5. Bremsanlagen

Bremsanlagen

- 5.1 Druckluftbeschaffungsanlage
- 5.2 Kombinierte Druckluft-hydraulische Bremsanlage
- 5.2.1 Zugfahrzeug hydraulisch
- 5.2.2 Anhänger Druckluft
- 5.3 Druckluftbremse, Zweileitungsbremse

5.1 Druckluftbeschaffungsanlage

Rechtsgrundlagen (Auszug)

- StVZO §41 Bremsen (Betriebs-, Feststell-, Zusatzbremsanlage)
- ECE-R13 (Bremsanlagen – Aufbau/Funktion, Mehrkreisschutz)
- Hersteller-Bedienungsanleitung (Grenzwerte, Wartungsintervalle)

1) Aufbau der Zweikreisdruckluftanlage

- **Kompressor** (motorgetrieben) → **Nachdruckführung**/Kühler → **Ölabscheider** → **Lufttrockner** → **Mehrkreisschutzventil** → **Druckluftbehälter** (mind. zwei Kreise, meist: Vorder-/Hinterachse bzw. Betriebsbremse I/II; weitere Kreise: Feststell-/Anhänger).
- **Druckregler/Regelventil (Governor)**: schaltet den Kompressor auf *Last* (füllen) oder *Leerlauf* (Entlastung), damit der Systemdruck im Sollbereich bleibt.
- **Sicherheitsventil**: schützt vor Überdruck.
- **Manometer/Warnsystem**: Anzeigen je Kreis, Warnlampe/Hupe bei zu niedrigem Druck.
- **Anhängeranschlüsse** (Traktor/zugfähige Fz): Zweileiter – Rot Vorratsleitung (Versorgung), Gelb Steuerleitung (Bremssignal); alternativ Duomatic-Kupplung.

2) Lufttrockner und Frostschutz

- **Lufttrockner**: entzieht Feuchtigkeit mit Trocknungskartusche; regeneriert beim Druckabbau (Ablase-„Pffft“ nach Erreichen des Abschaltdrucks ist normal).
- **Frostschutzpumpe** (ältere/landw. Geräte): dosiert Frostschutzmittel in die Ansaugluft – nur verwenden, wenn das System dafür vorgesehen ist. Bei reinen Lufttrockner-Systemen **kein** Frostschutzmittel zugeben (Bauteilschäden möglich).
- **Kondensatmanagement**: automatische/manuelle Behälterentwässerung. Im Winter besonders wichtig, um Vereisung/Blockaden zu verhindern.

3) Betriebsablauf (vereinfacht)

- Motor starten → Kompressor füllt über Trockner die Behälter.
- Ab einem vorgegebenen Druck schaltet der Druckregler auf Entlastung (Trockner bläst kurz ab).
- Beim Bremsen/Verbrauch sinkt der Druck; unterschreitet er die Nachschaltschwelle, lädt der Kompressor wieder.
- **Losfahren erst, wenn beide Kreise ausreichend Druck haben** und Warnanzeige erloschen ist. Feststellbremse löst sonst u. U. nicht vollständig.

4) Bedienung/Check im Alltag (Traktor Vmax 60 km/h)

- **Täglicher Blick**: Manometer beider Kreise, Warnlampe, hörbare Undichtigkeiten („Zischen“), Zustand Kupplungsköpfe/Dichtungen (rot/gelb sauber, Kappen drauf).
- **Kaltstart Winter**: Druck in Ruhe aufbauen lassen, Kondensat automatisch/manuell ablassen; Frontlader/Schwerlast zunächst *nicht* hochführen.
- **An- und Abkuppeln Anhänger**: Leitungen spannungsfrei verlegen, Farbcodierung korrekt, Abreißsicherung montieren. Nach dem Ankuppeln Dichtheitstest (Pedal halten – Druck darf nicht auffällig fallen).
- **Fahrprobe**: kurze Bremsung geradeaus; Gespann soll spurtreu verzögern, kein Ziehen nach links/rechts.

5) Typische Störungen – Symptome und Maßnahmen

- **Druck baut langsam auf**: Riemenspannung/Kompressorleistung prüfen, vereister/gesättigter Lufttrockner, Leckagen (Schläuche, Kupplungen), verstopfte Filter.
- **Häufiges Ablasen im Stand**: undichtes Rückschlag-/Regelventil, Undichtigkeiten in Kreisen; Lecksuche mit Leckspray.
- **Wasser/Eis im System**: Trocknerkartusche fällig, Entwässerung vernachlässigt; im Frost: Anlage auftauen lassen, Ursache beheben.
- **Öliger Lufttrockner/Behälter**: Kompressor verschleißt (Ölmitriss) → Werkstatt.
- **Warnlampe „niedriger Druck“ während der Fahrt**: sofort Tempo reduzieren, sichere Stelle anfahren, Leck prüfen; Weiterfahrt nur nach Fehlerbehebung.

