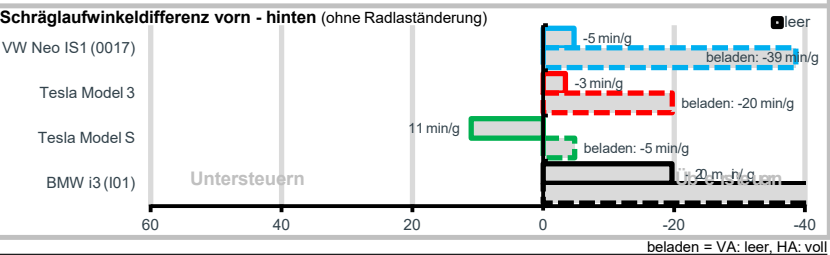
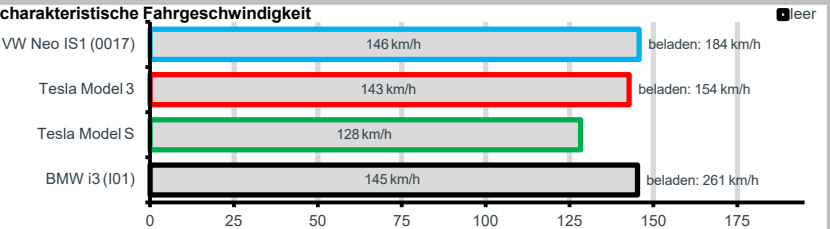
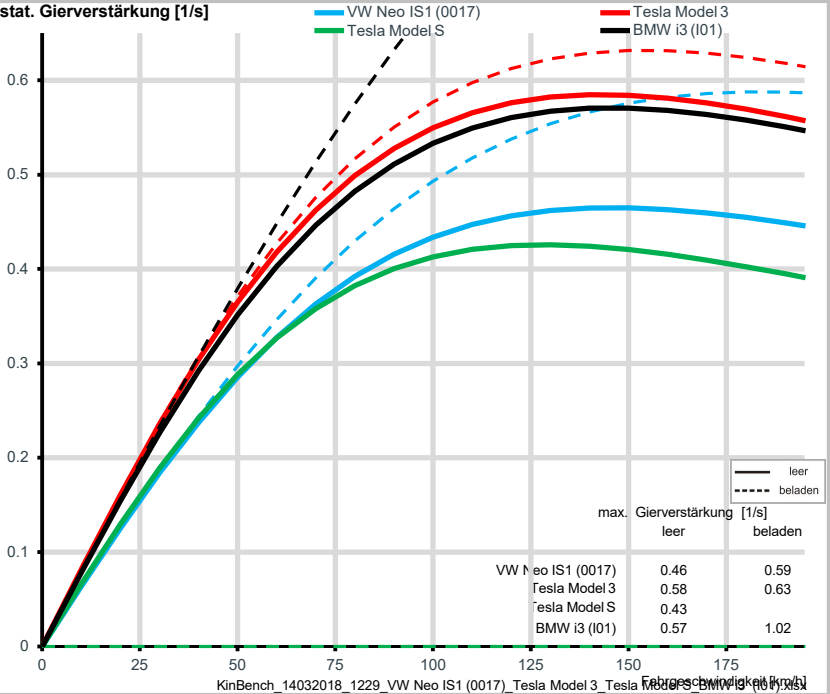


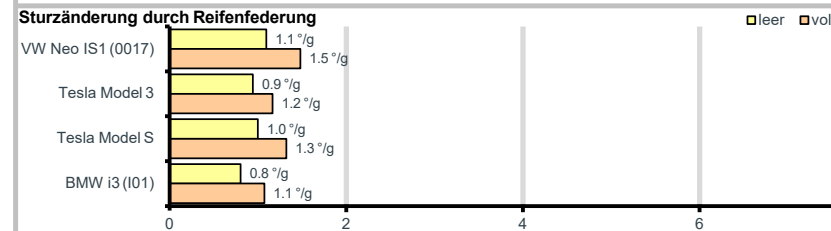
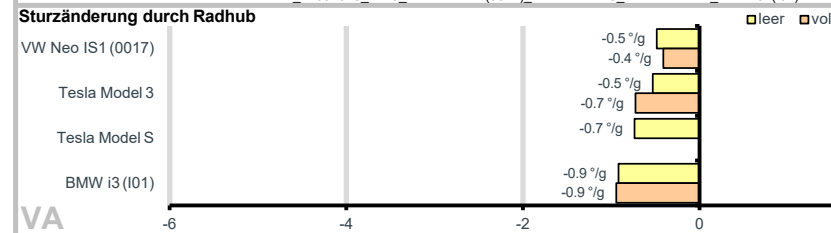
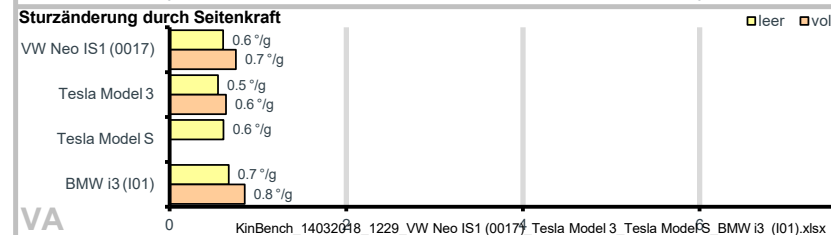
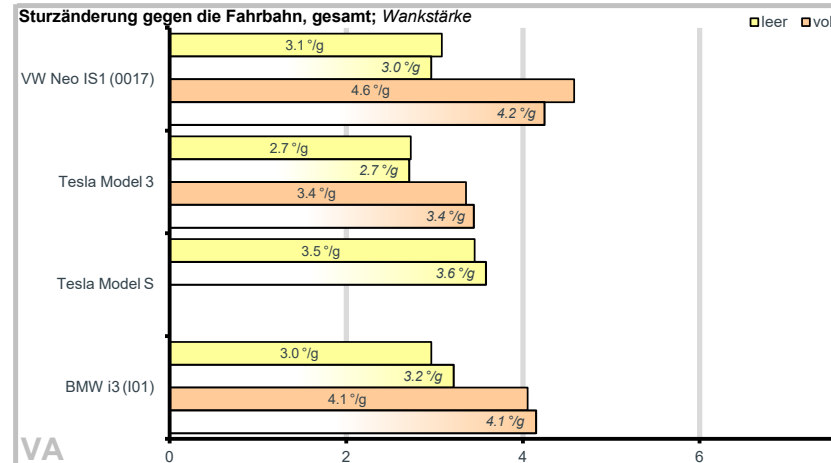


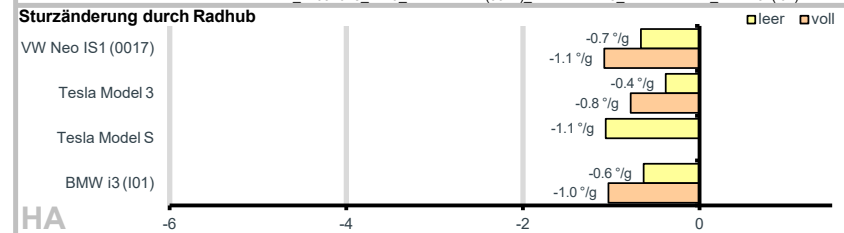
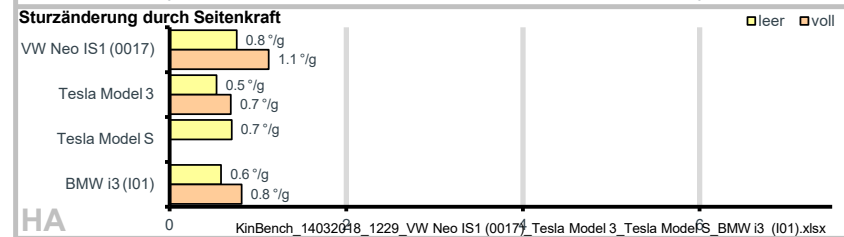
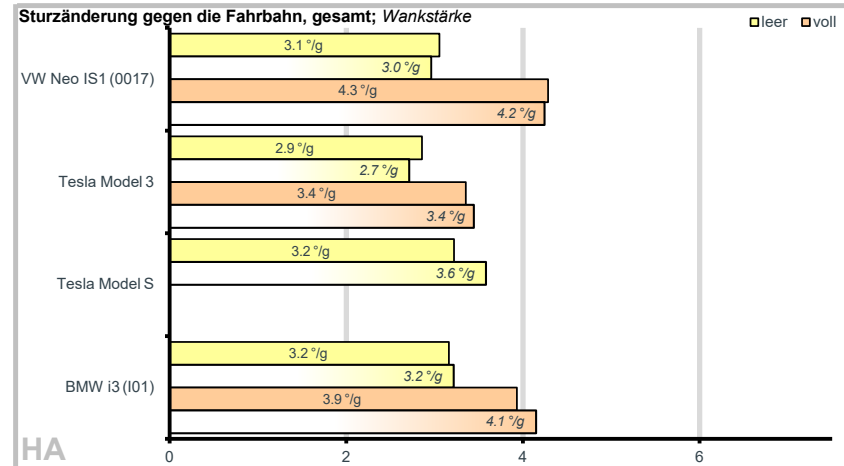


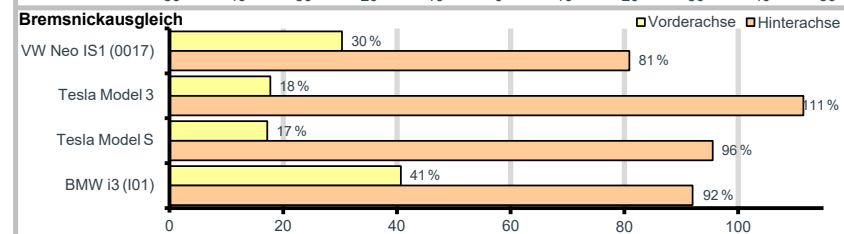
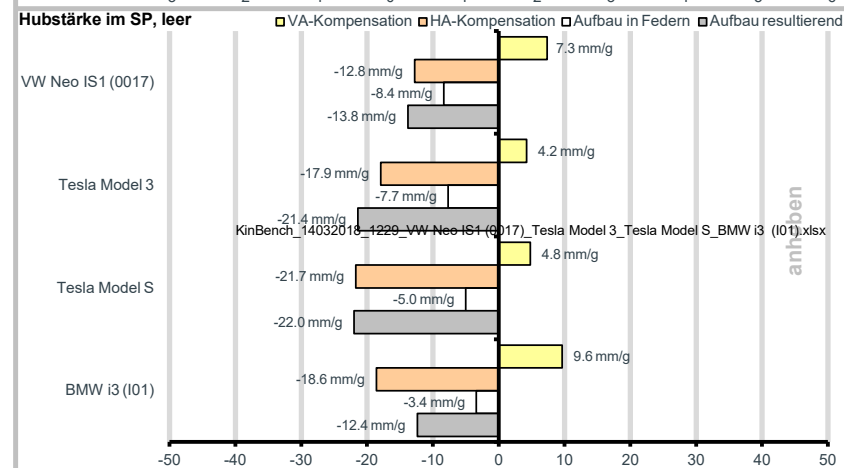
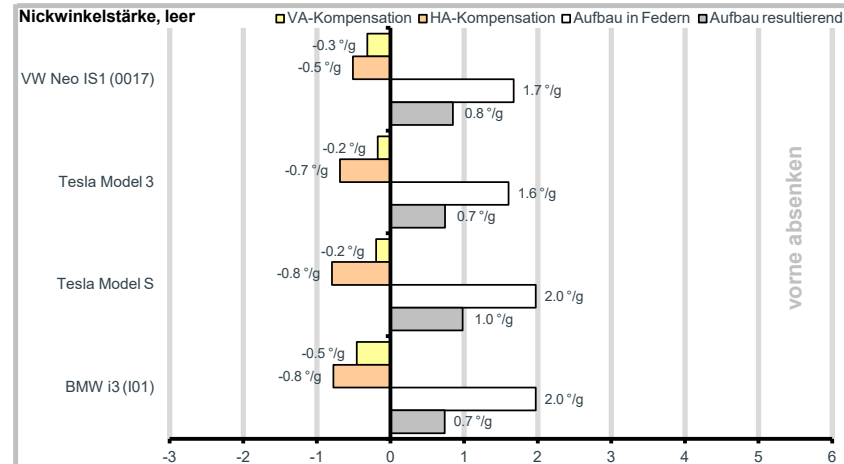


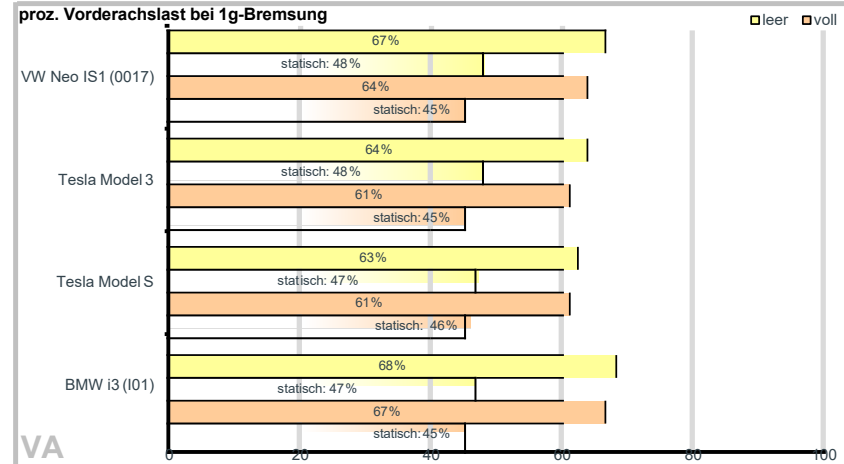




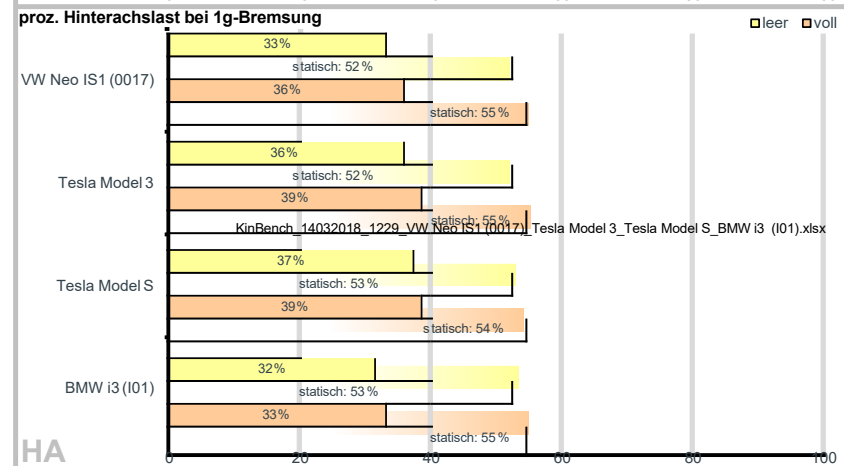




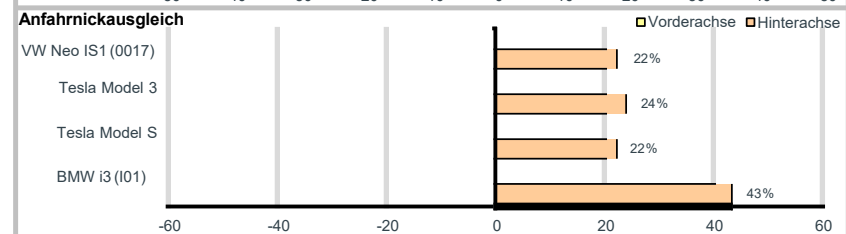
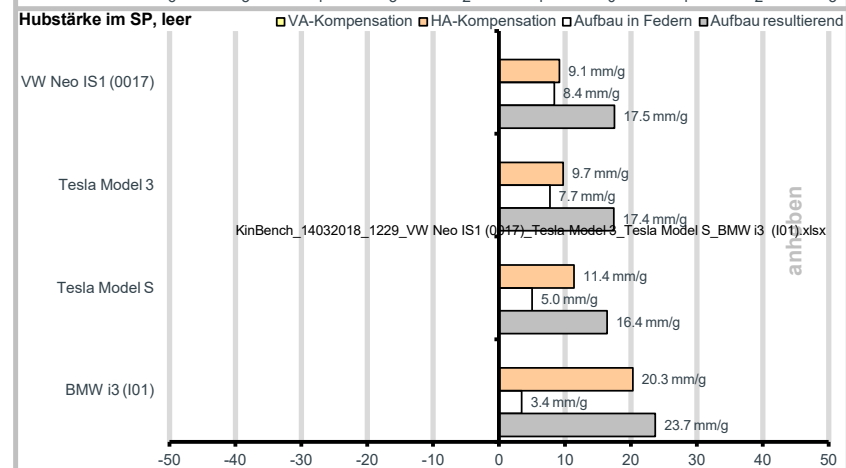
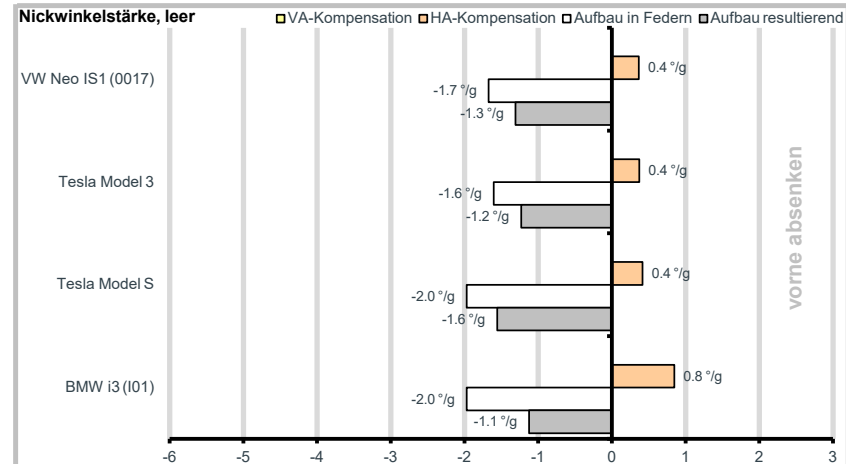


