

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 \propto 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)
 - Feldeboden (fest \rightarrow 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 \rightarrow 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:** $(a_{\max} = \mu \cdot g)$.
- **Theoretische Bremsstrecke (ohne Reaktion):** $(s_B = \frac{v^2}{2 \cdot \mu \cdot g})$

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

- Trocken ($\mu = 0,8$): **12 m** Bremsweg $\rightarrow \approx$ **26 m** inkl. Reaktion.
- Nass ($\mu = 0,4$): **25 m** Bremsweg $\rightarrow \approx$ **39 m** inkl. Reaktion.
- Eis ($\mu = 0,1$): **98 m** Bremsweg $\rightarrow \approx$ **112 m** inkl. Reaktion.

Rollwiderstandskraft: $(F_{rr} = c_{rr} \cdot m \cdot g)$. Beispiel 12 t: Straße (0,02) $\approx 2,4$ kN; Feld (0,08) $\approx 9,4$ kN \rightarrow 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** \rightarrow 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?