4. Wirkung von Kräften beim Fahren

Wirkung von Kräften beim Fahren

- 4.1 Kraftschluss, Reibung, Rollwiderstand
- 4.2 Auswirkungen unterschiedlicher Ladungen
- 4.3 in Steigungen und Gefällen
- 4.4 Luftwiderstand, Seitenführungskraft, Fliehkraft
- 4.5 Kippmomente

4.1 Kraftschluss, Reibung, Rollwiderstand

---

1) Wichtige Begriffe – kurz & klar

- **Kraftschluss**: Übertragung von Kräften zwischen Reifen und Untergrund durch Haftreibung (ohne Schlupf). Maximal nutzbarer Kraftschluss ∝ Reibbeiwert μ und Normalkraft (Radlast).
- **Haft- vs. Gleitreibung**: Haftreibung (Grip) ist höher als Gleitreibung (Rutschen). ABS/ASR halten Schlupf im günstigen Bereich, damit du lenkfähig bleibst.
- **Reibbeiwert μ (typisch):**
  - Trockener Asphalt: ca. 0,8–0,9
  - Nasser Asphalt: ca. 0,4–0,6
  - Schnee/Matsch: ca. 0,2–0,3
  - Eis/Schneeglätte: ca. 0,1 (oder weniger)
  - Feldboden (fest → weich): stark schwankend; Traktion entsteht zusätzlich über Bodenschub (Stollen greift ein).
- **Rollwiderstand** (c_{rr}): Energieverlust durch Reifenverformung/Untergrund.
  - Straße (Traktor-Transportreifen): 0,015–0,03
  - Feld/Wegeboden: 0,05–0,12 (+)
- **Grip-Kuchen (Kraftschluss-Ellipse):** Bremsen, Beschleunigen und Lenken „teilen“ sich den gleichen Grip. Viel bremsen = weniger Lenkreserve – und umgekehrt.

2) Was beeinflusst deinen Grip?

- **Untergrund & Sauberkeit:** Nässe, Schlamm, Laub, Splitt senken μ drastisch. Schmutz vom Hof/aus dem Feld abkehren (§ 32 StVO) – das schützt dich und andere.
- **Radlast/Stützlast:** Mehr Normalkraft auf der Achse = mehr möglicher Kraftschluss. Zu leichte Vorderachse → Lenkprobleme.
- **Reifen & Luftdruck:**
  - Straße: eher höherer Druck = ruhiger Lauf, weniger c_{rr}, aber Komfort/Grip auf Nässe beachten.

    - Feld: reduzierter Druck (nach Hersteller!) = größere Aufstandsfläche, weniger Bodendruck, bessere Traktion.
- **Tempo & Fahrstil:** Sanfte Pedale, saubere Lenkung. Harte Eingriffe „verbrauchen“ den Grip-Kuchen.
- **Fahrzeugtechnik:** 4WD/Diff-Sperren nur situativ (Anfahren/loser Boden). Auf griffigem Asphalt sonst Verspannungen/Untersteuern.

3) Rechnen, aber praxisnah

- **Max. Beschleunigung/Bremsen:** $a_{\max} = \mu \, g$.
- **Theoretische Bremsstrecke (ohne Reaktion):** $s_B = \frac{v^2}{2\,\mu\,g}$

Beispiel 50 km/h (≈ 13,9 m/s, Reaktion 1 s ≈ 14 m):

- Trocken (μ = 0,8): **12 m** Bremsweg → **≈ 26 m** inkl. Reaktion.
- Nass (μ = 0,4): **25 m** Bremsweg → **≈ 39 m** inkl. Reaktion.
- Eis (μ = 0,1): **98 m** Bremsweg → **≈ 112 m** inkl. Reaktion.

Rollwiderstandskraft: $F_{rr} = c_{rr}\, m\, g$. Beispiel 12 t: Straße (0,02) ≈ 2,4 kN; Feld (0,08) ≈ 9,4 kN → deutlich mehr Zugkraft/Verbrauch nötig.