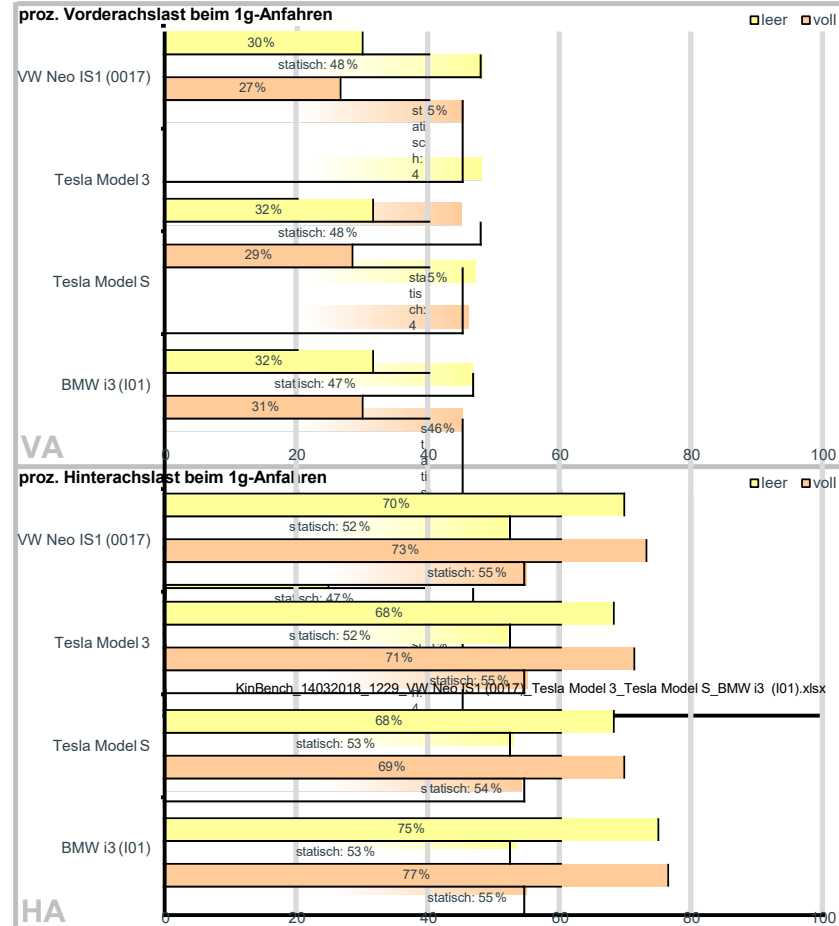


VA



HA





Agenda 19.11.2021

Uhrzeit	TOP
08.00-08.40	Begrüßung, Vorstellung, Ablauf, Prozess
08.40-09.00	Fragen zum Prozess
09.00-09.45	Fahrzeug und Grundgrößen
09.45-10.00	Pause
10.00-10.45	Achskinematik und Auslegung
10.45-11.15	Erstauslegung
11.15-12.15	Mittagspause
12.15-13.00	Wissensaustausch Achskonzepte (Hebebühne)
13.00-13.45	Achskonzepte Teil 1 (Starrachsen, Halbstarrachsen)
13.45-14.30	Innovation Talk - Fahrdynamik
14.30-14.45	Pause
15.45-15.30	Achskonzepte Teil 2 (Einzelradaufhängungen, Beispiele)
15.30-16.00	Fragen und Antworten
16.00	Ende

Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

Fahrdynamik → Eigenschaften

- Erstausslegung Funktion
 - Vertikal:
 - Federwege, Federraten
 - Längs:
 - Bremsstabilität
 - Schiefziehen
 - Nicken
 - Quer:
 - Kippen/Wanken
 - Gierverstärkung
 - Seitenwindempfindlichkeit
 - Lenkung
 - Lenküberstützung
 - Wendekreis
 - Dynbench – Kennwerte (Messung/Simulation)
 - Subjektivbewertung

Erstausslegungsprozess – Definition des Achskonzeptes

- ☐ Konzeptentwicklung (Gesamtfahrzeug): Antriebsart, Segment, Design, Überhänge, etc.
 - ☐ Bauraum Package für Achsen
 - ☐ Maximale Achslasten
 - ☐ Rädergrößen
 - ☐ Spurweiten
 - ☐ Radstand
 - ☐ Plattformgrenzen
- ☐ Die o.g. Eingangsgrößen aus der Konzeptentwicklung des Gesamtfahrzeuge stellen die Randbedingungen für die Achsauslegung dar
- ☐ Kernbotschaft: Die Auslegung/Entwicklung der Achsen bzw. des Achskonzeptes erfolgt unter den o.a. Prämissen mit dem Ziel einen maximalen Kundennutzen in Bezug auf Funktion (Gesamtfahrzeugeigenschaften), Haltbarkeit (Festigkeit), minimalem Verbrauch/maximaler Reichweite (Gewicht) und niedrigsten Kosten darzustellen !!!
- ☐ Wo fängt man nun an ?
 - ☐ Erstausslegungsprozess

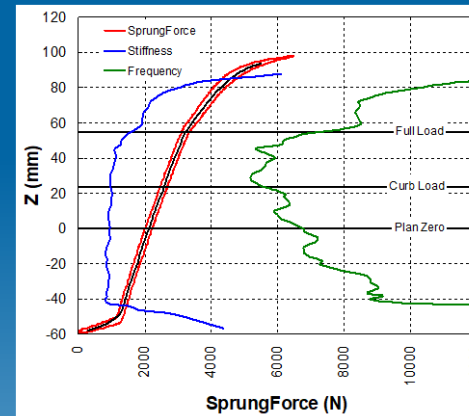
Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

Fahrdynamik → Eigenschaften

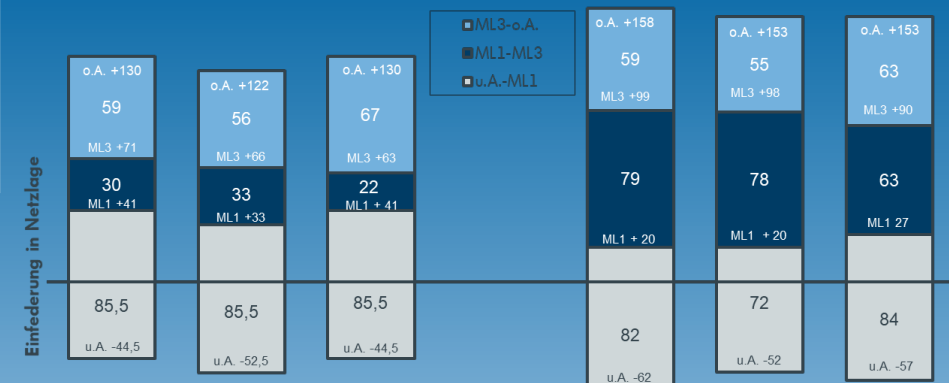
- Erstausslegung Funktion
 - **Vertikal:**
 - Federwege, Federraten
 - **Längs:**
 - Bremsstabilität
 - Schiefziehen
 - Nicken
 - **Quer:**
 - Kippen/Wanken
 - Gierverstärkung
 - Seitenwindempfindlichkeit
 - **Lenkung**
 - Lenkübersteigung
 - Wendekreis
 - Dynbench – Kennwerte (Messung/Simulation)
 - Subjektivbewertung

Erstausslegungsprozess – Definition des Achskonzeptes

□ Federwege



Radlastkurve



VW 481 (D675)	VW 370 (D645)	VW 373 CS (D665)		VW 481 (D675)	VW 370 (D645)	VW 373 CS (D665)
174,5	174,5	174,5	Gesamtfederweg	220	205	210
- Vorderachse -				- Hinterachse -		

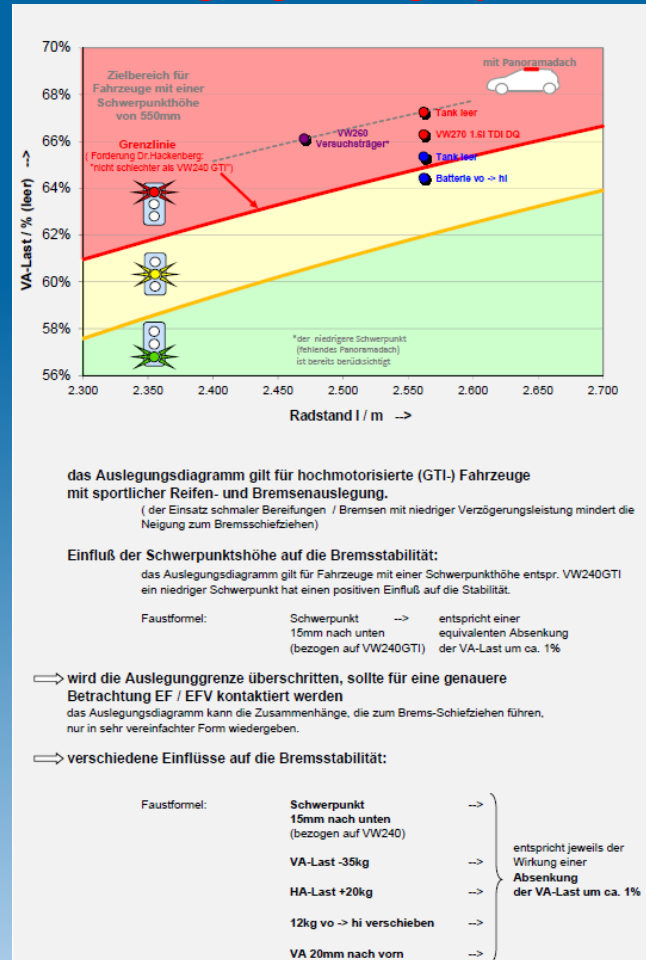
Federwegaufteilung

Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

Fahrdynamik → Eigenschaften

- Erstausslegung Funktion
 - Vertikal:
 - Federwege, Federraten
 - Längs:
 - Bremsstabilität
 - Schiefziehen
 - Nicken
 - Quer:
 - Kippen/Wanken
 - Gierverstärkung
 - Seitenwindempfindlichkeit
 - Lenkung
 - Lenkübersteigung
 - Wendekreis
 - Dynbench – Kennwerte (Messung/Simulation)
 - Subjektivbewertung

Erstausslegung – Längsdynamik



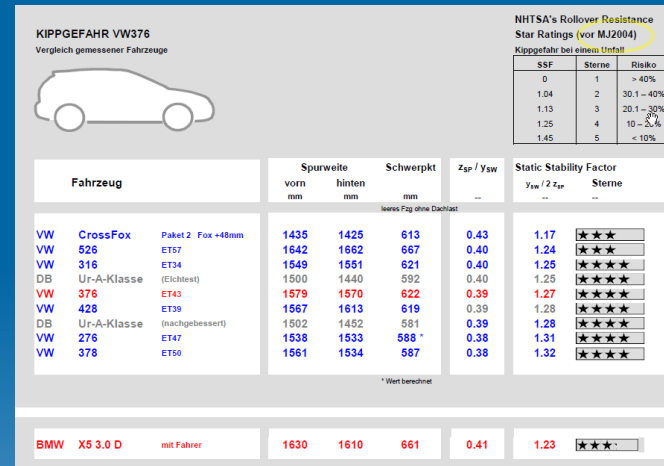
- Im Rahmen einer Erstausslegung zur Längsdynamik/Längsstabilität sind einfache Betrachtungen (Diagramm) ausreichend.
- Zur tieferen Analyse (z.B. Abheben der Hinterachse) werden detailliertere Berechnungsmodelle (Matlab, MKS) angewendet.
- Schiefziehen beim „Antreiben“ rührt meist aus den unterschiedlichen Beugewinkeln/Längen der Gelenkwellen.

Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

Fahrdynamik → Eigenschaften

- Erstausslegung Funktion
- Vertikal:
 - Federwege, Federraten
- Längs:
 - Bremsstabilität
 - Schiefziehen
 - Nicken
- Quer:
 - Kippen/Wanken
 - Gierverstärkung
 - (Seitenwindempfindlichkeit)
- Lenkung
 - Lenkübersteigung
 - Wendekreis
- Dynbench – Kennwerte (Messung/Simulation)
- Subjektivbewertung

Erstausslegung - Querdynamik



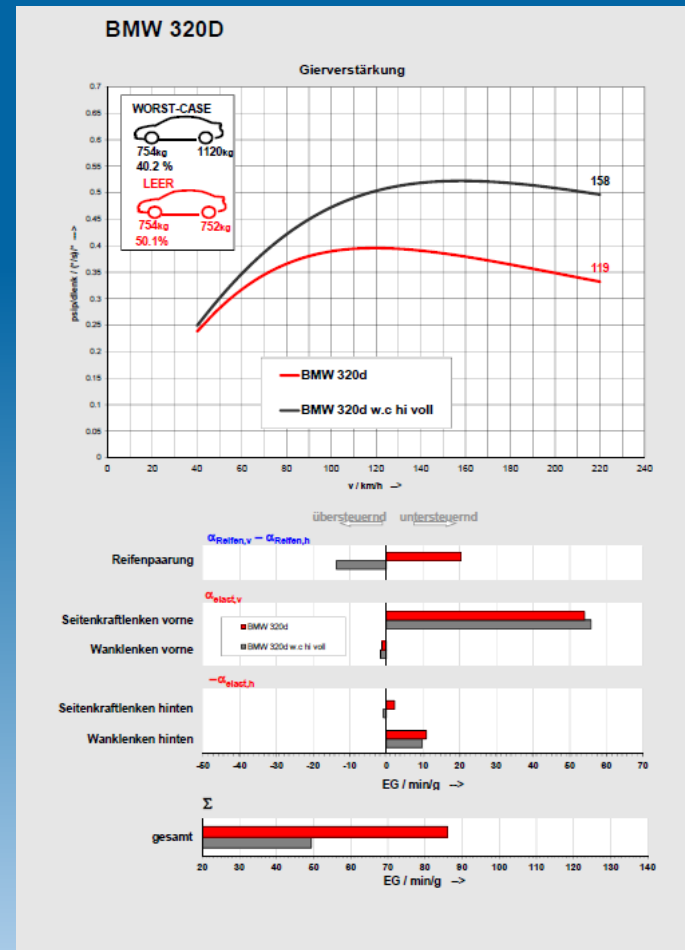
- Im Rahmen einer Erstausslegung zur Querdynamik/Querstabilität sind einfache Betrachtungen (Diagramm, SSF) ausreichend.
- Zur tieferen Analyse (z.B. Abheben der Hinterachse) werden detailliertere Berechnungsmodelle (Matlab, MKS) angewendet.
- Erster Eindruck über Querdynamik kommt aus KinBench → stat. Gierverstärkung über charakteristischer Fahrgeschwindigkeit mit Hilfe des Einspurmodells

Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

Fahrdynamik → Eigenschaften

- Erstausslegung Funktion
- Vertikal:
 - Federwege, Federraten
- Längs:
 - Bremsstabilität
 - Schiefziehen
 - Nicken
- Quer:
 - Kippen/Wanken
 - Gierversränkung
 - (Seitenwindempfindlichkeit)
- Lenkung
 - Lenkübersteuerung
 - Wendekreis
- Dynbench – Kennwerte (Messung/Simulation)
- Subjektivbewertung

Erstausslegung - Querdynamik



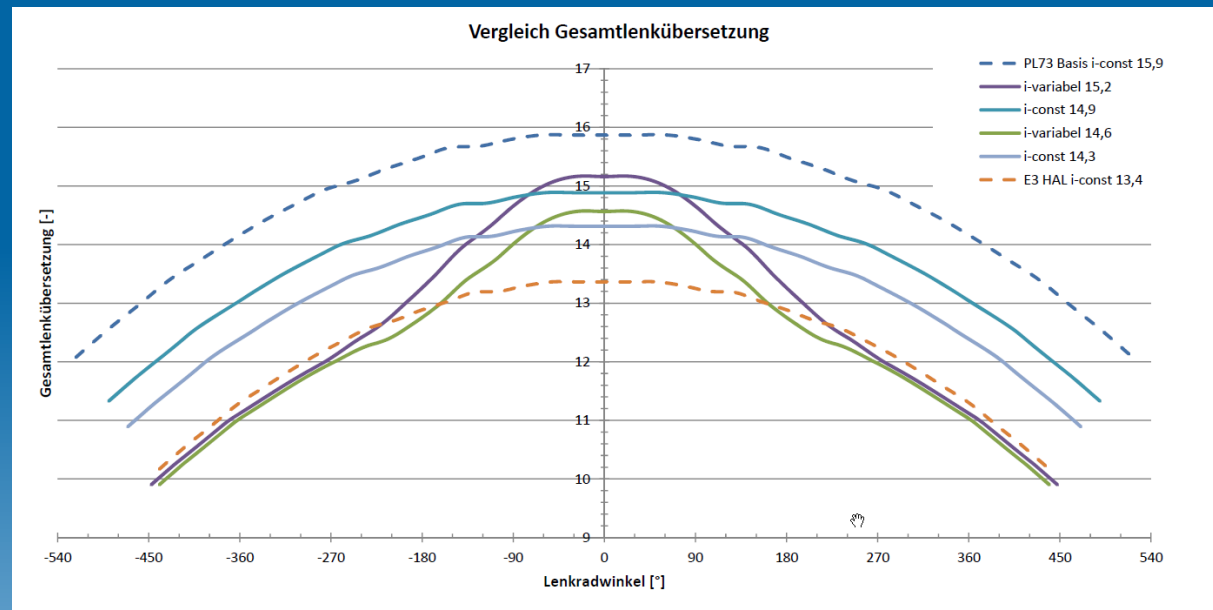
- Erster Eindruck über Querdynamik kommt aus KinBench → stat. Gierversränkung über charakteristischer Fahrgeschwindigkeit mit Hilfe des Einspurmodells

Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

Fahrdynamik → Eigenschaften

- Erstausslegung Funktion
 - Vertikal:
 - Federwege, Federraten
 - Längs:
 - Bremsstabilität
 - Schiefziehen
 - Nicken
 - Quer:
 - Kippen/Wanken
 - Gierverstärkung
 - Seitenwindempfindlichkeit
- Lenkung
 - Lenkübersteigung
 - Wendekreis
- Dynbench – Kennwerte (Messung/Simulation)
- Subjektivbewertung

Erstausslegung - Federwege

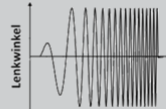
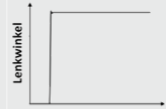
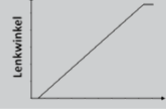


Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

Fahrdynamik → Eigenschaften

- Erstausslegung Funktion
 - Vertikal:
 - Federwege, Federraten
 - Längs:
 - Bremsstabilität
 - Schiefziehen
 - Nicken
 - Quer:
 - Kippen/Wanken
 - Gierverstärkung
 - Seitenwindempfindlichkeit
 - Lenkung
 - Lenküberstzung
 - Wendekreis
- Dynbench – Kennwerte (Messung/Simulation)
- Subjektivbewertung

Erstausslegung – Fahrdynamik Benchmark

Reihen- folge	Manöver		Beschreibung
0.	Vorprozess		• Vorkonditionierung der Reifen und Kalibrieren der Messtechnik • neu: Ermitteln der erforderlichen Lenkwinkelwerte $\delta_{0.2/100}$, $\delta_{0.4/100}$, $\delta_{0.6/100}$, $\delta_{0.4/60}$ *
1.	Sinuslenken		• 60km/h, 100km/h • Lenkwinkelamplitude: $\delta_{0.4/100}$, $\delta_{0.4/60}$ • 0.2Hz, 2 Perioden
2.	Lenkwinkelsweep		• 100km/h • Lenkwinkelamplitude: $\delta_{0.2/100}$, $\delta_{0.4/100}$ • 0.3 bis 2.5Hz (neu lin. Frequenzzunahme) • neu: Bei Bremsregeleingriffen Reduzierung der Lenkwinkelamplituden mit steigender Frequenz
3.	Lenkwinkelsprung		• 100km/h • Lenkwinkel: $\delta_{0.4/100}$, $\delta_{0.6/100}$ • 500°/s
4.	Lenkwinkelrampe		• 7°/s • 100km/h • Lenkwinkel 0 – bis max. Querbeschl. (fahrzeugspezifisch)

Generell: Eine Wiederholungsmessung

* $\delta_{x,y}$: x=Querbeschleunigung, y=Fahrgeschwindigkeit

Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

Fahrdynamik → Eigenschaften

- Erstausslegung Funktion
 - Vertikal:
 - Federwege, Federraten
 - Längs:
 - Bremsstabilität
 - Schiefziehen
 - Nicken
 - Quer:
 - Kippen/Wanken
 - Gierverstärkung
 - Seitenwindempfindlichkeit
 - Lenkung
 - Lenküberstzung
 - Wendekreis
- Dynbench – Kennwerte (Messung/Simulation)
- Subjektivbewertung

Erstausslegung – Fahrdynamik Benchmark

	Nr.	Kennwert Querdynamik	v (km/h)	Einheit	Bedeutung	Subjektivkriterium **
Quasi-Stationäres Fahr- und Lenkverhalten	1	Lenkwinkelgradient (Linearbereich)	100	°/g	• Direktheit • Lenkwinkelbedarf	Eigenlenkverhalten bei Kurvenfahrt
	2	Lenkwinkelgradient (Grenzbereich)	100	°/g	Eigenlenkverhalten (Unter-/Übersteuern)	• Eigenlenkverhalten bei Kurvenfahrt • Grenzbereich bei Kurvenfahrt
	3	Schwimmwinkelgradient (Linearbereich)	100	°/g	Quersteifigkeit der HA	Eigenlenkverhalten bei Kurvenfahrt
	4	Schwimmwinkelgradient (Grenzbereich)	100	°/g	Stabilität	• Grenzbereich bei Kurvenfahrt • Stabilität bei Spurwechsel
	5	Wankwinkelgradient	-	°/g	Wanksteifigkeit	Wanken bei Kurvenfahrt
	6	Stat. Gierverstärkung *	100	1/s	• Direktheit • Agilität	
	7	Maximale Querbeschleunigung	-	g	Grip-Niveau	• Grenzbereich bei Kurvenfahrt • Stabilität bei Spurwechsel
	8	Charakteristische Fahrgeschwindigkeit (berechnet)	-	km/h	Stabilität	
	9	Maximales Lenkmoment über Querbeschleunigung	100	Nm	Lenkkraftunterstützung	Lenkmoment bei Kurvenfahrt
	10	Lenkhysterese*	100	Nm	Reibung im Lenkungsstrang	• Ansprechen VA bei Geradeausfahrt • Linearität bei Geradeausfahrt • Lenkpräzision bei Geradeausfahrt • Lenkmoment bei Geradeausfahrt

Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

Fahrdynamik → Eigenschaften

- Erstausslegung Funktion
- Vertikal:
 - Federwege, Federraten
- Längs:
 - Bremsstabilität
 - Schiefziehen
 - Nicken
- Quer:
 - Kippen/Wanken
 - Gierverstärkung
 - Seitenwindempfindlichkeit
- Lenkung
 - Lenküberstzung
 - Wendekreis
- Dynbench – Kennwerte (Messung/Simulation)
- Subjektivbewertung

Erstausslegung – Fahrdynamik Benchmark

	Nr.	Kennwert Querdynamik	v (km/h)	Einheit	Bedeutung	Subjektivkriterium**
Transientes Fahr- und Lenkverhalten	11	Giereigenfrequenz	-	Hz	Agilität	Dosierbarkeit bei Spurwechsel
	12	Dyn. Überhöhung Gierrate / Lenkwinkel	100	%	Gierdämpfung	Stabilität bei Spurwechsel
	13	Dyn. Überhöhung Lenkwinkel / Lenkmoment	100	%	Linearität Lenkmoment	Lenkmoment bei Kurvenfahrt
	14	Wankwinkel / Querbeschleunigung bei 1.5Hz ggü. Stationärwert	100	%	Wankdämpfung	Wanken bei Spurwechsel
	15	Querbeschleunigung / Lenkwinkel bei 1Hz ggü. Stationärwert*	100	%	Linearität Querbeschleunigung	Dosierbarkeit bei Spurwechsel
	16	Verzögerung Gierrate ggü. Lenkwinkel bei 1Hz	100	ms	• Reaktionszeit Gieren • Schnelligkeit VA • Querkraftaufbau VA	Ansprechverhalten VA bei Kurvenfahrt
	17	Verzögerung Querbeschleunigung ggü. Lenkwinkel bei 1Hz	100	ms	• Dauer Übergangsbereich • Schnelligkeit HA • Querkraftaufbau HA	Ansprechverhalten HA bei Kurvenfahrt
	18	Verzögerung Querbeschleunigung ggü. Gierrate bei 1Hz	100	ms	Zweiphasigkeit	Phasenbezug VA/HA bei Kurvenfahrt
	19	Verzögerung Wankwinkel ggü. Querbeschleunigung bei 0.5Hz	100	ms	Wankwinkel aufbau	Wankwinkel bei Spurwechsel
	20	Verzögerung Gierrate ggü. Lenkmoment bei 0.5Hz	100	ms	• Lenkpräzision • Lenkmoment • Lenkgefühl	• Lenkpräzision bei Kurvenfahrt • Lenkmoment bei Kurvenfahrt • Lenkgefühl bei Kurvenfahrt
	21	Verzögerung Lenkwinkel ggü. Lenkmoment bei 0.5Hz*	100	ms	• Lenkpräzision • Lenkmoment • Lenkgefühl	• Lenkpräzision bei Kurvenfahrt • Lenkmoment bei Kurvenfahrt • Lenkgefühl bei Kurvenfahrt

Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

Fahrdynamik → Eigenschaften

- Erstausslegung Funktion
- Vertikal:
 - Federwege, Federraten
- Längs:
 - Bremsstabilität
 - Schiefziehen
 - Nicken
- Quer:
 - Kippen/Wanken
 - Gierverstärkung
 - Seitenwindempfindlichkeit
- Lenkung
 - Lenküberstzung
 - Wendekreis
- Dynbench – Kennwerte (Messung/Simulation)
- **Subjektivbewertung**

Erstausslegung - Subjektivbewertung

Ebene I (Hauptkategorie)	Ebene II	Ebene III	Ebene IV	Ebene I (Hauptkategorie)	Ebene II	Ebene III	Ebene IV		
Fahrverhalten	Geradeausfahrt	Geradeauslauf eben	• Rechtsziehen • Linksziehen • Schnüffeln • Verhalten bei Störungen	Lenkverhalten	Geradeausfahrt	Anlenken	• Lenkwinkelbedarf • Ansprechverhalten VA • Phasenbezug VA/HA		
		Geradeauslauf uneben	• Schnüffeln • Federungslenken			Linearität	• Übergang aus Mitte • Beim Durchlenken • Aufziehen		
		Seitenwindempfindlichkeit	• Fzg.-Reaktion • Kontrollierbarkeit			Lenkpräzision	• Totband Fahrzeugreaktion • Dosierbarkeit Fahrzeugreaktion • Führbarkeit • Selbstzentrierung		
		Schiefziehverhalten	• Unter Last • Schubbetrieb • Bremsen vor Regelbereich			Center Point Feeling	• Totband (Lenkmoment) • Lenkmomentniveau um Mitte • Lenkmomentanstieg aus Mitte • Mittengefühl beim Durchlenken • Linearität Lenkmomentaufbau • Nachgiebigkeit • Hysterese		
		Beschleunigungsverhalten	• Traktion max. Beschleunigung • Max. Traktion Steigung • Kurshaltung ebene Fahrbahn • Kurshaltung unebene Fahrbahn			Anpendeln	• Dämpfung beim Anpendeln, Lenkrad frei		
		Nickverhalten	• Beschleunigen • Schubbetrieb • Bremsen			Servotronic	• Lenkmomentniveau, 0-15km/h • Lenkmomentniveau, 15-50km/h • Lenkmomentniveau, 50-100km/h • Lenkmomentniveau, 100km/h – Vmax		
		Kurvenfahrt	Stationäre Kurvenfahrt			• Eigenlenkverhalten • Kurshaltung unebene Fahrbahn	Hochdynamisches Lenken	Fahrzeugreaktion	• Ansprechverhalten VA • Phasenbezug VA/HA • Lenkpräzision
	Grenzbereich		• Unter Last • Bei Nachlenken • Balance / Eindeutigkeit • Gripniveau		Lenkmoment	• Linearität • Haltemomente			
	Beschleunigungsverhalten		• Traktion • Gierratenverlauf • Beherrschbarkeit		Lenkgefühl	• Nachgiebigkeit • Hysterese • Natürlichkeit/Wertigkeit • Feedback Strasse			
	Spurwechsel		Bremsen		• Gierratenverlauf (geringe Verzögerung) • Beherrschbarkeit (geringe Verzögerung) • Gierratenverlauf (starke Verzögerung) • Beherrschbarkeit (starke Verzögerung)	Parkieren	Lenkradmomente im Stand	• Parkiermomente • Max. Lenkgeschwindigkeit Stand • Einholen der Lenkung • Gleichförmigkeit • Natürlichkeit/Wertigkeit • Zulenken bis Endanschlag	
					Stabilität			• Niveau • Beherrschbarkeit • Lastwechselempfindlichkeit • Gierüberschwingstärke • Gierdämpfung	Rückstellung
		Dosierbarkeit	• Einlenkwilligkeit • Präzision • Lenkwinkelbedarf • Neutralität		Handlichkeit		• Lenkradwinkelbedarf • Wendekreis		
		Wanken	• Beim Anlenken • Winkel • Dämpfung • Parallelität		Lenkungsstörungen		Lenkraddrehbewegung	• Radunwucht-/Ungleichförmigkeit • in die Hand Lenken	
									Lenkungsstössigkeit

Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

Fahrzeug → Grundgrößen

- Bezugssystem
- Bewegungsfreiheitsgrade (Bewegungsgleichungen)
- Radstand
- Spurweite
- Achslast
- Achslastverteilung
- Räderpalette
- Reifen
- Lenkübersetzung
- Wendekreis
- Spurdifferenzwinkel

Achskinematik → Auslegung

- Allgemeines zur Kinematik
- Lenkkinematik
 - Lenkachse
 - Spreizung
 - Lenkrollradius
 - Nachlauf
 - Störkrafthebelarm
- Radhubkinematik
 - Spur
 - Sturz
- Momentanpole
 - Wankpol, Wankachse
 - Längspol, Schrägfederung, Stützwinkel
- Kinbench – Kennwerte (Messung/Simulation)

Fahrdynamik → Eigenschaften

- **Erstauslegung Funktion**
 - Vertikal:
 - Federwege, Federraten
 - Längs:
 - Bremsstabilität
 - Schiefziehen
 - Nicken
 - Quer:
 - Kippen/Wanken
 - Gierverstärkung
 - Seitenwindempfindlichkeit
 - Lenkung
 - Lenkübersetzung
 - Wendekreis
- Dynbench – Kennwerte (Messung/Simulation)
- Subjektivbewertung

Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen

Fahrzeug → Grundgrößen

- Bezugssystem
- Bewegungsfreiheitsgrade
- (Bewegungsgleichungen)
- Radstand
- Spurweite
- Achslast
- Achslastverteilung
- Räderpalette
- Reifen
- Lenkübersetzung
- Wendekreis
- Spurdifferenzwinkel

Achskinematik → Auslegung

- Allgemeines zur Kinematik
- Lenkkinematik
 - Lenkachse
 - Lenkrollradius
 - Nachlauf
 - Stöckkrafthebelarm
- Radhublinienmittelpunkt
 - Spur
 - Sturz
 - Momentenpol
 - Lenkrollwinkel/Wankwinkel
 - Längspol, Schrägfederung, Stützwinkel
- Kinbench – Kennwerte (Messung/Simulation)

Fahrdynamik → Eigenschaften

- Vertikal:
 - Federwege, Federraten
- Längs:
 - Bremsstabilität
 - Schiefziehen
 - Nicken
- Quer:
 - Kippen/Wanken
 - Gierversärfkung
 - Seitenwindempfindlichkeit
- Lenkung:
 - Lenkübersetzung
 - Wendekreis
- Dynbench – Kennwerte (Messung/Simulation)
- Subjektivbewertung

Zusammenfassung
Teil 1
...das haben Sie gelernt!