Prüfungskern (Merksatz)

„Trockene, dichte Luft ist die halbe Bremse: Erst fahren, wenn beide Kreise Druck haben; Lufttrockner fit halten; im Winter Kondensat ablassen und Frostschutz nur verwenden, wenn vom Hersteller freigegeben.“

Praxis-Drill (2–4 Minuten)

1. **Kaltstart-Check:** Motor an, bis zum ersten Trockner-Ablasen warten. Beide Manometer beobachten. Frage: Wann würdest du losfahren?
2. **Dichtheit:** Bremspedal 30–60 s konstant halten (Stand). Beurteile, ob der Druck stabil bleibt. Dann Leitungen/Kupplungen kurz mit Leckspray prüfen.
3. **Winterroutine:** Manuelle Entwässerung vorführen (falls vorhanden). Zeige, wo die Trocknerkartusche sitzt und nenne das Wechselintervall laut Hersteller.

Sinnvolle Medien zum Einbau

- Grafik „Zweikreisanlage“ (Kompressor → Trockner → Mehrkreisschutz → Behälter → Bremskreise)
- Foto „Kupplungsköpfe rot/gelb“ am Traktor mit Schutzkappen
- Kurzvideo: Lufttrockner-Ablasegeräusch und Manometerverlauf

Kleine Übungsfragen

- Welche Aufgabe hat das Mehrkreisschutzventil in der Druckluftanlage?
- Warum ist der Lufttrockner sicherheitsrelevant – und wie erkennst du, dass er arbeitet?
- Wann darfst du Frostschutzmittel einsetzen, und wann nicht?

- Nenne drei Ursachen für langsamen Druckaufbau.
- Was prüfst du direkt nach dem Ankuppeln eines Anhängers mit Zweileiter-System?

5.2 Kombinierte Druckluft-hydraulische Bremsanlage

Rechtsgrundlagen (Auszug)

- StVZO § 41 Bremsen (Betriebs-, Feststell-, Anhängerbremsanlage)
- ECE-R13 (Bremsanlagen; Umsetzer/Wandler, Mehrkreisschutz, Anhängerbremsventil)
- Herstellerangaben/Eintragung: Nur mit **zugelassenem** und **eingetragenem** Luft-/Hydraulik-Umsetzer („Systemwandler“) betreiben.

1) Grundprinzip und Aufbau

- **Ausgangslage**: Zugfahrzeug mit *Druckluft* (Zweileiter: rot = Vorrat, gelb = Steuer) zieht Anhänger mit *Hydraulik*bremsen.
- **Systemwandler (Luft-Hydraulik-Umsetzer)**: wandelt das pneumatische Bremssignal in einen hydraulischen Bremsdruck um.
  - Eingang: Luftversorgung (rot) + Steuersignal (gelb) vom Anhängerbremsventil.
  - Im Wandler: Membran-/Kolbensystem mit Übersetzungsverhältnis → erzeugt Öldruck proportional zur Bremsanforderung.
  - Ausgang: Hydraulikleitung(en) zu den Radbremszylindern des Anhängers.
- **Weitere Bauteile**:
  - *Mehrkreisschutz* am Zugfahrzeug (Versorgungssicherheit), *Rückschlag-/Sicherheitsventile* im Wandler/Anhänger, *Druckspeicher/Behälter* (luftseitig), *Ausgleichs-/Vorratsbehälter* (ölseitig), ggf. *ALB* (automatische lastabhängige Bremskraftregelung) am Anhänger.
- **Rückfallebene/Sicherheit**: Bei Versagen der Versorgungsleitung (rot) muss der Anhänger *selbsttätig verzögern* (Notbremsung über Steuerleitung/Wandler/Sicherheitsventile), sofern das System dafür ausgelegt ist.

2) Einsatzfälle und Varianten

- **Land-/Forst**: Häufig hydraulisch gebremste Hänger (ein- oder zweileitig). Kombination mit luftgebremntem Traktor/Lkw erfolgt über **Wandler**.
- **Luft → Hydraulik** (Standard dieses Kapitels): Luftsignal vom Zugfahrzeug steuert hydraulische Radbremsen am Anhänger.
- **Hydraulik → Luft**: Umgekehrt möglich, aber nur mit dafür zugelassenem **Hydraulik-/Luft-Umsetzer** und Eintragung (z. B. Traktor mit Hydraulikanschluss zieht luftgebremsten Anhänger).
- **Feststellbremse**: Kann am Anhänger separat mechanisch oder über federspeicher-betätigte Zylinder realisiert sein; Bedien- und Löseverfahren beachten.