4) Schritt-für-Schritt: So holst du sicheren Grip heraus

1. **Vor Fahrtbeginn:** Reifen auf Schäden/Profil prüfen, Luftdruck nach Einsatz (Straße/Feld) einstellen; Ladung/Stützlast korrekt verteilen.
2. **Anfahren/Traktion:** Sanft einkuppeln, ggf. 4WD/Quersperre kurz zuschalten. Auf Asphalt ohne Sperre fahren.
3. **Bremsen:** Geradeaus stark = ok; in Kurven vorher Tempo rausnehmen, dann lenken. ABS hält Lenkbarkeit – trotzdem Pedal stetig drücken (nicht pumpen).
4. **Lenken:** Weiche, frühe Lenkimpulse. Wenn es rutscht: Fuß vom Gas/Bremse lösen und Fahrzeug stabilisieren.
5. **Saubere Fahrbahn:** Erd-/Silagereste sofort sichern/beseitigen (Eigenverantwortung, Betriebspflicht).

5) Häufige Fehler – und die bessere Lösung

- **Vollbremsung in der Kurve** → Untersteuern/Anhänger schiebt. *Besser:* Vor der Kurve bremsen, in der Kurve nur sanft dosieren.
- **Zu wenig Vorderachslast** → Traktor lenkt schwammig. *Besser:* Stützlast/Frontgewicht anpassen, Ladung umverteilen.
- **Dauerhaft niedriger Reifendruck auf Straße** → Hitze, Verschleiß, hoher c_{rr}. *Besser:* Transportdruck nutzen oder CTIS (Reifendruckregelanlage).
- **Schlamm auf Straße** → μ fällt stark. *Besser:* Abstreifen/Reinigen, Warnen/Sichern, sofort beseitigen.

Prüfungskern (Merksatz)

„Grip ist begrenzt. Ich teile ihn klug: erst bremsen, dann lenken, sanft fahren. Reifen/Luftdruck und saubere Fahrbahn bringen Sicherheit – Tempo passe ich dem μ an.“

Praxis-Drill „Nassbremsung & Ausweichen“ (3–4 Min.)

1. Auf nasser Strecke 40 km/h → früh vom Gas, gerade kräftig bremsen.
2. Lenkhaken setzen (Ausweichen) mit halbem Bremsdruck → Grip-Kuchen spürbar machen.
3. Nach Stabilisierung wieder sanft beschleunigen; Spiegel/Ladung prüfen.

Sinnvolle Medien zum Einbau

- **Poster/Chart:** „Grip-Kuchen“ (Kraftschluss-Ellipse) mit Beispielen Bremsen/Lenken.
- **Kurzvideo:** Einfluss von Reifendruck (Straße vs. Feld) auf Traktion und Bremsweg.
- **Demo auf dem Hof:** Nass-Platte mit/ohne Schlamm → Unterschied in μ erfahrbar machen.

Kleine Übungsfragen

- Warum kannst du beim gleichzeitigen **starken Bremsen** nur noch **wenig lenken**?
- Wie verändert **nasser Asphalt** deinen Bremsweg bei 50 km/h – grob in Metern?
- Welche Vor-/Nachteile hat **niedriger Reifendruck** auf Feld und Straße?
- Welche Maßnahmen triffst du, wenn du **Schlamm** auf die Fahrbahn getragen hast?
- Wann schaltest du **4WD/Sperren** sinnvoll, und wann wieder aus?

4.2 Auswirkungen unterschiedlicher Ladungen

---

1) Grundlagen – warum „gleiche Masse“ nicht gleich „gleiches Risiko“ ist

- **Masse und Trägheit:** Je schwerer, desto mehr Energie muss beim Bremsen/Lenken beherrscht werden.
- **Schwerpunktlage:** Hoher Schwerpunkt = früheres Kippen in Kurven/Schrägfahrt.
- **Lastverteilung:** Zu wenig Vorderachslast = schlechte Lenkung; zu viel Hinterachslast = Anhänger schiebt.
- **Stützlast:** Genug Stützlast stabilisiert den Zug; zu wenig → „Schlingern“, zu viel → Vorderachse wird zu leicht.
- **Reibwert und Reifen:** Reifendruck, Profil und Untergrund bestimmen, wie viel Kraft übertragen werden kann.
- **Bremsanlage:** Wirkt die Anhängerbremse zu schwach/spät, verlängert sich der Bremsweg und die Kipp-/Knicksgefahr steigt.