Agenda 19.11.2021

Uhrzeit	TOP
08.00-08.40	Begrüßung, Vorstellung, Ablauf, Prozess
08.40-09.00	Fragen zum Prozess
09.00-09.45	Fahrzeug und Grundgrößen
09.45-10.00	Pause
10.00-10.45	Achskinematik und Auslegung
10.45-11.15	Erstauslegung
11.15-12.15	Mittagspause
12.15-13.00	Wissensaustausch Achskonzepte (Hebebühne)
13.00-13.45	Achskonzepte Teil 1 (Starrachsen, Halbstarrachsen)
13.45-14.30	Innovation Talk - Fahrdynamik
14.30-14.45	Pause
15.45-15.30	Achskonzepte Teil 2 (Einzelradaufhängungen, Beispiele)
15.30-16.00	Fragen und Antworten
16.00	Ende

Agenda 19.11.2021

Uhrzeit	TOP
08.00-08.40	Begrüßung, Vorstellung, Ablauf, Prozess
08.40-09.00	Fragen zum Prozess
09.00-09.45	Fahrzeug und Grundgrößen
09.45-10.00	Pause
10.00-10.45	Achskinematik und Auslegung
10.45-11.15	Erstauslegung
11.15-12.15	Mittagspause
12.15-13.00	Wissensaustausch Achskonzepte (Hebebühne)
13.00-13.45	Achskonzepte Teil 1 (Starrachsen, Halbstarrachsen)
13.45-14.30	Innovation Talk - Fahrdynamik
14.30-14.45	Pause
15.45-15.30	Achskonzepte Teil 2 (Einzelradaufhängungen, Beispiele)
15.30-16.00	Fragen und Antworten
16.00	Ende

Agenda 19.11.2021

Uhrzeit	TOP
08.00-08.40	Begrüßung, Vorstellung, Ablauf, Prozess
08.40-09.00	Fragen zum Prozess
09.00-09.45	Fahrzeug und Grundgrößen
09.45-10.00	Pause
10.00-10.45	Achskinematik und Auslegung
10.45-11.15	Erstauslegung
11.15-12.15	Mittagspause
12.15-13.00	Wissensaustausch Achskonzepte (Hebebühne)
13.00-13.45	Achskonzepte Teil 1 (Starrachsen, Halbstarrachsen)
13.45-14.30	Innovation Talk - Fahrdynamik
14.30-14.45	Pause
15.45-15.30	Achskonzepte Teil 2 (Einzelradaufhängungen, Beispiele)
15.30-16.00	Fragen und Antworten
16.00	Ende

Inhalt Vorlesung Achskonzepte WS 2021/22

1. Vorlesung (Teil 5a) 19.11.2021

- **Vorstellung**
- Prozess
- Fahrwerk
- Achskinematik
- Zielgrößen

2. Vorlesung (Teil 5b) 19.11.2021

- **Achskonzepte**
 - Einführung
 - Starrachsen
 - Halbstarrachsen
 - Einzelradaufhängungen
 - Beispiele
 - Achsen im Wettbewerb
- **Fallbeispiel**

3. Vorlesung (Teil 6a) 03.12.2021

Achsbaukästen

4. Vorlesung (Teil 6b) 03.12.2021

5. Vorlesung (Teil 7a) 17.12.2021

6. Vorlesung (Teil 7b) 17.12.2021

Erprobung,
Simulation und
Innovationen

Randbedingungen für die Fahrwerkentwicklung (Achsen)



Fahrwerk: Etwa 25% des Fahrzeuggewichts und etwa 20% der Kosten eines Fahrzeuges!

Einleitung – Anforderungen an Achssysteme

Einleitung der in der Radaufstandsfläche wirkenden Kräfte und Momente in den Aufbau

Fahrdynamik:

- ☐ Gewährleistung einer definierten Radstellung zur Fahrbahn für ein optimales Fahrverhalten und eine hohe Fahrstabilität unter allen Betriebsbedingungen
- ☐ Gezielte Spur- und Sturzänderung in Abhängigkeit von Federweg und Lenkwinkel über die Auslegung der Achskinematik
- ☐ Auslegung der Elastokinematik für ein neutrales bis leicht untersteuerndes Fahrverhalten
- ☐ Differenzierung zwischen Sportwagen, Reiselimousine, SUV ...

Fahrkomfort:

- ☐ Gewährleistung eines guten Federungskomforts durch ausreichende Federwege
- ☐ Schwingungsisolierung der Karosserie und des Fahrers von störenden Anregungen von der Fahrbahn, durch U nwuchten im Antriebstrang und den Rädern und durch Reifenungleichförmigkeiten sowie Bremsenanregungen durch die Auslegung der Elastokinematik

Einleitung – Anforderungen an Achssysteme

Package:

- ☐ Berücksichtigung von Design- und Vertriebswünschen hinsichtlich Fahrzeugproportionen (Fahrzeugbreite, Innenraumlänge, Radgrößen, Spurweiten VA zu HA, Radstand, Überhänge)

- ☐ Vorderachse:
 - ☐ Berücksichtigung aller Motorisierungen
 - ☐ Wettbewerbskonformer Wendekreis
 - ☐ Erfüllung von Anforderungen an den Fußgängerschutz (Federbeinhöhe)
 - ☐ Radraumbedarf

- ☐ Hinterachse:
 - ☐ geringe Ladebodenhöhe
 - ☐ große Durchladebreite
 - ☐ großes Kofferraum- und Tankvolumen, SCR Volumen, Abgasanlage
 - ☐ bei Hybrid- und Elektrofahrzeugen Bauraum für die Batterie bereitstellen

Einleitung – Anforderungen an Achssysteme

Crash:

- ❑ Definiertes Kraft-Weg Verhalten für einen gezielten Beitrag zur Energieaufnahme in den verschiedenen Aufprallsituationen (steigende Anforderungen aufgrund Gesetzgebung)

Missbrauch:

- ❑ Leck vor Bruch-Verhalten, d. h. eindeutige Verformung der Bauteile vor Bruch

Gewicht:

- ❑ Kraftflussgünstige Einleitung der Kräfte in die Karosserie für Leichtbau
- ❑ Einsatz eines günstigen Werkstoffmix für eine ausgewogene Achslastverteilung

Kosten:

- ❑ Forderung nach einer kostengünstigen Bauweise trotz zunehmend komplexeren Radaufhängungen

Modulfähigkeit:

- ❑ Entwicklung der Radaufhängung in einem Baukastensystem zur Verwendbarkeit in anderen Fahrzeugkonzepten

Einleitung – Auswahlkriterien

Achstypen	Achse		Einzelradaufhängung		
Merkmale	starr	halbstarr	eben	sphärisch	räumlich
Auslegungspotential	-	0	0	+	++
Längsfederung	-	-	0	+	++
Herstellkosten	+	+	0	-	--
Raumausnutzung	--	+	0	0	+
Gesamtgewicht	-	++	0	+	+
Robustheit	++	0	0	-	-
Fahrverhalten	-	0	0	+	++
Fahrkomfort	--	0	0	+	++

Einleitung – Systematische Einteilung von Achssystemen

Merkmale											Halbstarr	Einzelradaufhängungen											
Gelenk- art	Blatt- feder	Drehgelenk									Dreh- gelenk	Drehgelenk										Dreh- schub + Drehgelenk	
Lenker- anzahl	1	1	2		3	4					1	1		2	3	4	5	3	4				
Lenker- lage	Längs	Schräg/ Deichsel	Längs		Längs	Längs					Längs	Längs	Schräg	Quer	Schräg	Quer	Raum	Raum	Quer	Quer	Raum		
Zusatz- merkmal	Federverband	Panhard	Wattgestänge	Dreieck	Panhard	Wattgestänge	Panhard	Wattgestänge	Panhard	Wattgestänge	Torsion	Koppel	Verbund	Gerade	Dreieck	Gerade	Trapez	DQ-Lenker	DQ Aufgelöst	Raum	3-Punkt	Federbein	Dämpferbein
Lf.-Nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23

Einleitung – Systematische Einteilung von Achssystemen

Merkmale											Halbstarr	Einzelradaufhängungen											
Gelenk- art	Blatt- feder	Drehgelenk								Dreh- gelenk	Drehgelenk							Dreh- schub + Drehgelenk					
Lenker- anzahl	1	1	2		3	4				1	1		2	3	4	5	3	4					
Lenker- lage	Längs	Schräg/ Deichsel	Längs		Längs		Längs		Längs		Längs	Schräg	Quer	Schräg	Quer	Raum	Raum	Quer	Quer	Raum			
Zusatz- merkmal	Federverband	Panhard	Wattgestänge	Dreieck	Panhard	Wattgestänge	Panhard	Wattgestänge	Panhard	Wattgestänge	Torsion	Koppel	Verbund	Gerade	Dreieck	Gerade	Trapez	DQ-Lenker	DQ Aufgelöst	Raum	3-Punkt	Federbein	Dämpferbein
Lf.-Nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23

Inhalt Vorlesung Achskonzepte WS 2021/22

1. Vorlesung (Teil 5a) 19.11.2021

- **Vorstellung**
- Prozess
- Fahrwerk
- Achskinematik
- Zielgrößen

2. Vorlesung (Teil 5b) 19.11.2021

- **Achskonzepte**
 - Einführung
 - Starrachsen**
 - Halbstarrachsen
 - Einzelradaufhängungen
 - Beispiele
 - Achsen im Wettbewerb
- **Fallbeispiel**

3. Vorlesung (Teil 6a) 03.12.2021

Achsbaukästen

4. Vorlesung (Teil 6b) 03.12.2021

5. Vorlesung (Teil 7a) 17.12.2021

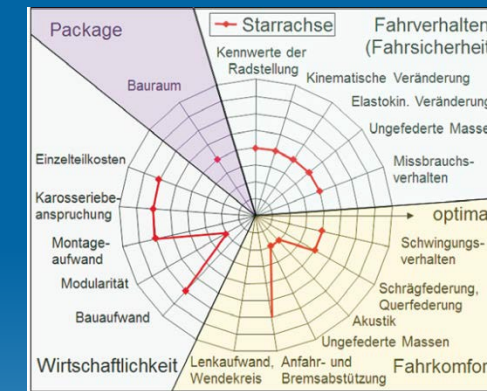
6. Vorlesung (Teil 7b) 17.12.2021

Erprobung,
Simulation und
Innovationen

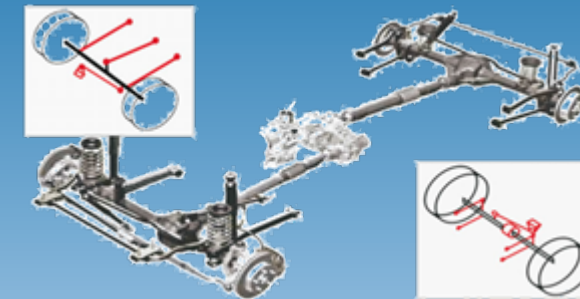
Starrachsen

Eigenschaften:

- ☐ Beide Räder sind über einen quer liegenden Achskörper fest miteinander verbunden und beeinflussen sich dadurch gegenseitig.
- ☐ Starrachsen lassen sich in vier Hauptkategorien unterteilen:
 - ☐ angetrieben,
 - ☐ nicht angetrieben,
 - ☐ mit Blattfederführung und
 - ☐ mit Lenkerführung.
- ☐ Die nicht angetriebenen Starrachsen haben gegenüber den angetriebenen Achsen wegen fehlendem Differenzial und Seitenwellen sowie dem leichteren Achsprofil zwischen den Radachsen, geringere ungefederte Massen.
- ☐ Durch eine niedrigere Positionierung zur Kraftebene kann das Achsprofil schlanker gestaltet werden.
- ☐ Starrachsen findet man häufig im Nutzfahrzeugbereich oder bei Pick-Ups (Robustheit)



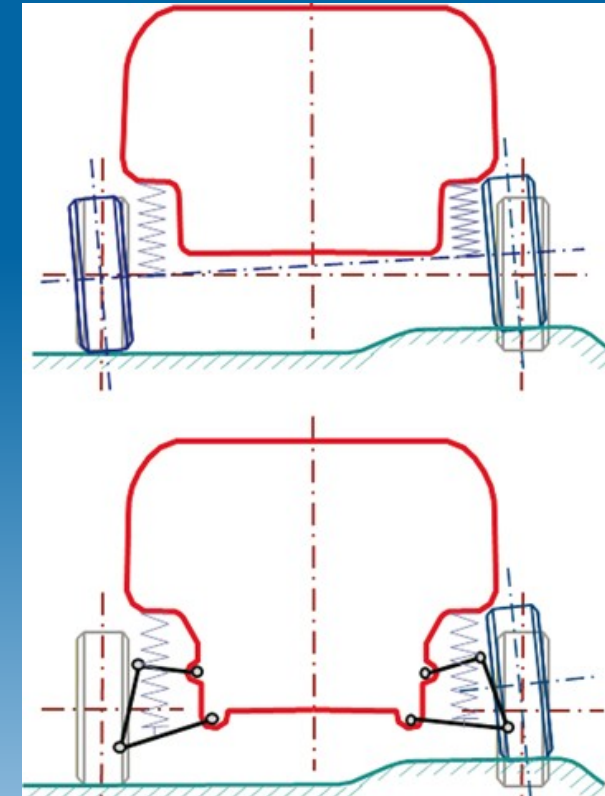
Eigenschaftsprofil für die Starrachsen



Fahrwerk eines allradgetriebenen Geländefahrzeugs mit Starrachsen vorne und hinten (Chrysler Jeep Rubicon, Bj. 2007)

Abgrenzung:

- ❑ Starrachsen: Bei Überfahrt von Hindernissen sind links und rechtes Rad durch das Querprofil miteinander gekoppelt. Die einseitige Anregung wird auf das zweite Rad übertragen („kopiert“). Es tritt eine Verschränkung des Querprofils auf (elastische Verformung). Das Querprofil wirkt der Wankbewegung entgegen.
- ❑ Einzelradaufhängung: Bei Überfahrt von Hindernissen sind beide Räder entkoppelt. Ein Rad federt ein ohne das gegenüberliegende Rad zu beeinflussen. Zur Reduzierung der Wankbewegung benötigt die Einzelradaufhängung einen Stabilisator.