3) Bedienung, An-/Abkuppeln und Checks (Traktor/Lkw → Hydraulik-Anhänger)

- **Vor dem Kuppeln**:
  - Beide Luftkreise am Zugfahrzeug haben Betriebsdruck (Warnlampe aus).
  - Wandler und Hydraulikschläuche optisch prüfen: trocken, keine Risse/Quetschungen, Kupplungen sauber.
  - Richtige **Hydraulikflüssigkeit** laut Hersteller vorhanden (Achtung: DOT-Bremsflüssigkeit ≠ Mineralöl; niemals mischen!).
- **Kuppelreihenfolge**:
  - Mechanik, Stützrad, Abreißsicherung, Elektrik (Beleuchtung) herstellen.
  - Luftkupplungen: rot (Vorrat) zuerst, dann gelb (Steuer). Auf festen Sitz/Dichtungen achten.
  - Hydraulikseite: Leitung(en) spannungsfrei verlegen, Kupplungen sauber einrasten, Knickschutz beachten.
- **Dichtheits- und Funktionsprüfung**:
  - Motor im Leerlauf, Druck steht an. Bremspedal langsam drücken und halten: *luftseitig* kein auffälliger Druckabfall, *hydraulikseitig* keine Leckage, Pedalweg konstant.
  - Langsame Rollprobe geradeaus: Bremse zieht spurtreu, kein „Nachziehen“ oder Verzögerungsverzug.
- **Abkuppeln**: In umgekehrter Reihenfolge; Leitungen mit Kappen schützen; Druck ablassen gemäß Herstellerhinweis (hydraulische Restdrücke).

4) Typische Störungen – Symptome und Maßnahmen

- **Verzögerte Bremsansprache** (späte Wirkung am Anhänger):
  - Luftseite: Leck/Poren an Leitungen/Kupplungen, schwergängiges Anhängerbremsventil.
  - Hydraulikseite: Luft im System → *fachgerecht entlüften*; zu geringe Ölfüllung; gequollene Dichtungen durch falsches Medium.
- **Weicher/spongy Pedalweg**: Luftblasen im Hydraulikteil, undichte Radbremszylinder/Leitungen → Lecksuche, Entlüftung, defekte Teile ersetzen.
- **Einseitiges Ziehen/Überbremsen**: Unterschiedliche Belagzustände, blockierter ALB-Hebel, kontaminierte Beläge (Öl).
- **Häufiges Ablasen des Trockners, aber schwache Wirkung**: Luftseite dichtheitsprüfen; Wandler arbeitet, aber Hydraulik verliert Druck → Schlauch/Verteiler undicht.
- **Falsches Öl/DOT befüllt**: Gefahr von Dichtungszerstörung – nicht weiterfahren, Anlage spülen/inst. Werkstatt.

5) Wartung und Besonderheiten (Praxis)

- **Luftseite**: wie in 5.1 – trockene, saubere Luft (Lufttrockner/Kondensat), Kupplungsköpfe dicht.
- **Hydraulikseite**: Ölstand/Qualität prüfen, Wechselintervalle einhalten, nur freigegebenes Medium verwenden; Staubschutzkappen nutzen.
- **Winter**: Vereisungsgefahr luftseitig minimieren (Trockner fit), *zähes Öl* verlängert Ansprechzeit → defensiv fahren, Bremsprobe früh machen.
- **Dokumente**: Eintragung/Typenschild des Wandlers, zulässige Betriebsdrücke und ggf. Geschwindigkeits-/Massenbeschränkungen mitführen/beachten.

Prüfungskern (Merksatz)

„Luft steuert – Öl bremst: Nur mit zugelassenem Wandler, richtiger Flüssigkeit und dichter Anlage fahren. Vor Abfahrt Funktionsprobe: Druck steht an, Anhänger bremst zeitgleich und spurtreu.“

Praxis-Drill (2–4 Minuten)

1. **Kupplungscheck**: Rot/gelb korrekt kuppeln, Hydraulikleitung einstecken, auf Dichtheit prüfen. Lernziel: Farbcodierung, Reihenfolge, Sichtprüfung.
2. **Bremswirkung fühlen**: Auf abgesperrter Fläche aus 20 km/h zwei Bremsungen – 1× leicht, 1× mittel. Beobachten: Verzögerungsbeginn Anhänger, Spurtreue, Pedalweg.
3. **Fehlerbild demonstrieren**: Simulierte Luftblase (nach Wartung) → spongy Pedal. Maßnahme: Entlüftung am höchsten Punkt zeigen/erklären.