2) Typische Ladungen und ihre Fahrauswirkungen

Ladungstyp	Typische Effekte	Risiken	Fahr- & Sicherungsstrategie

Kompakt-schwer (z. B. Big Bags, Maschinen)	Hohe Gesamtmasse, oft tief liegender Schwerpunkt	Längere Bremswege bei schwacher Anhängerbremse; Vorderachse evtl. zu leicht	Bremsprobe; ALB/Anhängerbremse prüfen; ausreichende Stützlast; form- & kraftschlüssig zurren
Hoch gestapelt (Ballen, Kisten)	Schwerpunkt wandert nach oben	Kippgefahr in Kurven/Schrägfahrt, Seitenwindempfindlichkeit	Kurventempo stark reduzieren; weiche Lenkung; Niederzurren (Diagonal-/Niederzurren); Stapelhöhen beachten
Schüttgut (Getreide, Sand, Silage)	Setzen/Nachrutschen, wandernder Schwerpunkt	Lastwechsel beim Bremsen; Rieselverlust verschmutzt Fahrbahn	Bordwände/Planen schließen; gleichmäßig beladen; §32 beachten (sofort reinigen)
Flüssigkeiten (Gülle/Wasser) – Teilfüllung	Schwallbewegung längs/quer	„Nachschieben“ beim Bremsen, Aufschaukeln, Kippneigung	Möglichst „leer oder voll“; Schwallwände nutzen; sehr vorausschauend bremsen und lenken
Langgut (Stangen, Stammholz)	Langer Überstand, veränderte Lastverteilung	Ausschwenken beim Abbiegen; Sichtbehinderung	Überstand vorschriftsgemäß kennzeichnen; Zurrpunkte über die Länge verteilt; große Radien fahren
Lebende Ladung (Tiere)	Schwerpunkt verlagert sich permanent	Plötzliche Lastwechsel; Stress bei Tieren	Sanfter Fahrstil; weites Abstandhalten; rutschhemmender Boden; Lüftung beachten
Front-/Heckanbaugeräte	Achslasten ändern sich stark	Lenkeinfluss, Bremsbalance, Sicht	Passende Ballastierung; Transportstellung sichern; ggf. 4WD zuschalten; Tempo anpassen

Hinweis: Exakte Stützlast-/Achsgrenzen und Zurrkräfte entnimmst du immer den Typenschildern/Unterlagen von Traktor, Anhänger und Zurrmitteln.

3) Fahrdynamik – was verändert sich konkret?

- **Bremsen:** Maximale Verzögerung ist durch den Reibwert begrenzt. In der Praxis verlängern schwache/fehlerhafte Anhängerbremsen und Schwallbewegungen den Bremsweg deutlich. Praxis: Immer eine Bremsprobe machen – der Anhänger muss „mitbremsen“, nicht schieben.

- **Kurven/Seitenneigung:** Hoher Schwerpunkt kippt früher. Je höher die Ladung, desto geringer dein sicheres Kurventempo. Praxis: Vor der Kurve stärker abbremsen, in der Kurve nur leicht lenken/bremsen. Schrägfahrten quer zum Hang vermeiden.
- **Traktion/Lenkung:** Zu geringe Vorderachslast führt zu Untersteuern und längerem Lenkweg. Schüttgut/Flüssigkeit kann beim Anfahren nach hinten wandern und plötzlich Grip kosten.

4) Schritt-für-Schritt: Einstellungen und Fahrstil anpassen

1) Vor Fahrtbeginn

- Ladung gleichmäßig verteilen, Stützlast passend einstellen; Zurrmittel prüfen (etikettiert, unbeschädigt).
- Reifendruck nach Einsatz (Straße/Feld) und Achslast anpassen.
- Anhängerbremse/ALB-Funktion testen; Beleuchtung/Markierung kontrollieren.

2) Losfahren/Anfahren

- Sanft einkuppeln; bei Zuglast ggf. Allrad kurz zuschalten.
- Mit Flüssigkeit/Schüttgut besonders vorausschauend: keine harten Impulse.