Überfahren von einseitigen Fahrbahnebenheiten mit Starrachse und Einzelradaufhängung

Vorteile

- ❑ Einfachheit, Wirtschaftlichkeit, kostengünstige Integration der Hinterachsdifferenziale (Seitenwellen ohne Gelenk) im Achskörper
- ❑ flache Bauweise, tiefer Ladeboden, breite Ladefläche bei nicht angetriebener Achse
- ❑ Robustheit, hohe Belastbarkeit
- ❑ hohes Wankzentrum (ca. auf der Radmittelhöhe)
- ❑ identische Radstellung an beiden Rädern bei Federn (beide Räder haben stets dieselbe Spur und Sturz und daher keine Spur-, Spurweiten- und Sturzänderung)
- ❑ hohe Verschränkungsfähigkeit der Achse im Gelände

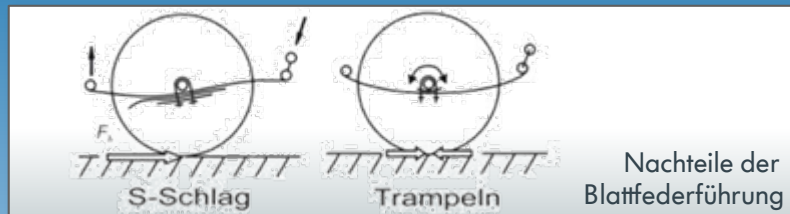
Nachteile

- ❑ große Radlastschwankungen durch ungefederte Masse
- ❑ gegenseitige Beeinflussung der Räder bei einseitiger Fahrbahnebenheit
- ❑ Versetzneigung der Achse auf Querwellen und dadurch entstehendes Wanklenken
- ❑ Vorspur und Sturz können nicht gezielt über anliegende Radkräfte oder Einfederwege fahrsituationsabhängig beeinflusst werden
- ❑ nur geringe Möglichkeiten zur Nutzung elastokinematischer Effekte
- ❑ schlechtere Wankdämpfung durch die Dämpfer
- ❑ eingeschränkte Möglichkeit des Brems- und Anfahrnickausgleichs
- ❑ Radlaständerungen durch das Antriebsmoment, welches auf der Achse abgestützt wird
- ❑ erhöhter Platzbedarf zwischen Achse und Unterboden entsprechend dem Federweg
- ❑ notwendige massive, bewegliche Querverbindung (Achsträger), mit viel Raumanspruch

Bis auf wenige Ausnahmen werden Starrachsen heute fast nicht mehr als Vorderachse eingesetzt. Als Hinterachse haben sie mit 22,5% noch einen großen Anteil, vorwiegend im Nutzfahrzeugbereich

Starrachsen mit Längsblattfeder

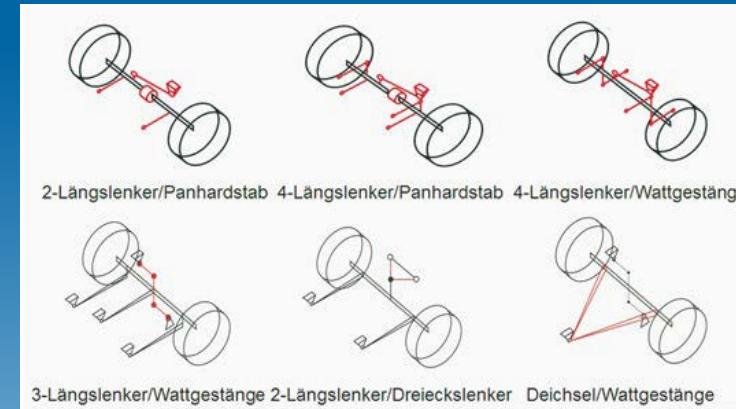
- ❑ Die Längsfederung übernimmt die Führung der Achse vollständig oder teilweise übernimmt.
- ❑ Die Blattfedern haben zwar Vorteile bezüglich Bauraum und bezüglich Karosseriebelastung
- ❑ Allerdings sind diese schwer, haben hohe Reibung, zeigen S-Schlagneigung und den sogenannten „Trampeleffekt“
- ❑ In den USA findet die „Hotchkiss-Achse“ bei SUVs und Light Trucks Einsatz, bei der Blattfedern gleichzeitig Längs- und Querführung übernehmen.
- ❑ Aufgrund ihrer höheren Belastbarkeit und der Ermöglichung einer breiten Ladefläche werden Starrachsen mit Blattfederführung häufig an der Hinterachse von Kleintransporterneingesetzt
- ❑ Die lastabhängig progressive Federkennlinie verbessert den Fahrkomfort und die Durchbiegung des Federpakets trägt zu einem untersteuernden Eigenlenkverhalten bei.
- ❑ Längsblattfedern aus GFK liegen derzeit im Trend



Das Achskonzept ist einfach und günstig, da es keine Lenker benötigt. Weichere und damit längere Blattfedern für mehr Komfort verschlechtern jedoch die Seitenführung und erhöhen die S-Schlagneigung

Starrachsen mit Längs- und Querlenker

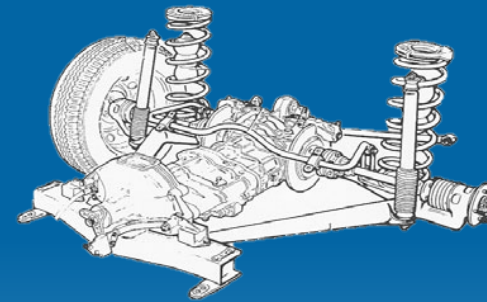
- ❑ Entfällt die Achsführung durch die Blattfeder, so wird die Achse durch zwei bis vier Lenker geführt.
- ❑ Dabei müssen zwei Freiheitsgrade (eine vertikale Translation und eine Rotation um die Fahrzeuglängsachse) zugelassen werden.
- ❑ Die Längsführung und damit die Längskräfte übernehmen die Längslenker.
- ❑ Die Querführung wird über einen Dreipunktlenker, über einen Querlenker (Panhardstab) oder über ein Watt-Gestänge realisiert.
- ❑ Während der Panhardstab einen seitlichen Versatz des Aufbaus beim Ein- und Ausfedern verursacht, führt das Wattgestänge die Achse stets ohne Querbewegung in der Mitte des Aufbaus.
- ❑ Für die Führung des Achskörpers über Lenker steht auch die Kombination eines Dreieckslenkers mit zwei Längslenkern zur Verfügung.
- ❑ Eine Längslenkergeführte Starrachse wurde z.B. für den Caddy 5 entwickelt



Ausführungsvarianten der Starrachsen

Starrachsen – De Dion Achse

- ❑ De Dion hat bereits 1930 die Nachteile der hohen ungefederten Massen erkannt.
- ❑ Entgegenwirken durch Befestigung des Hinterachsgetriebes am Aufbau und nicht an der Achse.
- ❑ Als Smart eine ganz neue Autogattung für den Nahverkehr konzipierte, war es notwendig, den Antrieb sehr kompakt auf die Hinterachse zu setzen.
- ❑ Damit war die De-Dion-Ausführung in Verbindung mit einer Deichselachse interessant, weil hier nicht nur das Getriebe, sondern das ganze Antriebsaggregat montiert werden konnte.



De-Dion-HA in Verbindung mit einem Transaxle Antriebsstrang (Alfa Romeo Alfetta, Bj. 1972)



De-Dion-Achse mit Deichsel, Oberrahmen ist der Aggregateträger (HA: MB Smart, Bj. 1998)

Starrachsen – De Dion Achse

- ❑ Eine effiziente Art der Anbindung einer Starrachse an den Aufbau ist die Deichselachse.
- ❑ Die Achse wird ähnlich einer Deichsel eines Anhängers vorne über ein Kugelgelenk oder ein Gummilager mit dem Aufbau verbunden.
- ❑ Eine möglichst hohe Anordnung des Lagers ergibt dabei einen verbesserten Brems- und Anfahrnickausgleich.
- ❑ Die Querführung übernimmt ein zusätzliches Quergestänge.
- ❑ Um Eigenlenkbewegungen beim Einfedern zu vermeiden, ist eine vertikale gerade Führung des Achskörpers bei dieser Achsausführung wichtig.
- ❑ Deshalb kommt ein Scherenlenkerprinzip zum Einsatz.
- ❑ Die Räder bewegen sich immer parallel zueinander, mit sehr geringer Sturzänderung – solange beide Räder symmetrisch federn.



Mercedes A-Klasse, Hinterachse, Bj. 2004

Inhalt Vorlesung Achskonzepte WS 2021/22

1. Vorlesung (Teil 5a) 19.11.2021

- **Vorstellung**
- Prozess
- Fahrwerk
- Achskinematik
- Zielgrößen

2. Vorlesung (Teil 5b) 19.11.2021

- **Achskonzepte**
 - Einführung
 - Starrachsen
 - Halbstarrachsen**
 - Einzelradaufhängungen
 - Beispiele
 - Achsen im Wettbewerb
- **Fallbeispiel**

3. Vorlesung (Teil 6a) 03.12.2021

4. Vorlesung (Teil 6b) 03.12.2021

5. Vorlesung (Teil 7a) 17.12.2021

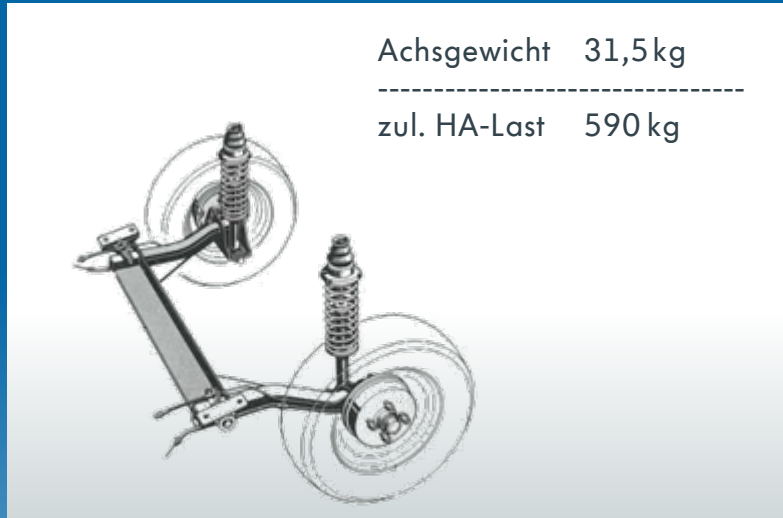
6. Vorlesung (Teil 7b) 17.12.2021

Achsbaukästen

Erprobung,
Simulation und
Innovationen

Halbstarrachsen – Verbundlenkerachsen – Beispiel Golf

Golf I(1974)



- ☐ Im Vergleich zur Schräglenkerachse bessere Abstützung der Seitenkräfte
- ☐ Wenig Spuränderung beim wechselseitigen Federn

Golf 8(2020)

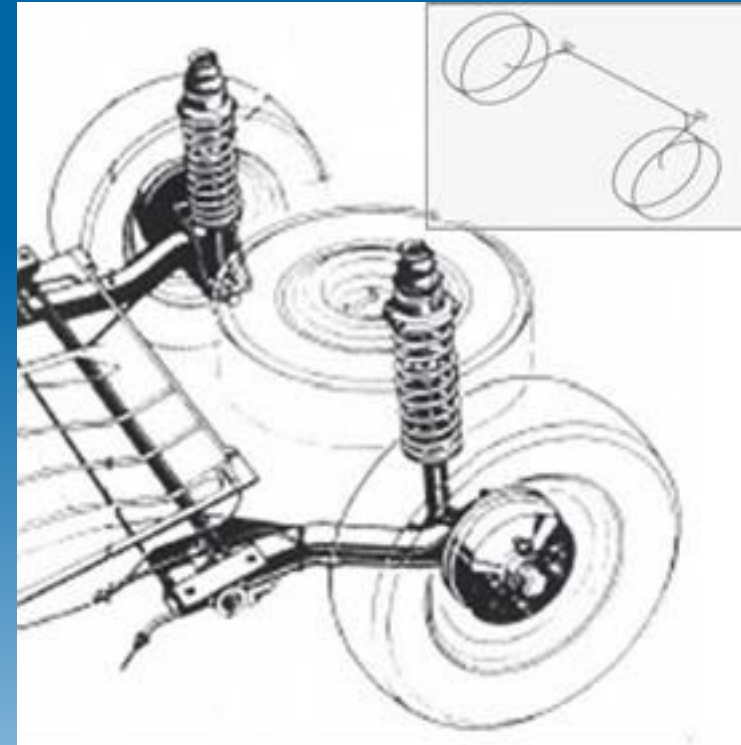


- ☐ Optimiertes Wanklenken
- ☐ Gute Abstützung der Seitenkräfte
- ☐ Signifikant verbessertes Ansprechverhalten
- ☐ Erhöhung des Fahrkomforts (Gerade Ausrichtung der Führungslager)

Vom Golf I bis zum Einsatz im Golf 8 (MQB) hat sich die Verbundlenkerachse evolutionär weiterentwickelt.

Halbstarrachsen - Verbundlenkerachsen

- ❑ Halbstarrachsen haben wie die Starrachsen eine mechanische Kopplung der beiden Räder.
- ❑ Durch eine gezielte elastische Torsionsverformung des Verbindungselements sind begrenzte Relativbewegungen der Räder zueinander möglich.
- ❑ Verbundlenkerachse zeichnen sich bei symmetrischer Radfederung aus durch geringe Spur-, Sturz- und Vorspuränderungen.
- ❑ Bei asymmetrischer Radfederung weisen sie günstigen Radsturz und eine merkliche Wankzentrumshöhe sowie ausgeprägtes kinematisches Eigenlenkverhalten auf.



Erste Serienverbundlenkerachse Volkswagen Bj. 1974

Halbstarrachsen - Verbundlenkerachsen

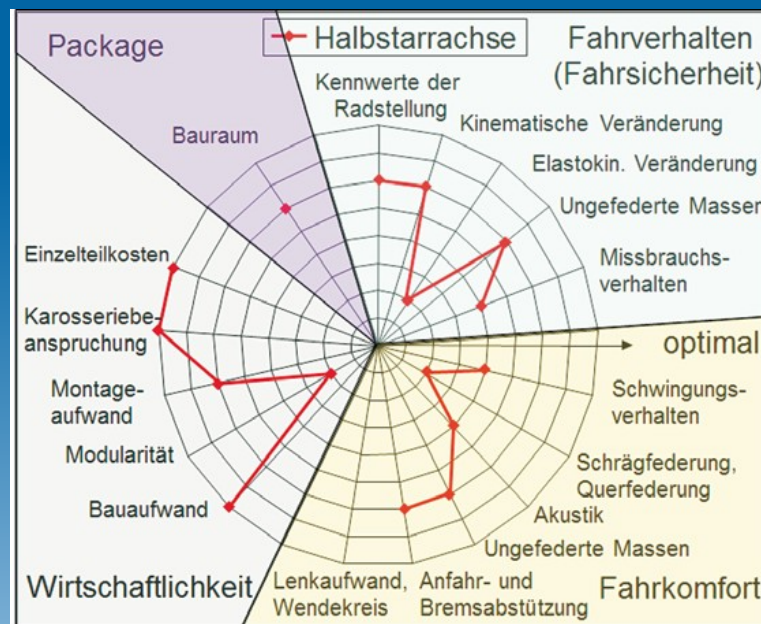
Vorteile

- ☐ sehr einfache Konzeption
- ☐ kostengünstigste nicht angetriebene Hinterachse überhaupt
- ☐ Achse erfordert keinen Achsträger, geringer Raumbedarf, flacher Aufbau
- ☐ leichte Montage und Demontage der Achse
- ☐ nahezu wartungsfrei, Stabilisatorwirkung durch den Querträger
- ☐ kleine ungefederte Masse, günstige Übersetzung Rad zu Feder und Dämpfer
- ☐ guter Bremsnickausgleich, geringe Spurweitenänderung

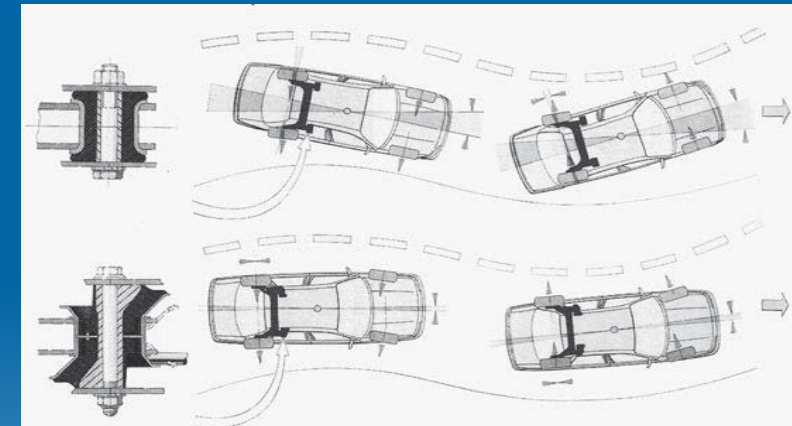
Nachteile

- ☐ ungünstige Seitenkraftabstützung
- ☐ Spannungsspitzen in der Schweißnaht an den Übergangstellen von den verdrehsteifen Längslenkern zum Verbundprofil
- ☐ ohne spurkorrigierende Lager übersteuerndes Seitenkraftverhalten
- ☐ Spurwinkel empfindlich gegenüber Zuladung
- ☐ ungeeignet als angetriebene Achse, eingeschränktes fahrdynamisches Optimierungspotenzial für anspruchsvolle Komfort- und Akustikeigenschaften

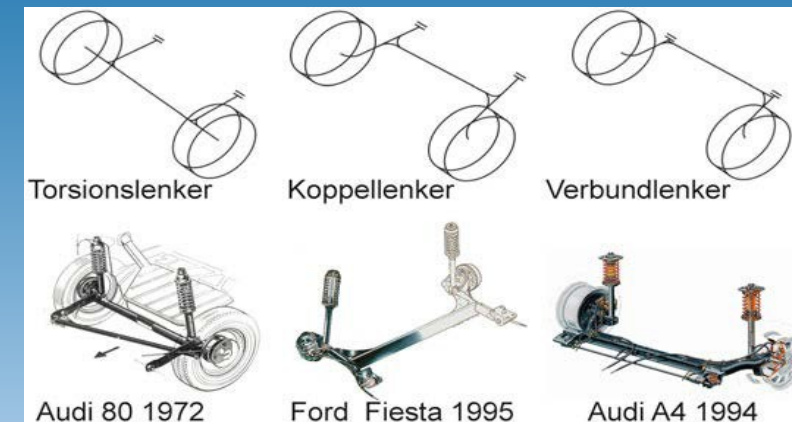
Halbstarrachsen - Verbundlenkerachsen



Eigenschaftsprofil für Halbstarrachsen



Spurkorrigierende Lager



Übersicht Halbstarrachsen

Halbstarrachsen - Übersicht

Torsionskurbelachse

- ❑ Einfacher, einteiliger Blechlenker mit Federaufnahme.
- ❑ Die torsionsweiche Quertraverse liegt sehr nahe zum Radmittelpunkt. Die Torsionskurbelachse weist somit ähnliche Eigenschaften wie eine Starrachse auf.