Sinnvolle Medien zum Einbau

- Schematische Grafik „Luft → Wandler → Hydraulikzylinder (Radbremsen)“
- Foto eines zugelassenen Luft-Hydraulik-Wandlers mit Typenschild
- Kurzvideo: Funktionsprüfung – Manometerverlauf (luftseitig) und Bremsbeginn am Anhänger

Kleine Übungsfragen

- Welche Aufgabe hat der Luft-Hydraulik-Wandler in einer kombinierten Bremsanlage?
- Warum dürfen DOT-Bremsflüssigkeit und Mineralöl nicht gemischt werden?
- Nenne zwei Anzeichen für Luft im hydraulischen Teil der Anlage.
- Wie lautet die korrekte Kuppelreihenfolge der Leitungen und warum?
- Welche Dokumente/Eintragungen müssen für den Betrieb einer Kombianlage vorliegen?

5.2.1 Zugfahrzeug hydraulisch

Rechtsgrundlagen (Auszug)

- StVZO § 41 Bremsen (Betriebs-, Feststell-, Anhängerbremsung)
- ECE-R13 (Bremsanlagen; Kombinationsbetrieb, Umsetzer/Wandler, Sicherheitsfunktionen)
- EU-VO (Agrar): 167/2013 i. V. m. 2015/68 (Bremsanforderungen für T/ landw. Anhänger)
- Herstellerunterlagen/Eintragung: Hydraulik-/Luft-Umsetzer nur, wenn **zugelassen und eingetragen**.

1) Systemübersicht: Hydraulik am Zugfahrzeug

- **Bremspedal → Anhängerbremsventil** (Zugfahrzeug): erzeugt *hydraulischen Bremsdruck* proportional zur Pedalkraft.
- **Leitungen/Kupplungen** zum Anhänger:
  - *Einleitiges Hydrauliksystem*: eine Druckleitung, Rückstellung über Radzylinder/Belagspiel (häufig in der Land-/Forsttechnik).
  - *Zweileitiges Hydrauliksystem*: Druck- und Rücklaufleitung (schnellere Lösezeiten, bessere Wärmebeherrschung – abhängig vom Fahrzeugtyp).
- **Am Anhänger**: Radbremszylinder (hydraulisch), ggf. ALB (lastabhängige Bremskraftregelung), **Notbremseinrichtung/Abreißsicherung** für Leitungsriss/Abtrennung.
- **Medien**: i. d. R. Hydrauliköl (Mineralöl). DOT-Bremsflüssigkeit und Mineralöl sind nicht mischbar → Dichtungs-/Systemschäden!

2) Varianten je nach Anhänger

- **A) Anhänger hydraulisch (Direktbetrieb)**
  - Zugfahrzeug liefert Hydraulikdruck direkt an die Radbremszylinder des Anhängers.
  - Vorteile: einfache Kuppeltechnik, kurze Ansprechzeiten; Nachteile: keine selbsttätige Notbremsung bei Leitungsabriss ohne spezielle Ventile.
  - Sicherheit: Anhänger muss eine **Abreiß-/Notbremsfunktion** haben (z. B. Zugseil, das ein Ventil betätigt und Druck hält/aufbaut).
- **B) Anhänger luftgebremst (nur mit Umsetzer)**
  - **Hydraulik-/Luft-Umsetzer** (Systemwandler) wandelt Hydraulikdruck vom Zugfahrzeug in *Druckluft-Steuerdruck* um.
  - Zusätzlich erforderlich: *Luftversorgung* (Kompressor, Lufttrockner, Behälter, Mehrkreisschutz) – am Zugfahrzeug oder als eigenständiges Pack (je nach System).
  - Zum Anhänger: **Zweileiter-Luftanschlüsse** (rot = Vorrat, gelb = Steuer). Betrieb nur, wenn Umsetzer und Luftanlage zugelassen/eingetragen.

3) An- und Abkuppeln (Praxis)

- **Vorbereitung**: Fahrzeug sichern, Bremsdruck/Ölstand prüfen, Kupplungen/Kappen reinigen, Leitungen spannungsfrei führen.
- **Kuppelreihenfolge – Hydraulik-Anhänger**:
  1. Mechanik kuppeln, Stützrad hoch, Abreißsicherung einhängen, Elektrik prüfen.
  2. *Druck entlasten* (Pedal kurz drücken/lösen), dann Hydraulikleitung(en) sauber einstecken; Verriegelung prüfen.
  3. Funktionsprobe: Pedal langsam drücken/halten → Dichtheit, gleichmäßige Wirkung.
- **Kuppelreihenfolge – Luft-Anhänger (mit Umsetzer)**:
  1. Mechanik/Elektrik wie oben.
  2. Hydraulik zum Umsetzer verbinden.
  3. Luftseite: rot (Vorrat) zuerst, dann gelb (Steuer) zum Anhänger; Dichtungen/Kappen prüfen.
  4. Wirkprobe: Druckaufbau beobachten, kurze Rollprobe durchführen.
- **Abkuppeln**: in umgekehrter Reihenfolge. Restdrucke beachten: bei heißer Anlage kann Kupplung unter Druck stehen → Druck entlasten, ggf. Drucklos-Kuppler nutzen.