3) Bremsen und Kurven

- Immer vor der Kurve auf Wunschtempo; in der Kurve keine Vollbremsung.
- Mit hoher/instabiler Ladung: Sicherheitszuschlag fürs Tempo – lieber deutlich langsamer als „gewohnt“.

4) Gefälle und Seitenwind

- Gangwahl früh, Motorbremse nutzen.
- Mit hohen Aufbauten windempfindlich → beide Hände ans Lenkrad, Tempo reduzieren.

5) Nach der Fahrt

- Zurrmittel entspannen/prüfen; Schüttgut-/Schlammreste beseitigen (StVO §32).

5) Häufige Fehler – und bessere Lösungen

- **„Nur schwer, also stabil“:** Irrtum! Hohe Masse plus hoher Schwerpunkt kippt früher. Besser: tief und breit stapeln, Niederzurren.
- **Teilgefüllter Gülletank:** Starker Schwall → lange Bremswege. Besser: voll/leer fahren, größere Abstände, sehr sanfte Manöver.
- **Zu geringe Stützlast:** Gespann beginnt zu pendeln. Besser: Stützlast im zulässigen Bereich einstellen (Herstellerwerte beachten).
- **Schlamm/Silage auf der Straße:** Rutschgefahr für alle. Besser: direkt sichern/reinigen und ggf. warnen/absichern.

Prüfungskern (Merksatz)

„Ladung bestimmt das Fahrverhalten: Schwerpunkt tief, Last gut verteilt, Stützlast passend. Ich fahre vorausschauend – erst Tempo raus, dann lenken. Anhängerbremse muss mitarbeiten, Fahrbahn bleibt sauber.“

Kleine Übungsfragen

1. Welche drei Fahrwerksgrößen verändern sich durch hohe, schmale Stapelware?
2. Warum verlängert eine Teilfüllung im Tank deinen Bremsweg?
3. Wie bemerkst du zu wenig Stützlast – und was stellst du um?
4. Nenne zwei Maßnahmen, um Rieselverluste/Verunreinigungen zu verhindern.
5. Was prüfst du an der Anhängerbremse vor jeder Fahrt?

4.3 in Steigungen und Gefällen

---

1) Physik am Berg – was passiert?

- **Hangabtriebskraft** zieht bergab, **Traktion** muss bergauf überwunden werden.
  Merke: Bergab schrumpft deine „Grip-Reserve“ fürs Lenken/Bremsen, bergauf steigt der Schlupfbedarf beim Anfahren.
- **Normalkraft ↓** am Berg → weniger nutzbarer Kraftschluss je Achse; die **Lastverteilung** verschiebt sich (bergauf: nach hinten, bergab: nach vorn).
- **Bremsfading**: Dauerbremsen überhitzt Bremsen → Wirkung lässt nach. Punktuell, kräftig und kurz bremsen ist besser als dauerhaft leicht.

---

2) Technik bergab – sicher und materialschonend

1. **Vor dem Gefälle**
   - **Schauen** (Weitblick, Gegenverkehr, Ausweichräume), **schalten** (frühzeitig niedrigen Gang wählen), **absichern** (Abstand vergrößern).
   - **Motorbremse** nutzen: bei Schaltgetriebe niedriger Gang; bei CVT/Lastschaltgetriebe „Hold“/„Engine Brake“/Zapfwelle *nicht* missbrauchen.
   - **Allrad** bei geringer Geschwindigkeit und schlechter Haftung vor dem Gefälle zuschalten; **Diff-Sperren** nur bei gerader Fahrt nutzen, vor Kurven lösen.
2. **Im Gefälle**
   - Tempo mit Motorbremse halten; Servicebremse nur kurz und kräftig dosieren (Intervall), um Überhitzung zu vermeiden.
   - **Nie mit getretener Kupplung** rollen lassen (Freilauf = keine Motorbremse, Gefahr des „Davonlaufens“).
   - **Blickführung** weit, Lenkimpulse ruhig; keine Lastwechsel in Kurven.
3. **Nach dem Gefälle**
   - Bremsen nicht „riechen“ lassen – ggf. kurze Abkühlpause.

- Allrad, Sperren wieder aus – *außer* es bleibt rutschig/abseits der Straße.