Verbundlenkerachse

- ❑ Die Quertraverse liegt nahe zur Längslenkerlagerung. Die Verbundlenkerachse weist somit ähnliche Eigenschaften wie die Längslenkerachse auf.
- ❑ Die Übersteuertendenz der Verbundlenkerachse in der Kurve kann durch spurkorrigierende Lager vermindert werden.

Koppellenkerachse

- ❑ Durch die Traverse am vorderen Drittel der Längslenker werden die Vorteile der Längslenker mit denen der Verbundlenkerachsen vereint.
- ❑ Bei den Koppellenkerachsen ist die Querverbindung mittig zwischen Lagerstellen und Radmitte angeordnet, um die Seitenkraftabstützung zu verbessern.

Verbundlenkerachse mit Wattgestänge

- ❑ Der konstruktionsbedingte Nachteil der Verbundlenkerachse, nämlich erhöhte Nachgiebigkeit unter Querkräften, wird neuerdings durch eine zusätzliche Querabstützung über ein Wattgestänge, reduziert.

Halbstarrachsen - Verbundlenkerachsen

Zusammenfassung Eigenschaften Verbundlenkerachsen (VLA)

- ☐ Radführung durch halbstarre Achse (Torsionsprofil) mit hoher Funktionsintegration
- ☐ Zielkonflikt zwischen Fahrdynamik und -komfort
- ☐ Übersteuertendenz bei Seitenkraft → Kompensation notwendig (z.B. durch Lager, oder Querprofil: Wanklenken)
- ☐ Aufgrund höherer ungefederter Masse i. Vgl. zur Einzelradaufhängung andere Schwingungseigenschaften im Gesamtfahrzeug.
- ☐ Gute Eigenschaften bzgl. Übertragung von Reifenabrollgeräuschen.
- ☐ Abstimmung über zentrales Achsführungslager und Achskörper.
- ☐ In der regl schlechter Kantenkomfort aufgrund negativer Schrägfederung
- ☐ Sehr raumsparendes Achskonzept, integrierter Stabilisator, Variation über unterschiedliche Achskörper.
- ☐ kostengünstige Bauweise, geringes Gewicht (Verbrauchspotential)
- ☐ In der Regel nicht allradfähig (Ausnahme höher bauende Fahrzeuge).
- ☐ Standard in der A0-Klasse und darunter Einsatz in der VW Up!, VW Polo, T-Cross, T-Roc und Golf 8 (<110KW)

Halbstarrachsen - Verbundlenkerachsen

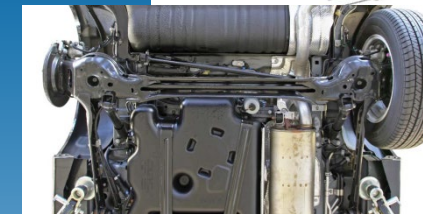
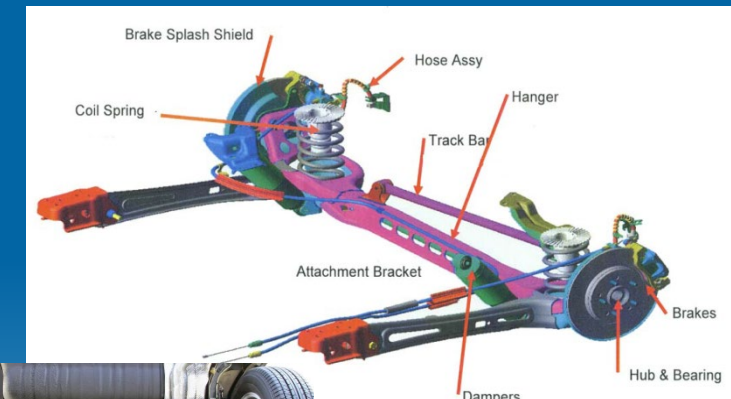
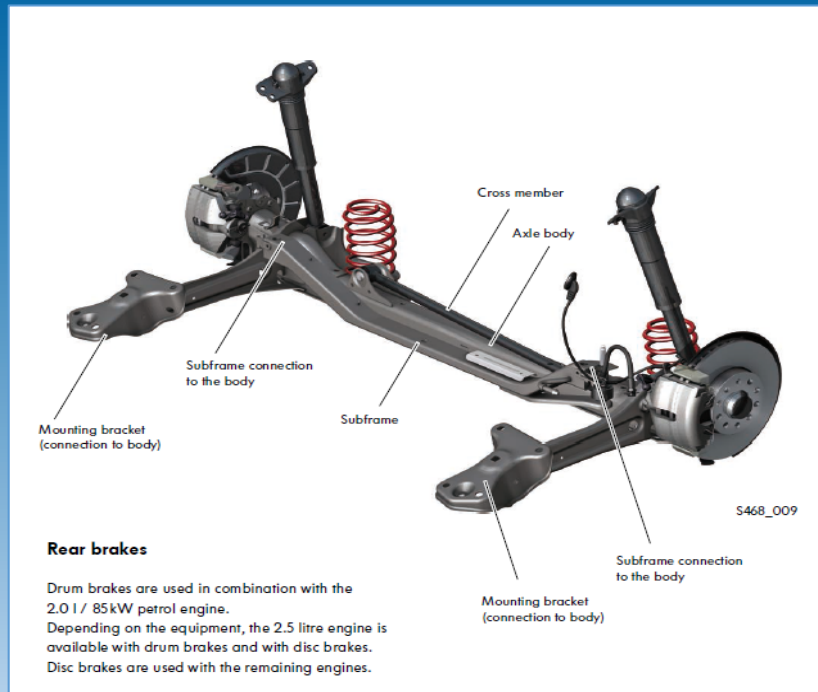
Zusammenfassung Eigenschaften Verbundlenkerachsen (VLA)

- ☐ Radführung durch halbstarre Achse (Torsionsprofil) mit hoher Funktionsintegration
- ☐ Zielkonflikt zwischen Fahrdynamik und -komfort
- ☐ Übersteuertendenz bei Seitenkraft → Kompensation notwendig (z.B. durch Lager, oder Querprofil: Wanklenken)
- ☐ Aufgrund höherer ungefederter Masse i. Vgl. zur Einzelradaufhängung andere Schwingungseigenschaften im Gesamtfahrzeug.
- ☐ Gute Eigenschaften bzgl. Übertragung von Reifenabrollgeräuschen.
- ☐ Abstimmung über zentrales Achsführungslager und Achskörper.
- ☐ In der regl. schlechter Kantenkomfort aufgrund negativer Schrägfederung
- ☐ Sehr raumsparendes Achskonzept, integrierter Stabilisator, Variation über unterschiedliche Achskörper.
- ☐ kostengünstige Bauweise, geringes Gewicht (Verbrauchspotential)
- ☐ In der Regel nicht allradfähig (Ausnahme höher bauende Fahrzeuge).
- ☐ Standard in der A0-Klasse und darunter Einsatz in der VW Up!, VW Polo, T-Cross, T-Roc und Golf 8 (<110KW)

Halbstarrachsen - Koppellenkerachsen

Koppellenkerachse

- ❑ Einsatz im VW Jetta und VW Sagitar bis 2014
- ❑ Kompatibilität zur Mehrlenkerachse Golf V
- ❑ Sehr kostengünstiges Konzept
- ❑ Geringes Package
- ❑ Nachteile in Fahrdynamik und



- ❑ Einsatz im VW Routan (USA) und Chrysler Voyaer

Halbstarrachsen - Verbundlenkerachsen

Verbundlenkerachse mit Wattgestänge:

- ❑ Beide Räder sind mit Länglenkern am Aufbau befestigt. Die beiden einzeln aufgehängten Radträger sind zusätzlich mit einer kräftigen Querverbindung miteinander verbunden.
- ❑ Die Querverbindungsstange ist in der Mitte drehbar am Aufbau gelagert.
- ❑ Diese Querverbindung in der unteren Lenkerebene verleiht der Achse die Qualitäten einer Starrachse.
- ❑ Die Querverbindung wird in der Mitte durch ein Wattgestänge geführt, so dass die Aufbauquerverschiebung verringert wird.
- ❑ Bei der Geradeausfahrt verhält sich die Achse wie eine Starrachse ohne große Spur- und Sturzänderungen.
- ❑ Im Gelände sind große Achsverschränkungen möglich, wodurch sich eine gute Traktion ergibt.



Verbundlenker-Hinterachse Opel Astra

Quelle: <https://www.presseportal.de/pm/59486/1458339>

Agenda 19.11.2021

Uhrzeit	TOP
08.00-08.40	Begrüßung, Vorstellung, Ablauf, Prozess
08.40-09.00	Fragen zum Prozess
09.00-09.45	Fahrzeug und Grundgrößen
09.45-10.00	Pause
10.00-10.45	Achskinematik und Auslegung
10.45-11.15	Erstauslegung
11.15-12.15	Mittagspause
12.15-13.00	Wissensaustausch Achskonzepte (Hebebühne)
13.00-13.45	Achskonzepte Teil 1 (Starrachsen, Halbstarrachsen)
13.45-14.30	Innovation Talk - Fahrdynamik
14.30-14.45	Pause
15.45-15.30	Achskonzepte Teil 2 (Einzelradaufhängungen, Beispiele)
15.30-16.00	Fragen und Antworten
16.00	Ende

Breakout Session – Innovation Talk - Fahrdynamik



Wie stehen Kundennutzen und Fahreigenschaften im Verhältnis? – Sammeln Sie Beispiele!

- Beispiel: Fahrspaß-Längsdynamik: Beschleunigung E-Fahrzeug

Aufgabe: 30 Min. Gruppenarbeit – danach 30 Min. Durchsprache.

Innovation Talk – Fahrdynamik - https://www.youtube.com/watch?v=COQJ1TZWc_M

Beispiele Kunde-Entwickler

- ☐ Fahrspaß-Längsdynamik: Beschleunigung E-Fahrzeug
- ☐ Fahrspaß-Querdynamik: Kurvenreiche Strecke, Rennstrecke, Steuerverhalten
- ☐ Fahrsicherheit-Längsdynamik: Bremsenschiefeziehen
- ☐ Fahrsicherheit-Querdynamik: Steuerverhalten
- ☐ Fahrsicherheit-Vertikaldynamik: Kuppenüberfahrt, Raderhebungskurve
- ☐ Fahrkomfort-Längsdynamik: Kanten, Stuckern
- ☐ Fahrkomfort-Vertikaldynamik: Schwingungsverhalten, Nickverhalten
- ☐ Normalgebrauch-Betriebslasten: Hohe Lebensdauer, hoher Wiederverkaufswert
- ☐ Grenzgebrauch: Schadenstoleranz bei versehentlichen SE-ÜF
-> Achse wieder einstellbar
- ☐ Missbrauch: Leck vor Bruch: Schutz von Leib und Leben
- ☐ Gewicht-Leichtbau: Einsatz von Aluminium bei ungefederten Massen
- ☐ Gewicht-Materialien: Einsatz von Aluminium, GFK
- ☐ Gewicht-Fertigungsverfahren: Tailored-Rolled-Blank Verbundlenkerachse (TRB)

Agenda 19.11.2021

Uhrzeit	TOP
08.00-08.40	Begrüßung, Vorstellung, Ablauf, Prozess
08.40-09.00	Fragen zum Prozess
09.00-09.45	Fahrzeug und Grundgrößen
09.45-10.00	Pause
10.00-10.45	Achskinematik und Auslegung
10.45-11.15	Erstauslegung
11.15-12.15	Mittagspause
12.15-13.00	Wissensaustausch Achskonzepte (Hebebühne)
13.00-13.45	Achskonzepte Teil 1 (Starrachsen, Halbstarrachsen)
13.45-14.30	Innovation Talk - Fahrdynamik
14.30-14.45	Pause
15.45-15.30	Achskonzepte Teil 2 (Einzelradaufhängungen, Beispiele)
15.30-16.00	Fragen und Antworten
16.00	Ende

Agenda 19.11.2021

Uhrzeit	TOP
08.00-08.40	Begrüßung, Vorstellung, Ablauf, Prozess
08.40-09.00	Fragen zum Prozess
09.00-09.45	Fahrzeug und Grundgrößen
09.45-10.00	Pause
10.00-10.45	Achskinematik und Auslegung
10.45-11.15	Erstauslegung
11.15-12.15	Mittagspause
12.15-13.00	Wissensaustausch Achskonzepte (Hebebühne)
13.00-13.45	Achskonzepte Teil 1 (Starrachsen, Halbstarrachsen)
13.45-14.30	Innovation Talk - Fahrdynamik
14.30-14.45	Pause
15.45-15.30	Achskonzepte Teil 2 (Einzelradaufhängungen, Beispiele)
15.30-16.00	Fragen und Antworten
16.00	Ende

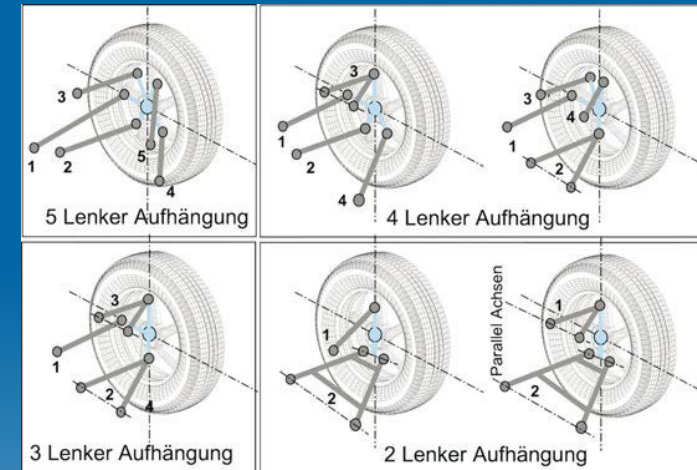
Agenda 19.11.2021

Uhrzeit	TOP
08.00-08.40	Begrüßung, Vorstellung, Ablauf, Prozess
08.40-09.00	Fragen zum Prozess
09.00-09.45	Fahrzeug und Grundgrößen
09.45-10.00	Pause
10.00-10.45	Achskinematik und Auslegung
10.45-11.15	Erstauslegung
11.15-12.15	Mittagspause
12.15-13.00	Wissensaustausch Achskonzepte (Hebebühne)
13.00-13.45	Achskonzepte Teil 1 (Starrachsen, Halbstarrachsen)
13.45-14.30	Innovation Talk - Fahrdynamik
14.30-14.45	Pause
15.45-15.30	Achskonzepte Teil 2 (Einzelradaufhängungen, Beispiele)
15.30-16.00	Fragen und Antworten
16.00	Ende

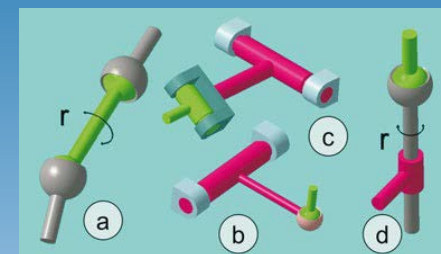
Einzelradaufhängungen - Kinematik

Einzelradaufhängungen (Kinematik):

- ❑ Beide Räder haben keine Verbindung zueinander und können sich unabhängig voneinander bewegen.
- ❑ Eine kinematischen Kette verbindet den Aufbau (Grundglied) mit dem Radträger (Koppelglied) durch Zwischenglieder.
- ❑ Die einzelnen Glieder sind an deren Enden durch Gelenke miteinander verbunden.
- ❑ Die Art des Gelenks bestimmt die relative Bewegungsfreiheit der zugehörigen Glieder.
- ❑ Der Freiheitsgrad kann von 1 bis 5 variieren.
- ❑ Die drehbare Lagerung des jeweiligen Rades am Radträger erfolgt mit einer zusätzlichen Bewegungsfreiheit.