4) Typische Störungen – Symptome und Maßnahmen

- **Spongy/weicher Pedalweg** (Hydraulik): Luft im System, zu niedriger Ölstand, undichte Zylinder/Leitungen → Lecksuche, fachgerecht entlüften, defekte Dichtungen erneuern.
- **Bremsen löst träge**: verengter Rücklauf (Zweileiter), verschmutzte Kupplung, gequollenes Dichtungsmaterial (falsches Medium) → reinigen/ersetzen, Medium prüfen.

- **Einseitiges Ziehen/Überbremsen**: ALB-Gestänge schwergängig/falsch eingestellt, Beläge kontaminiert, ungleiche Radzylinder → instandsetzen, ALB prüfen.
- **Hydraulik → Luft (mit Umsetzer):** späte/zu schwache Wirkung am Luft-Anhänger → Umsetzer falsch justiert, Luftleck, unzureichende Luftversorgung (Kompressor/Trockner) → Dichtheit prüfen, Umsetzer nach Herstellervorgabe kalibrieren.
- **Medienverwechslung**: DOT vs. Mineralöl gemischt → Dichtungszerfall, Funktionsverlust → nicht weiterfahren, Anlage spülen und instandsetzen (Werkstatt).

5) Wartung und Besonderheiten

- **Sauberkeit**: Kupplungen stets mit Kappen schützen; Schmutz/Wasser zerstören Dichtungen und Ventile.
- **Ölqualität/Intervalle**: nur freigegebenes Hydrauliköl verwenden; Wechsel/Filter gemäß Hersteller.
- **Winterbetrieb**: kaltes Öl = zäh → längere Ansprechzeiten. Längeren Bremsweg einplanen, früh Bremsprobe.
- **Sichtprüfung**: feuchte Stellen = Leckhinweis; Scheuerstellen/Knicke vermeiden, Scheuerschutz anbringen.
- **Dokumente**: Bei Hydraulik-/Luft-Umsetzer Typenschild, Zulassung/Eintragung und Wartungsnachweise mitführen/beachten.

Prüfungskern (Merksatz)

„Zugfahrzeug hydraulisch: richtiges Medium, dichte Leitungen, klare Funktionsprobe. Luft-Anhänger nur mit zugelassenem Umsetzer und ordentlicher Luftversorgung.“

Praxis-Drill (2–4 Minuten)

1. **Dichtheitscheck**: Pedal 30–60 s halten → Pedalweg/Leitungen beobachten; Leckspray an Kupplungen.
2. **Rollprobe**: geradeaus 15–20 km/h → gleichmäßig bremsen. Beurteile Ansprechzeit, Spurtreue, Löseverhalten.
3. **Mediencheck**: Schau am Anhänger auf die Beschriftung (Mineralöl oder DOT). Was ist bei dir im System? → Konsequenz bei Falschbefüllung nennen.

Sinnvolle Medien zum Einbau

- Schematische Grafik: Pedal → Anhänger-Bremsventil → Hydraulikleitung(en) → Radzylinder (Variante A) / + Umsetzer + Luftkreise (Variante B)
- Foto: Hydraulik-Schnellkuppler mit Staubkappen; Umsetzer mit Typenschild
- Kurzvideo: Entlüftung am höchsten Punkt zeigen; Rollprobe mit/ohne Umsetzer

Kleine Übungsfragen

- Warum dürfen DOT-Bremsflüssigkeit und Mineralöl nicht gemischt werden?
- Welche Aufgaben hat die Abreißsicherung bei hydraulisch gebremsten Anhängern?
- Wie erkennst du bei der Rollprobe, dass die Bremse zu spät anspricht?
- Welche zusätzlichen Baugruppen sind nötig, um mit hydraulischem Zugfahrzeug einen luftgebremsten Anhänger zu ziehen?
- Nenne zwei Ursachen, wenn die Bremse nach dem Lösen „klebt“ oder verzögert zurückgeht.

5.2.2 Anhänger Druckluft

Rechtsgrundlagen (Auszug)

- StVZO § 41 Bremsen (Betriebs-, Feststell-, Anhängerbremsanlage)
- ECE-R13 (Bremsanlagen; Zweileiter-System, Notbremsfunktion, ALB/EBS)
- Herstellerangaben/Eintragung: Kombinationen nur mit **zugelassenen** Komponenten (z. B. Hydraulik→Luft-Umsetzer) betreiben.