---

3) Technik bergauf – kraftvoll ohne Durchdrehen

1. **Vor der Steigung**
   - Gang so wählen, dass du ohne Nachschalten hochkommst; Schwung nutzen, aber angepasst.
   - Reifendruck/Traktion prüfen; Allrad ggf. vorher zu, Sperren nur bei Geradeausfahrt.
2. **Im Anstieg**
   - Konstant Gas; **keine hektischen Schaltvorgänge**. Bei CVT: Zugkraftregelung „stabil“.
   - Wenn Räder durchdrehen: Gas minimal zurück, notfalls kurz anhalten und neu anfahren.
3. **Berganfahren** (mit Anhänger)
   - Fußbremse halten, **Zug aufbauen** (Kupplung bis Schleifpunkt), dann Bremse lösen und sauber einkuppeln.
   - Mit Handbremse/Anfahrhilfe („Hill-Hold“) arbeiten, wenn vorhanden. Kein langes Kupplungsschleifen → Überhitzung!

---

4) Besonderheiten mit Anhänger

- **Schub bergab:** Anhänger darf den Traktor nicht „anschieben“. Vor Abfahrt **Bremsprobe** (Hydraulik-/Druckluftbremse, ALB) – Bremse muss gleichzeitig und kräftig greifen.
- **Stützlast/Lastverteilung** korrekt wählen (siehe 4.2): zu wenig → Pendeln, zu viel → Lenkfähigkeit leidet.
- **Teilfüllungen (Gülle/Wasser):** Schwall verstärkt das „Nachschieben“. Noch früher runterbremsen, sehr weich lenken.
- **Unterlegkeile** mitführen und beim Halten/Parken am Berg anlegen; Fahrzeug gegen Wegrollen sichern (Parkbremse, Gang einlegen/„P“).

---

5) Winter, Nässe, Feldwege

- **Nass/Laub/Schlamm:** Die Bodenhaftung fällt stark → Tempo weiter reduzieren, **Lenken oder Bremsen** – nicht beides hart zugleich.
- **Schnee/Eis:** Ketten rechtzeitig montieren, sanfte Befehle, größere Abstände.
- **Schotter/Erde:** Rinnen quer zum Hang vermeiden; mit Anhänger möglichst gerade talwärts anhalten/anfahren.

---

6) Häufige Fehler – und bessere Lösungen

- **Dauerbremsen bergab** → Fading. *Besser:* niedriger Gang + kurze, kräftige Bremsimpulse.
- **Mit getretener Kupplung rollen** → keine Motorbremse. *Besser:* Kupplung oben lassen, Gang drin.
- **Sperren in der Kurve** → Verspannen, Unter-/Übersteuern. *Besser:* nur geradeaus, vor Kurven lösen.
- **Zu spätes Runterschalten** im Anstieg → Leistungsloch. *Besser:* früh schalten, Drehmomentwelle nutzen.

Prüfungskern (Merksatz)

„Vor dem Berg entscheiden: Gang wählen, Tempo runter, Blick weit. Bergab trägt die Motorbremse, ich bremse nur kurz und kräftig. Bergauf ohne Hektik, sauber anfahren. Anhänger bremst mit – Fahrzeuge am Berg immer sicher gegen Wegrollen sichern.“

Kleine Übungsfragen

1. Warum ist Dauerbremsen bergab gefährlich und wie vermeidest du es?
2. Wie bereitest du dich vor einer langen Gefällestrecke mit Anhänger vor?
3. Erkläre den Unterschied im Fahrverhalten bei voller vs. teilgefüllter Tonne bergab.
4. Welche Schritte gehören zum sicheren Berganfahren mit Anhänger?
5. Wann schaltest du Allrad/Differentialsperren ein – und wann wieder aus?

4.4 Luftwiderstand, Seitenführungskraft, Fliehkraft

---

1) Luftwiderstand – „der unsichtbare Gegner“ ab Tempo 40–60 km/h

- **Worum geht’s?** Je schneller du fährst, desto deutlich stärker drückt die Luft gegen Fahrzeug und Ladung. Das frisst Leistung und macht Seitenwind-Einflüsse spürbarer.
- **Beobachtbar im Alltag:** Zwischen 40 und 60 km/h steigen Geräusch, Verbrauch und Pedallast merklich. Mit großem Aufbau (Ballen, Kisten, breiter Frontlader) spürst du das noch früher.
- **Konsequenz:** 60 km/h ist nur sinnvoll, wenn Strecke, Sicht, Ladung und Wind es hergeben. Sonst lieber 5–15 km/h weniger – ruhiger und sicherer.