Einzelradaufhängungen mit 5-, 4-, 3- und 2-Lenkern

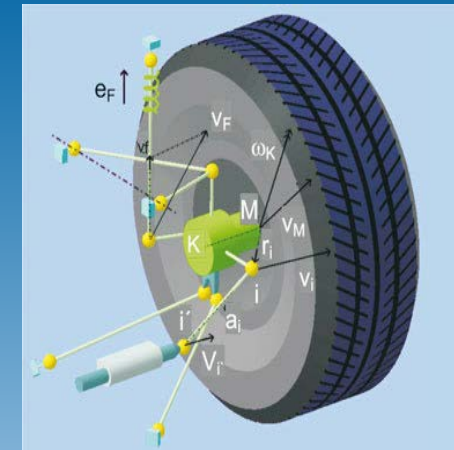


Lenkerarten im Fahrwerk

Einzelradaufhängungen - Kinematik

Einzelradaufhängungen (Kinematik):

- ❑ Die Einzelradaufhängung bzw. der Radträger besitzt gegenüber dem Aufbau einen Freiheitsgrad, welcher die Einfederung des Rades, bspw. bei Fahrbahnunebenheiten, ermöglicht (Schwingungsisolierung des Aufbaus). Die Abstützung erfolgt über Feder- und Dämpferelemente.
- ❑ Für die Lenkbarkeit wird ein weiterer Freiheitsgrad benötigt, der durch Verschieben eines Lenkers (Spurstange) mittels des Lenkgetriebes in y -Richtung erreicht wird.
- ❑ Für die weiteren Betrachtungen wird dieser Lenker in seiner KO-Lage festgehalten. Somit haben auch die vorderen Radträger nur einen Freiheitsgrad. Die Lenker müssen die maximal sechs Freiheitsgrade des Radträgers folglich bis auf einen reduzieren.
- ❑ Die starren Lenker mit den Gelenken an den Enden bilden eine kinematische Kette, die den Radträger mit dem Aufbau verbindet.
- ❑ Feder und Dämpfer begrenzen den sechsten Freiheitsgrad als elastische Glieder, in die Kinematik greifen sie aber nicht ein.
- ❑ Ausnahme: Verwendung des Dämpfers als Dreh-Schubgelenk.
- ❑ Die erforderliche Anzahl der Lenker für eine Radführung hängt von den kinematischen Eigenschaften der verwendeten Lenkertypen ab.



Einzelradaufhängungen - Eigenschaften

Vorteile

- ☐ geringe ungefederte Masse
- ☐ keine gegenseitige Beeinflussung der Räder bei Wechselbelastungen,
- ☐ große kinematische und elastokinematische Auslegungsfreiheiten
- ☐ besseres Lenkgefühl, Kurs- und Kurvenstabilität
- ☐ gleiche Stoßdämpferwirkung sowohl beim parallelen als auch einseitigen bzw. gegenseitigen Federn
- ☐ einfache Isolierung der Fahrbahnschwingungen
- ☐ Sehr gute Abstimmung von Fahrdynamik und Fahrkomfort

Nachteile

- ☐ geringe Verschränkung
- ☐ niedrige Bodenfreiheit
- ☐ Sturz-, Spur-, Spurweitenänderungen beim Federn
- ☐ Belastungsausgleichswirkung der Räder in Kurvenfahrt nur über Stabilisator möglich
- ☐ nicht so robust wie die Starrachsen
- ☐ Materialeinzelkosten der einzelnen Bauteile
- ☐ Viel Bauraum wird benötigt

Einzelradaufhängungen - Einlenkerachse

Aufbau

- ☐ Einfachste Art der Einzelradaufhängung.
- ☐ Der Radträger ist nur mittels eines einzigen Lenkers mit dem Aufbau verbunden.
- ☐ Der Lenker ist fest mit dem Radträger vereint und weist zum Aufbau eine stabile Drehlagerung auf.
- ☐ Je nach der Ausrichtung der Lenkerdrehachse heißen sie dann:
 - ☐ Längslenker-
 - ☐ Schräglenker-
 - ☐ Quer bzw. Pendellenker-Einzelradaufhängung
- ☐ Der Lenker muss sowohl Längs- als auch Querkräfte aufnehmen, daher muss er möglichst groß und steif gestaltet sein.

- ☐ Die im Lenker entstehenden Drehmomente werden mit möglichst kleinen Kräften in den Aufbau eingeleitet.
- ☐ Diese Anforderung wird durch zwei voneinander entfernte Gummilager mit gleicher Drehachse erfüllt.

Einzelradaufhängung mit einem Lenker

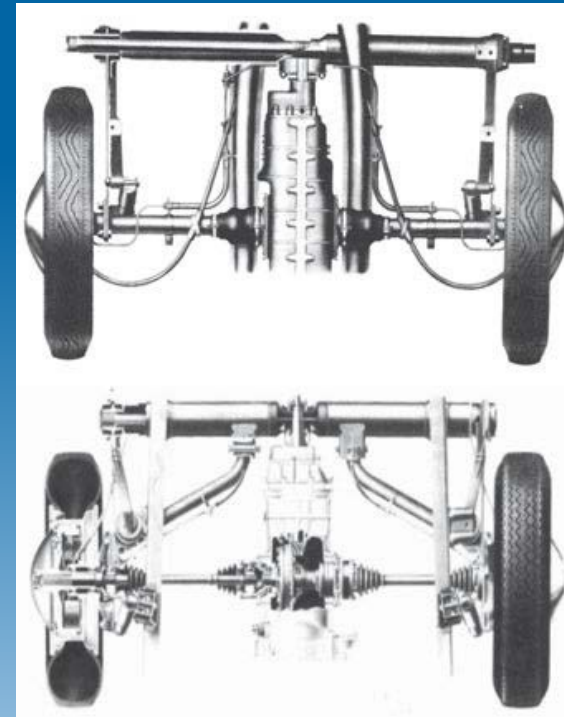


Einzelradaufhängungen - Zweilenkerachse

Aufbau

- ❑ Die Längs- und Querkräfte werden von zwei Lenkern, die winkelig zueinander angeordnet sind, aufgenommen.
- ❑ Bestes Beispiel dafür sind die Pendelachsen, welche durch einen zusätzlichen Längslenker abgestützt werden, der alle Längskräfte aufnimmt.

Pendelachse des Volkswagen Käfer

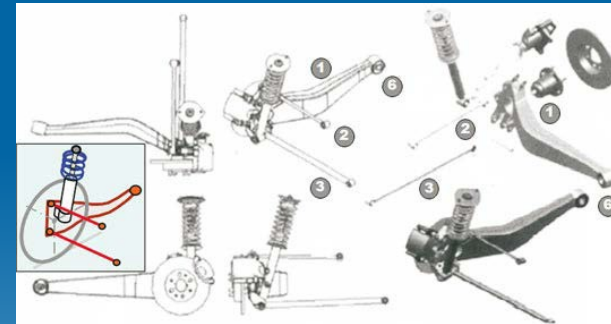


Einzelradaufhängungen - Dreilenkerachse

Aufbau

- ❑ Durch zusätzliche Lenker wird das kinematische Auslegungspotenzial erhöht.
- ❑ Wenn jedoch mehrere Lenker den Radträger führen, können sie nicht mehr starr sondern nur über Dreh- oder Kugelgelenke mit ihm verbunden werden. Andernfalls wird die Kinematik überbestimmt.
- ❑ Zusätzlich muss die Drehachse des Einzellenkers am Aufbau drei Drehfreiheiten erhalten (meist durch Gummilager).
- ❑ Der Radträger bildet das Koppelglied. Aufbau bzw. Achsträger können als das Festglied der kinematischen Kette betrachtet werden.

Längslenkeraufhängung



Zentrallenkeraufhängung

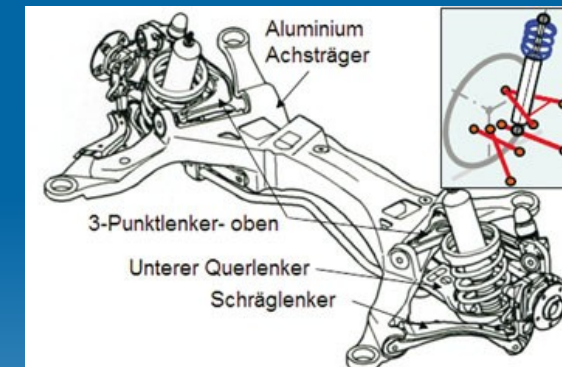


Einzelradaufhängungen - Vierlenkerachse

Aufbau

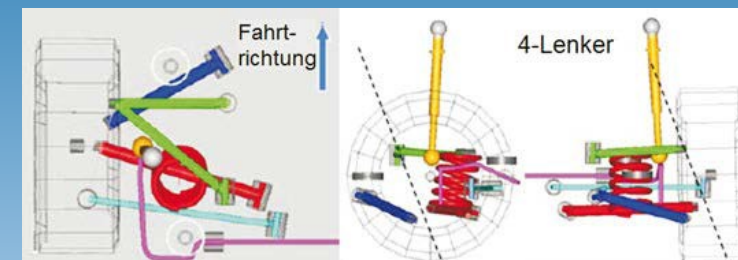
- ❑ Eine Aufhängung des Rades mit vier Lenkern ist möglich, wenn jeder Lenker bewegliche Gelenkpunkte hat und nicht fest am Radträger angebracht ist.
- ❑ Zweckmäßig ist es, wenn einer der Lenker längs angeordnet wird. Die Längskräfte werden durch einen Längs- oder Schräglenker elastisch abgefangen.
- ❑ Drei Querlenker fangen die Seitenkräfte vollständig ab und sorgen für eine hohe Quersteifigkeit.
- ❑ Einfachste Realisierung: Auflösung des oberen oder unteren 3-Punkt-Lenkers einer Doppelquerlenkerachse durch zwei Stablenker.

Mehrlenkeraufhängung



3-Punkt-Lenker und drei 2-Punkt-Lenker

Zentrallenkeraufhängung

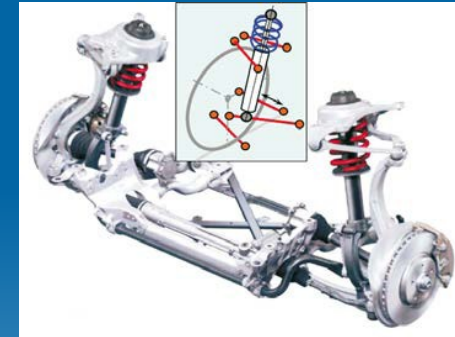


Einzelradaufhängungen - Fünflenkerachse

Aufbau

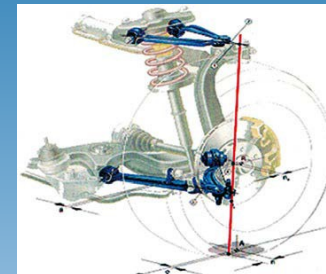
- ❑ Ein Rad kann mit maximal fünf Lenkern aufgehängt werden. Alle diese fünf Lenker müssen 2-Punkt-Lenker sein und am Radträger befestigt werden.
- ❑ Das Rad hat nur einen Freiheitsgrad. Die Fünflenkeraufhängungen lassen sich als Hinter- oder Vorderachse einsetzen.
- ❑ An der Vorderachse stellt die Spurstange den fünften Lenker dar.
- ❑ Für die Hinterachse wird auch der Begriff Raumlänkerachse verwendet, da die fünf Lenker räumlich angeordnet sind.

5-Lenker Raumlänkerachse

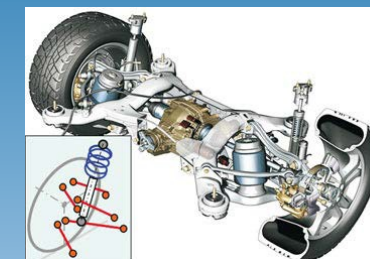


Mehrlenkerachse mit fünf Querlenkern

5-Lenker-Vorderachse

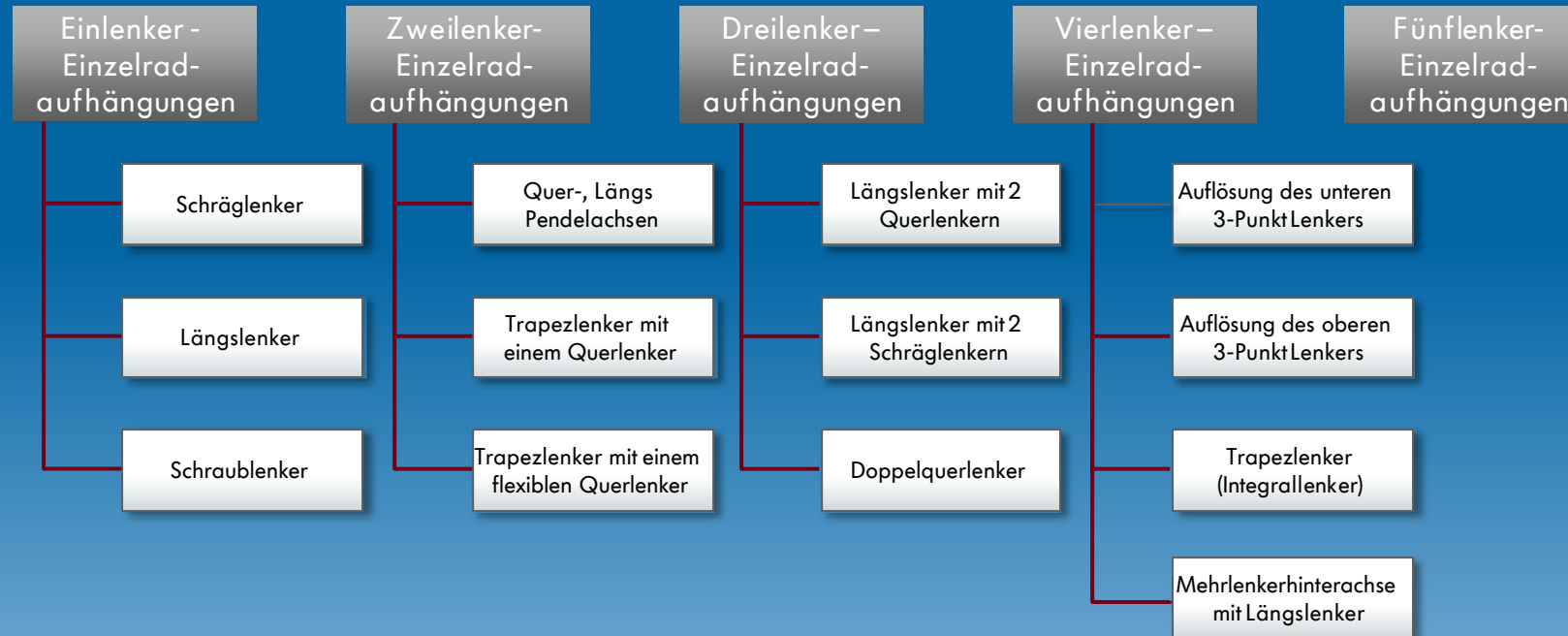


Virtuelle Lenkachse



Raumlänkerachse

Einzelradaufhängungen - Zusammenfassung



Einzelradaufhängungen - Zusammenfassung

Einlenker – Einzelradaufhängungen

Schräglenker

- +
 - ☐ guter Kompromiss aus Längslenker- und Pendelachsen
 - ☐ einfache Konstruktion
 - ☐ Auslegungspotenzial durch Optimierung des Pfeilungs- und Dachwinkels,
 - ☐ Optimierungspotential durch Variation der Steifigkeiten der vier Gummilager
 - ☐ Flache Bauweise, großer Freiraum zwischen den Rädern
- - ☐ Seitenkräfte zwingen das kurvenäußere Rad in Nachspur
 - ☐ Sturzänderungen bei der Einfederung
 - ☐ unabhängige Auslegung der Sturz- und Vorspurkinematik nicht möglich
 - ☐ steife Lenker und Anlenkpunkte notwendig
 - ☐ großer Abstand der Lenkerlager notwendig
 - ☐ guter Komfort nur mit einem gummigelagerten Achsträger erreichbar