1) Aufbau des druckluftgebremsten Anhängers

- **Anschlüsse am Zugfahrzeug** (zum Anhänger):
  - Rot = Vorratsleitung (Versorgung): füllt die **Druckluftbehälter** am Anhänger; steuert Not-/Feststellfunktion.
  - Gelb = Steuerleitung (Bremssignal): steuert über das **Bremsrelais-/Anhängerbremsventil** die Radbremsen.
  - Alternative: *Duomatic* (Kombi-Kupplung) – versorgt und steuert in einer Kupplung.
- **Im Anhänger**:
  - **Druckluftbehälter** (mit Entwässerung), **Bremsrelais-/Schnelllöseventil**, **Rückschlag-/Sicherheitsventile**.
  - **Radbremszylinder** (Membran-/Kolbenzylinder); **Federspeicher** für Feststell-/Notbremse je nach Bauart.
  - **ALB** (automatische lastabhängige Bremskraftregelung) mechanisch oder pneumatisch; ggf. **ABS/EBS** (ISO-7638-Versorgung erforderlich).
- **Not-/Feststellfunktion**:
  - Bei Druckabfall in der roten Leitung (Abriss/Leck) bremst der Anhänger *selbsttätig* aus den Behältern (Notbremsung).
  - Feststellbremse häufig über *Federspeicher* oder mechanische Spindel – je nach Baujahr/Typ.

2) Einsatz mit hydraulischem Zugfahrzeug (Kombianlage)

- **Hydraulik→Luft-Umsetzer** wandelt den Hydraulikdruck des Zugfahrzeugs in Druckluft-Steuerdruck (gelb) um.
- Die Vorratsluft (rot) muss aus einer geeigneten Luftanlage kommen: am Zugfahrzeug fest verbaut oder als *separate Versorgungseinheit* (mit Kompressor, Trockner, Mehrkreisschutz, Behältern).
- Nur verwenden, wenn **Umsetzer und Luftversorgung zugelassen/eingetragen** sind und die **Leistungsdaten** (Drücke/Volumina) zum Anhänger passen.

3) An- und Abkuppeln (Praxis)

- **Vorbereitung**: Fahrzeug sichern, Unterlegkeile, Schläuche/Kupplungsköpfe reinigen, Dichtungen (O-Ringe) prüfen, Staubkappen ab.
- **Kuppelreihenfolge**:
  1. Mechanik kuppeln, Stützrad hoch, Abreißseil/Notlöseeinrichtung einhängen, Elektrik verbinden (ISO 1185/12098/7638 falls ABS/EBS).
  2. Rot (Vorrat) zuerst, dann Gelb (Steuer) kuppeln; Verriegelung prüfen. Bei Duomatic: Kupplung sauber, vollständig schließen.
  3. Druckaufbau abwarten: Manometer am Zugfahrzeug/Umsetzer beobachten; **Bremsprobe** im Stand (Pedal halten, Dichtheit prüfen).
- **Abkuppeln**:
  1. Gelb zuerst lösen (Steuer), dann Rot (Vorrat); sonst droht *Notbremsung* des Anhängers.
  2. Staubkappen aufsetzen, Leitungen spannungsfrei ablegen.

4) Typische Störungen – Symptome und Maßnahmen

- **Falsche Anschlussreihenfolge**: Gelb vor Rot gesteckt → Anhänger bremst sofort stark (Notbremsung). Maßnahme: korrekt kuppeln, Systemdruck prüfen.
- **Langsamer Druckaufbau/geringe Bremswirkung**: Leck in Leitungen/Kupplungen, verstopftes Trockenmittel, defektes Bremsrelais. Maßnahme: Lecksuche, Trockner warten, Ventile prüfen/ersetzen.

- **Schiefziehen/Überbremsen**: ALB-Gestänge schwergängig/falsch eingestellt, ungleiche Zylinder/Beläge. Maßnahme: ALB gängig machen/einstellen, Achse prüfen.
- **Träges Lösen**: verengte Entlüftung/Leitungsknick, klemmendes Schnelllöseventil. Maßnahme: Leitungsführung korrigieren, Ventil reinigen/tauschen.
- **EBS/ABS-Warnung**: ISO-7638 nicht gesteckt, Spannungsversorgung fehlt oder Sensordefekt. Maßnahme: Steckverbindung/Versorgung prüfen, Fehlerspeicher (Werkstatt).
- **Feuchtigkeit/Eis**: Wasser im System → Vereisung, verzögertes Ansprechen. Maßnahme: Trockner/Kondensatablass warten, Winterbetrieb beachten.

5) Wartung und regelmäßige Prüfungen

- **Dichtheit**: Kupplungen, O-Ringe, Schläuche, Scheuerstellen prüfen; bei Zischen/Blasenbildung (Leckspray) instandsetzen.
- **Kondensatmanagement**: Behälter regelmäßig entwässern; Lufttrockner (am Zugfahrzeug/Versorgung) nach Hersteller warten.
- **ALB**: Gestänge leichtgängig, richtige Hebellage; Prüfen mit und ohne Last.
- **Federspeicher**: Funktionsprobe Feststellbremse; sichere Blockierung beim Parken.
- **Elektrik** (bei ABS/EBS): ISO-7638/Steckdosen sauber, Pins korrosionsfrei; Kabelzugentlastung beachten.
- **Dokumente**: Eintragungen, Prüfplaketten (Druckbehälter/ABS/EBS) und Wartungsnachweise mitführen/beachten.