Tipps gegen zu viel Luftwiderstand

- Ladung **glatt und tief** stapeln, Schüttgut **abdecken**, Planen straff.
- Frontlader absenken/anklappen; unnötige Anbauten demontieren.
- Bei starkem Gegen- oder Seitenwind: **Tempo senken**, beide Hände ans Lenkrad, mehr Abstand.

---

2) Seitenführungskraft – wie Reifen dich „in der Spur“ halten

- **Worum geht’s?** Reifen können nur eine begrenzte Haftung liefern. Diese wird zwischen Bremsen/Beschleunigen und Lenken aufgeteilt.
- **Wichtige Regel:** *Erst stark abbremsen, dann lenken, in der Kurve nur halten, danach ruhig wieder ziehen.* So überforderst du die Reifen nicht.
- **Traktor-Effekt:** Hoher Aufbau (z. B. Ballen hoch gestapelt, Frontlader oben) verlagert Gewicht und entlastet kurveninnere Räder – sie rutschen früher.
- **Mit Anhänger:** Zu wenig Stützlast → Gespann pendelt in der Kurve; zu viel → Vorderachse lenkt schlechter. Immer im zulässigen Bereich einstellen.

Grip-Fallen und Gegenmittel

- **Nass/Laub/Schlamm/Schnee:** Sehr vorsichtig lenken und bremsen, keine „Hauruck“-Manöver.
- **Falscher Reifendruck:** Schlechtere Aufstandsfläche → unruhiges Einlenken. Herstellerwerte einhalten.
- **Lastwechsel in der Kurve:** Plötzlich Gas weg oder bremsen lässt die Hinterachse leichter werden → ruhig bleiben, sanft korrigieren.

---

3) Fliehkraft – der „Drang nach außen“ in der Kurve

- **Worum geht’s?** In jeder Kurve drückt es dich nach außen. Je schneller und je enger, desto stärker.
- **Traktor-Effekt:** Hoher Schwerpunkt (Ballenstapel, hoch geführter Frontlader, Aufbaugeräte) erhöht die Kippneigung. Was mit leerem, niedrigem Traktor noch ging, kann mit hoher Ladung zu schnell sein.
- **Praxisbeispiel:** Gleiche Landstraßenkurve:
  - Mit 40 km/h: ruhig, gut zu halten.
  - Mit 60 km/h: deutlich mehr „Schieben nach außen“, Lenkreserve kleiner – mit hoher Ladung potenziell kritisch.

Verdoppelt sich die Geschwindigkeit - **vervierfacht** sich die Fliehkraft

Sicher durch die Kurve

- **Vor** der Kurve Tempo passend wählen und **niedrigen Gang** einlegen.
- Blick zum Kurvenausgang, **weiche Lenkimpulse**, in der Kurve nicht stark nachbremsen.
- Mit Anhänger: Zug vor der Kurve **geradeziehen**, Stützlast und Anhängerbremse im Blick.

---

4) Hoher Schwerpunkt – Sonderregeln für Ballen, Kisten, Frontlader

- **Gefahr:** Früheres Kippen in schnellen Kurven, bei Schrägfahrten, auf Kuppen und in Wechselkurven.
- **Maßnahmen:**
  - Frontlader möglichst **tief** führen und Last dicht am Fahrzeug.
  - Kurven **langsamer** und weiter fahren, abruptes Lenken vermeiden.
  - Schrägfahrten (Quer zum Hang) vermeiden, lieber längs den Hang hinauf oder hinunter.
  - Wenn möglich Ladung niedriger stapeln oder Fahrt **unter 60 km/h** deutlich reduzieren.

---

5) Seitenwind – wenn’s am Lenkrad zupft

- **Typisch:** Hohe Planen, Ballenstapel oder breite Aufbaugeräte bieten viel Angriffsfläche.
- **Maßnahmen:** Tempo 5–15 km/h runter, beide Hände ans Lenkrad, Spur ruhig halten, mehr Seitenabstand zu Radfahrern/stehenden Fahrzeugen. Planen straff, Ladung bündig.