Längslenker

- +
 - ☐ einfacher Aufbau
 - ☐ nur zwei Lenker → geringer Raumbedarf
 - ☐ viel Platz für Kofferraum
 - ☐ voneinander unabhängige Radmassen
- - ☐ geringe Quersteifigkeit
 - ☐ ohne Sondermaßnahmen übersteuernd bei Seitenkraft
 - ☐ geringe Rollsteifigkeit ohne Stabilisator
 - ☐ eingeschränkte Schwingungsisolierung zum Aufbau
 - ☐ geringe Längselastizität

Einzelradaufhängungen - Zusammenfassung

Vierlenker – Einzelradaufhängungen



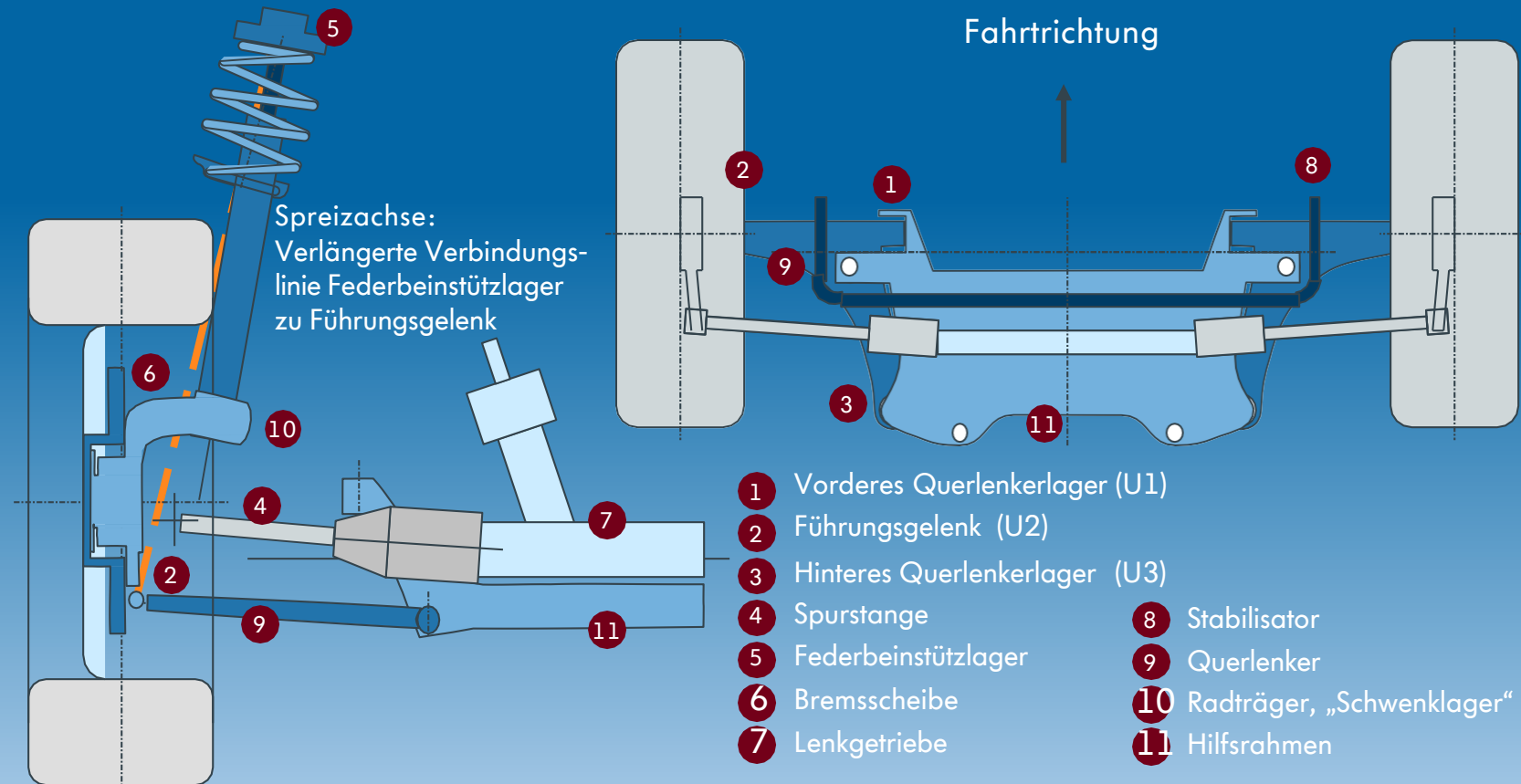
- + ☐ großer Gestaltungsspielraum für die Auslegung der Raderhebungskurven und der Elastokinetik
- ☐ Erhöhung der Vorspur beim Bremsen und Kurvenfahrt wirkt stabilisierend (untersteuernd)
- ☐ gute Längselastizität (Fahrkomfort)
- ☐ an der Vorderachse optimale Auslegung der Lenkachse möglich
- ☐ an der Hinterachse lassen sich sehr hohe Quersteifigkeiten erzielen
- ☐ viele Lenker, daher hohe Kosten
- ☐ viele Kinematikpunkte, die genau hergestellt und justiert werden müssen (Toleranzen)

Fünflenker – Einzelradaufhängungen

- + ☐ gezielte Auslegung der kinematischen und elastokinetischen Eigenschaften ohne Kompromisse
- ☐ geringe, ungefederte Massen (keine Biegekräfte an den Lenkern)
- ☐ geringe Anbindungskräfte zum Aufbau hin
- ☐ Freiraum in der Radmitte für die Seitenwellen
- ☐ großer Raumbedarf
- ☐ aufwendige Konstruktion und Abstimmung
- ☐ hohe Nebenfederraten, viele Gummilager
- ☐ ein Achsträger notwendig

Einzelradaufhängungen - Beispiele

McPherson Federbeinachse



Einzelradaufhängungen - Beispiele

McPherson Federbeinachse

Aufbau

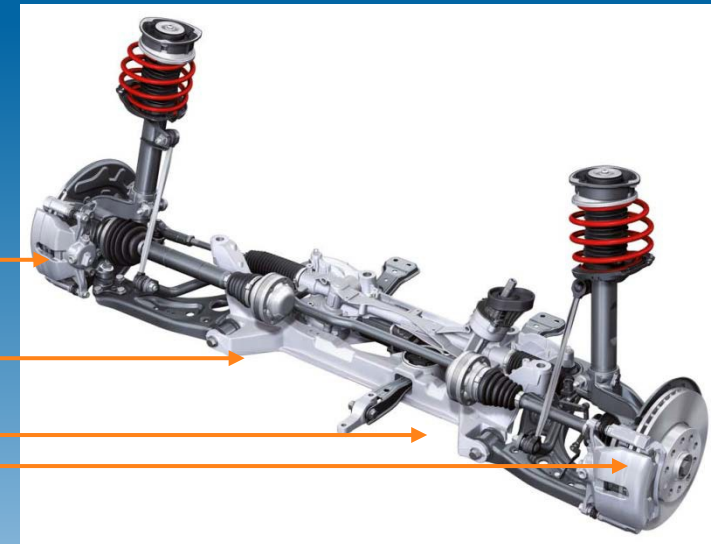
Gelenk

- ❑ Kugelgelenk für die Verbindung Querlenker-Schwenklager

Aggregateträger

- ❑ Aluminiumussteil
- ❑ Querlenker
- ❑ einteilige Stahlblechkonstruktion
- ❑ Radlager/Radnabe
- ❑ Radlager dritter Generation mit integrierter Radnabe

McPherson Achse – Audi A3



Einzelradaufhängungen - Beispiele

McPherson Federbeinachse

Aufbau

Feder

- ❑ Stahlfeder mit linearer Charakteristik

Dämpfer

- ❑ Zweirohrdämpfer mit Polyurethan-Zusatzfeder

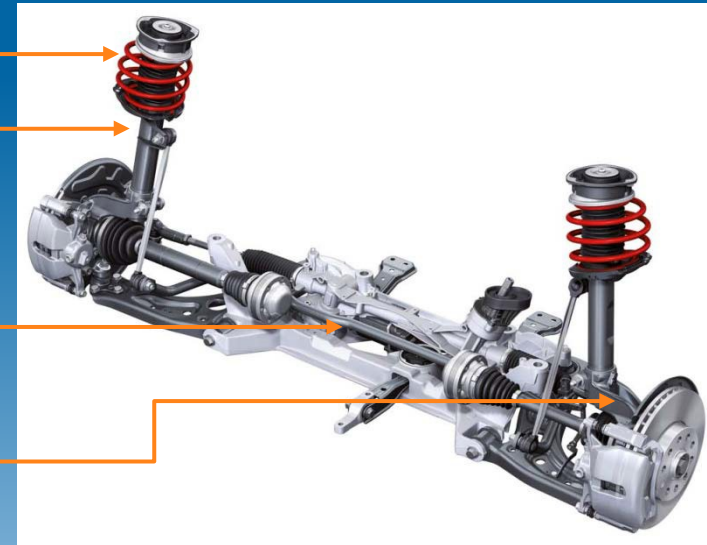
Stabilisator

- ❑ Rohrstabilisatoren

Schwenklager

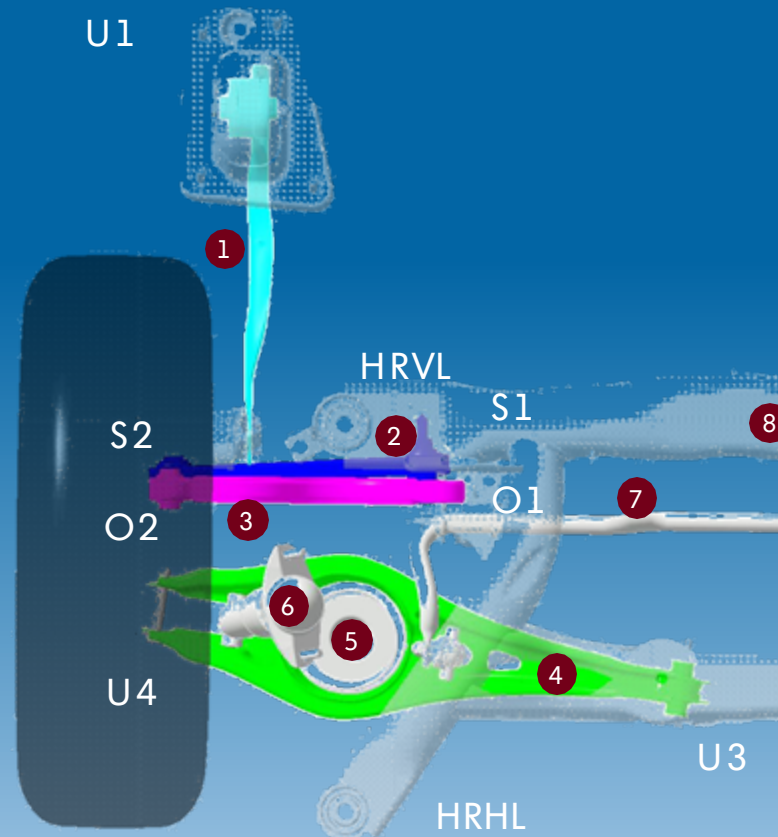
- ❑ zwei Varianten motorisierungsabhängig
- ❑ Stahlschwenklager 15"
- ❑ Aluminiumschwenklager 16/17"

McPherson Achse – Audi A3



Einzelradaufhängungen - Beispiele

Vierlenker Hinterachse - Übersicht



- 1 Längslenker
- 2 Spurstange
- 3 Oberer Querlenker
- 4 Federlenker
- 5 Feder
- 6 Dämpfer
- 7 Stabilisator
- 8 Hilfsrahmen

Einzelradaufhängungen - Beispiele

Vierlenker Hinterachse - Zusammenfassung

- ☐ Radführung durch einen Längs- und drei Querlenker, der Längslenker ist fest mit dem Radträger verschraubt, dadurch kinematisch überbestimmt (Längslenker und U1-Lager nehmen Torsionskräfte auf).
- ☐ Sehr gute Trennung von Längs- und Querkraften. Dadurch hohes Potenzial hinsichtlich Fahrdynamik und Fahrkomfort.
- ☐ Gute Abstützung der Bremskräfte über den Längslenker, dadurch längsweiche Achslager möglich.
- ☐ Kinematisches Komfortpotential durch Lagerung des Längslenkers in der Karosserie nicht in vollem Maße nutzbar (Schrägfederung).
- ☐ Günstiges Package (Durchladebreite und niedrige Bauhöhe), besonders geeignet für Kurzheckpackage.
- ☐ Bauart als angetriebene und nicht angetriebene Achse mit unterschiedlichem Radträger und Hilfsrahmen.
- ☐ Hilfsrahmen starr (A-Klasse) oder elastisch gelagert (B-Klasse).
- ☐ Einsatz in der PQ3x, PQ4x, MQB und geplant für MQB A0 (Allrad).

Inhalt Vorlesung Achskonzepte WS 2021/22

1. Vorlesung (Teil 5a) 19.11.2021

- **Vorstellung**
- Prozess
- Fahrwerk
- Achskinematik
- Zielgrößen

2. Vorlesung (Teil 5b) 19.11.2021

- **Achskonzepte**
 - Einführung
 - Starrachsen
 - Halbstarrachsen
 - Einzelradaufhängungen
 - Beispiele
 - Achsen im Wettbewerb
- **Fallbeispiel**

3. Vorlesung (Teil 6a) 03.12.2021

4. Vorlesung (Teil 6b) 03.12.2021

5. Vorlesung (Teil 7a) 17.12.2021

6. Vorlesung (Teil 7b) 17.12.2021

Achsbaukästen

Erprobung,
Simulation und
Innovationen

Vorderachsen im Wettbewerb

EU	Klasse	A000/ A0	A0	A0/ MPV	A0 SUV	A	A MPV	A SUV	B	B MPV	B SUV
	OEM 1										
	OEM 2										
	OEM 3										
	OEM 4										
	OEM 5										
	OEM 6										

Mc-Pherson

Doppelquerlenker

Hinterachsen im Wettbewerb

EU	Klasse	A000/ A0	A0	A0/ MPV	A0 SUV	A	A MPV	A SUV	B	B MPV	B SUV
	OEM 1										
	OEM 2										
	OEM 3										
	OEM 4										
	OEM 5										
	OEM 6										

Verbundlenker

4-Lenker

Trapezlenker

Starrachse

Mehrlenker

Agenda 19.11.2021

Uhrzeit	TOP
08.00-08.40	Begrüßung, Vorstellung, Ablauf, Prozess
08.40-09.00	Fragen zum Prozess
09.00-09.45	Fahrzeug und Grundgrößen
09.45-10.00	Pause
10.00-10.45	Achskinematik und Auslegung
10.45-11.15	Erstauslegung
11.15-12.15	Mittagspause
12.15-13.00	Wissensaustausch Achskonzepte (Hebebühne)
13.00-13.45	Achskonzepte Teil 1 (Starrachsen, Halbstarrachsen)
13.45-14.30	Innovation Talk - Fahrdynamik
14.30-14.45	Pause
15.45-15.30	Achskonzepte Teil 2 (Einzelradaufhängungen, Beispiele)
15.30-16.00	Fragen und Antworten
16.00	Ende

Agenda 19.11.2021

Uhrzeit	TOP
08.00-08.40	Begrüßung, Vorstellung, Ablauf, Prozess
08.40-09.00	Fragen zum Prozess
09.00-09.45	Fahrzeug und Grundgrößen
09.45-10.00	Pause
10.00-10.45	Achskinematik und Auslegung
10.45-11.15	Erstauslegung
11.15-12.15	Mittagspause
12.15-13.00	Wissensaustausch Achskonzepte (Hebebühne)
13.00-13.45	Achskonzepte Teil 1 (Starrachsen, Halbstarrachsen)
13.45-14.30	Innovation Talk - Fahrdynamik
14.30-14.45	Pause
15.45-15.30	Achskonzepte Teil 2 (Einzelradaufhängungen, Beispiele)
15.30-16.00	Fragen und Antworten
16.00	Ende