Prüfungskern (Merksatz)

„Rot füllt – Gelb steuert: Rot zuerst, Gelb danach kuppeln. Nur fahren, wenn Vorratsdruck anliegt, ALB gängig ist und die Bremsprobe passt.“

Praxis-Drill (2–4 Minuten)

1. **Kuppelübung**: Rot → Gelb kuppeln, ISO-7638 stecken; Manometer beobachten bis erstes Ablasen am Trockner. Frage: Ab wann darfst du losfahren?
2. **Dichtheitscheck**: Pedal 30–60 s halten; Druckabfall bewerten; Kupplungen mit Leckspray prüfen.
3. **ALB-Check**: Sichtprüfung Gestänge/Hebelweg; kurze Rollprobe aus 20 km/h – gleichmäßige Verzögerung ohne Blockieren?

Sinnvolle Medien zum Einbau

- Schematische Grafik: Rot (Vorrat) → Behälter → Sicherheits-/Rückschlag → Relaisventil; Gelb (Steuer) → Relaisventil → Radzylinder; + ALB
- Foto: Kupplungsköpfe rot/gelb mit intakten O-Ringen; Duomatic-Kupplung
- Kurzvideo: Notbremsfunktion beim Lösen der roten Leitung demonstrieren (gesichert, auf Übungsplatz!)

Kleine Übungsfragen

- Welche Aufgaben haben rote und gelbe Leitung am druckluftgebremsten Anhänger?
- Was passiert, wenn du beim Abkuppeln zuerst die rote Leitung löst?
- Wozu dient die ALB und wie prüfst du ihre Funktion?
- Welche zusätzlichen Baugruppen sind nötig, wenn ein *hydraulisches* Zugfahrzeug einen *druckluft*gebremsten Anhänger ziehen soll?
- Wie gehst du bei Feuchtigkeit/Vereisung in der Luftanlage vor?

5.3 Druckluftbremse, Zweileitungsbremse

Rechtsgrundlagen (Auszug)

- StVZO § 41 Bremsen (Betriebs-, Feststell-, Anhängerbremsung)
- ECE-R13 / ECE-R13-H (Aufbau, Wirkungsgrade, Not-/Feststellfunktion, ABS/EBS)
- Herstellerangaben: Drücke, Prüfabläufe, Wartungsintervalle sind bindend.

1) Systemaufbau – Zweileiterprinzip

- **Leitungen/Kupplungen**
  - Rot = Vorratsleitung: versorgt die Luftbehälter am Anhänger mit Druckluft und steuert Not-/Feststellfunktion.
  - Gelb = Steuerleitung: überträgt das Bremssignal (Steuerdruck) zum *Bremsrelais-/Anhängerbremsventil*.
  - Alternative: *Duomatic* (Kombi-Kupplung für Vorrat + Steuer in einem Kupplungskopf).
- **Zugfahrzeug (pneumatische Versorgung)**
  - Kompressor → Lufttrockner → Mehrkreisschutzventil → Vorratsbehälter → Betriebsbremsventil (Fußbremse) → Anhängerbremsventil.
  - *Mehrkreisschutz*: trennt die Kreise (z. B. Vorder-/Hinterachse/Anhänger) – ein Leck legt nicht das gesamte System lahm.
  - *Arbeitsdruck*: i. d. R. ca. 8–10 bar (Herstellergrenzen beachten).
- **Im Anhänger**
  - Vorratsbehälter, Rückschlag-/Sicherheitsventile, Bremsrelais-/Schnelllöseventil, Radbremszylinder; ggf. **Federspeicher** (Feststell-/Notbremse).
  - **ALB** (lastabhängige Bremskraftregelung) mechanisch/pneumatisch; ggf. **ABS/EBS** (zusätzliche ISO-7638-Stromversorgung).

2) Funktionsprinzip

1. **Druckaufbau**: Rot (Vorrat) füllt die Anhängerbehälter. Erst wenn ausreichender Vorratsdruck erreicht ist, ist der Anhänger bremsbereit.
2. **Bremsen**: Pedal → am Zugfahrzeug entsteht Steuerdruck → Gelb überträgt diesen an das Anhänger-Bremsrelais → dieses lässt aus den Anhängerbehältern Arbeitsluft zu den Radzylindern. Vorteil: schnelleres, kräftiges Ansprechen.
3. **Lösen**: Steuerdruck fällt ab → Relaisventil entlüftet die Radzylinder (Schnelllösefunktion beschleunigt das Lösen).
4. **Notbremsung**: Reißt Rot ab oder fällt der Vorratsdruck stark ab, bremst der Anhänger *selbsttätig* aus seinen Behältern (Sicherheitsprinzip).