Häufige Fehler – und bessere Lösungen

- **„In der Kurve noch eben stark bremsen“** → Reifen überfordert. *Besser:* Vor der Kurve fertig bremsen.
- **Frontlader hoch geführt bei 60 km/h** → hohe Kippneigung. *Besser:* Frontlader runter, Tempo anpassen.
- **Teilgefülltes Güllefass schnell in Kurve** → Schwall verlagert Gewicht. *Besser:* Tempo senken, weiter Bogen, ruhig lenken.
- **Seitenwind ignoriert** → Versetzen der Spur. *Besser:* Tempo runter, Gegenlenken sanft, Abstand erhöhen.

Prüfungskern (Merksatz)

„Tempo kostet Grip und Stabilität: Vor der Kurve bremsen, in der Kurve ruhig lenken, nachher sanft ziehen. Hohe Ladung = Tempo weiter runter, Frontlader tief, Seitenwind ernst nehmen.“

Kleine Übungsfragen

1. Warum ist 60 km/h mit hoher, kantiger Ladung oft keine gute Idee?
2. Wie verteilst du Bremsen und Lenken, damit die Reifen nicht überfordert werden?
3. Welche drei Maßnahmen reduzierst du bei Seitenwind sofort?
4. Welche Fehlerquelle entsteht bei teilgefüllten Tanks/Fässern in Kurven?
5. Wie führst du den Frontlader, um die Kippgefahr zu verringern?

4.5 Kippmomente

---

1) Grundidee – warum kippt ein Fahrzeug?

- **Kippmoment**: Alles, was dich zur Seite oder nach vorne/hinten „um die Räderkante“ drücken will (z. B. schnell gefahrene Kurve, Seitenhang, Schwall im Tank, Bordsteinkante).
- **Stabilisierung**: Breite Spur, niedriger Schwerpunkt, gleichmäßige Lastverteilung und ruhige Fahrmanöver halten dich aufrecht.
- **Traktor-Spezialfall**: Die Vorderachse kann pendeln. Auf schrägem Untergrund trägt die Hinterachse entscheidend zur Stabilität bei – eine breite Hinterspur bringt viel.

---

2) Typische Kipp-Situationen mit Traktor

- **Kurve zu schnell** (besonders mit hoch geführtem Frontlader oder hoch gestapelten Ballen) → Drang nach außen, Innenräder werden leicht, Kippgefahr.
- **Seitenhang / Quergefälle** → Fahrzeug neigt sich talwärts, eine Bodenwelle oder Loch reicht zum Umkippen.
- **Weiches Bankett, Graben, Kante** → Ein Rad sackt ab, Schwerpunkt wandert schlagartig nach außen.
- **Schwall in Teilfüllungen** (Güllefass, Spritze) → Flüssigkeit schlägt in die Kurvenaußenseite, Kippmoment steigt sprunghaft.
- **Ungünstige Stützlast am Anhänger** → Zu wenig vorn: Lenkung leicht, Gespann pendelt. Zu viel vorn: Vorderachse „taucht“ beim Bremsen, instabil in der Kurve.
- **Frontladerarbeit am Hang** → Last weit vorne/hoch, kleine Lenkkorrektur oder Bodenstufe genügt.
- **Seitenwindböen** bei hoher, kantiger Ladung → zusätzliche seitliche Kraft auf Aufbau/Plane.

---

3) Was begünstigt Kippen – was hilft dagegen?

Begünstigend

- **Hoher Schwerpunkt** (hoch gestapelte Ballen, Frontlader oben, Aufbaugeräte).
- **Schmale Spur** (insbesondere hinten), falscher Reifendruck, weicher Untergrund.
- **Hektische Manöver**: scharfes Einlenken, starkes Bremsen in der Kurve, ruckartige Lastwechsel.
- **Teilgefüllte Tanks** ohne Schwallwände, schlechte Lastverteilung, falsche Stützlast.

Schützend

- **Spur verbreitern** (Spurverbreiterung, Zwillingsräder), **Ballast tief** (Rad-/Front-/Heckgewichte), Last nah am Fahrzeug führen.
- **Reifendruck** nach Hersteller, für Straße und Last passend.
- **Ruhige Fahrweise**: vor der Kurve bremsen, weiter Bogen, in der Kurve nur halten, danach sanft beschleunigen.
- **Tanks ganz voll oder sehr leer** fahren (wo praktikabel) – weniger Schwall.
- **Stützlast** im zulässigen Bereich einstellen; funktionsfähige Anhängerbremse.
- **ROPS (Überrollschutz) + Gurt** immer nutzen; keine Mitfahrer auf Trittbrettern/Anbauten.

---

4) Fahrstrategie – so vermeidest du Kippmomente

- **Tempo:** Mit hoher/oberer Ladung deutlich unter 60 km/h bleiben; auf Landstraße oft 10–30 km/h langsamer als leer, vor allem vor Kurven und bei Wind.
- **Kurven:** Vor der Kurve abbremsen und niedrigen Gang wählen; in der Kurve nicht stark nachbremsen. Zug/Anhänger **vor** der Kurve geradeziehen.
- **Frontlader:** Last tief und nah am Fahrzeug, Schaufel leicht nach hinten gekippt; am Hang nur mit viel Reserve manövrieren.
- **Hangfahrten:** Quergefälle meiden; wenn es sein muss, sehr langsam, gleichmäßig, ohne Ruck. Besser längs (bergauf/bergab) fahren.

- **Kanten/Bankette:** Wenn möglich im rechten Winkel und langsam überfahren; seitlichem Abrutschen vorbeugen, Abstand halten.
- **Sperren/Allrad:** Nur dort nutzen, wo nötig; vor Kurven auf fester Straße lösen, um Verspannungen und Schieben nach außen zu vermeiden.

---

5) Notfall: drohendes Kippen – was jetzt?

- **Ruhe bewahren**, Blick in Fluchtrichtung. Keine hektischen Gegenlenk-Rucke.
- **Gas weg**, **sanft** bremsen. In der Kurve die Linie öffnen (weniger stark lenken), wenn Platz ist.
- **Front-/Heckgerät sofort absenken**, um den Schwerpunkt zu senken und das Fahrzeug zu stabilisieren.
- Am Hang, wenn möglich, **talwärts ausrichten** und anhalten.
- **Gurt anlegen – im Fahrzeug bleiben**, wenn es trotz allem kippt (nur sicher mit Überrollschutz). Nach Stillstand: Motor aus, Umfeld sichern, Hilfe holen.

---

6) Mini-Beispiele aus der Praxis

- **Ballen hoch gestapelt, 60 km/h, weite Landstraßenkurve:** 15–25 km/h langsamer anfahren als leer, Frontlader unten, Blick weit, vor der Kurve fertig bremsen.
- **Teilgefülltes Güllefass, Feldzufahrt mit Kante:** Schrittgeschwindigkeit, möglichst im 90°-Winkel, gerade Räder; danach langsam beschleunigen, Schwall abklingen lassen.
- **Seitenhang mit Frontladerarbeit:** Last dicht und tief, ggf. Heckballast montieren, nur minimal lenken; wenn unsicher: Hang verlassen und Stelle neu anfahren.
- **Seitenwind mit Planen-/Kistenaufbau:** 10–20 km/h runter, beide Hände ans Lenkrad, Abstand erhöhen; ruckfreie Lenkkorrekturen.

Prüfungskern (Merksatz)

„Kippmomente entstehen durch Tempo, Höhe und Schräglage. Daher: Last tief und nah, Spur breit, vor der Kurve bremsen, in der Kurve ruhig. Mit hoher Ladung lieber deutlich unter 60 km/h.“

Kleine Übungsfragen

1. Nenne drei Situationen, in denen das Kippmoment am Traktor besonders groß wird.
2. Welche zwei Maßnahmen senken das Kipprisiko beim Arbeiten mit dem Frontlader sofort?
3. Warum sind Teilfüllungen in Tanks problematisch in Kurven?
4. Wie wirkt sich zu geringe Stützlast auf das Fahrverhalten in der Kurve aus?
5. Was tust du, wenn du in einer Kurve merkst, dass das Fahrzeug zum Kippen neigt?