3) An- und Abkuppeln (Prüfungsrelevant)

- **Vorbereiten**: Fahrzeuge sichern, Unterlegkeile, Kupplungsköpfe reinigen, O-Ringe prüfen, Staubkappen abnehmen.
- **Kuppelreihenfolge**
  1. Mechanische Verbindung herstellen, Stützrad hoch, Abreißseil/Notlöseeinrichtung einhängen.
  2. Elektrik stecken (ISO 1185/12098; bei ABS/EBS zusätzlich ISO 7638).
  3. Rot (Vorrat) zuerst, dann Gelb (Steuer) kuppeln. Verriegelung prüfen.
  4. Druckaufbau abwarten, dann **Bremsprobe** im Stand (Pedal halten, Dichtheit) und in der **langsamen Rollprobe**.
- **Abkuppeln**
  1. Gelb zuerst lösen, dann Rot – sonst löst du eine Notbremsung des Anhängers aus.
  2. Staubkappen aufsetzen, Leitungen spannungsfrei ablegen.

4) Bedien- und Sicherheitsregeln

- **Manometer im Blick**: Losfahrt erst bei ausreichendem Arbeitsdruck in den Bremskreisen und bestätigtem Vorratsdruck für den Anhänger.
- **Dichtheitskontrolle**: Pedal 30–60 s konstant halten; kein deutliches Zischen, Druckabfall nur minimal. *Faustwert Unterricht:* max. ≈ 0,5 bar/Min (Hersteller-/Betriebsanweisung geht vor).
- **ALB**: Gestänge leichtgängig, Hebel korrekt; falsche Einstellung führt zu Über- oder Unterbremsung.

- **Winterbetrieb**: Lufttrockner warten, Kondensat ablassen; Vereisungsgefahr vermeiden.
- **Leitungsführung**: Schläuche ohne Knick/Spannung; Scheuerschutz; Kupplungen sauber und mit intakten Dichtungen.

5) Typische Fehlerbilder – Symptome und Abhilfe

- **Falsche Reihenfolge gekuppelt** (Gelb vor Rot) → Anhänger bremst sofort stark. Maßnahme: korrekt kuppeln, Systemdruck prüfen.
- **Schwache Bremswirkung** → Leckagen, verstopfter Lufttrockner, defektes Bremsrelais, falsche ALB-Einstellung. Maßnahme: Lecksuche (Leckspray), Trockner/Wartung, Ventil/ALB prüfen.
- **Träges Lösen/Heißlaufen** → klemmendes Schnelllöseventil, Knick/Quetschung in Leitungen. Maßnahme: Ventil reinigen/tauschen, Leitungen korrekt verlegen.
- **Schiefziehen** → ungleiche Beläge/Zylinder, ALB-Gestänge schwergängig. Maßnahme: Achse/Radzylinder/ALB instand setzen.
- **ABS/EBS-Störung** → ISO-7638 nicht gesteckt, Versorgungsspannung/Sensorfehler. Maßnahme: Steckverbinder/Pins prüfen, Werkstattdiagnose.
- **Feuchtigkeit/Eis** → verzögertes Ansprechen. Maßnahme: Behälter entwässern, Trocknerkartusche wechseln, Wintercheck.

6) Prüfungs-Merksatz

„Zweileiter: Rot füllt, Gelb steuert. Kuppeln: Rot vor Gelb – Lösen: Gelb vor Rot. Losfahren erst mit Vorratsdruck und bestandener Bremsprobe. ALB gängig halten.“

Praxis-Drill (3–5 Minuten)

1. **Kuppelübung**: Rot→Gelb kuppeln, ISO-7638 stecken; Manometer beobachten bis stabiler Arbeitsdruck. Frage: Ab welchem Zustand ist der Anhänger bremsbereit?
2. **Dichtheits-/Wirkprobe**: Pedal 30–60 s halten, Druckabfall beurteilen; anschließend aus 20 km/h gleichmäßig bremsen – verzögert der Anhänger zeitgleich und spurtreu?
3. **Fehlerbild zeigen**: ALB-Gestänge simuliert schwergängig → Erkläre Auswirkung und Korrektur.

Sinnvolle Medien zum Einbau

- Schematische Grafik: Rot (Vorrat) → Anhängerbehälter → Rückschlag/Sicherheitsventile; Gelb (Steuer) → Bremsrelais → Radzylinder; + ALB, ABS/EBS.
- Foto: Kupplungsköpfe rot/gelb mit intakten O-Ringen; Duomatic-Kupplung.
- Kurzvideo: Notbremsfunktion demonstrieren (sicher auf Übungsplatz), Rollprobe mit Blick auf Manometer.

Kleine Übungsfragen

- Welche Aufgaben haben rote und gelbe Leitung im Zweileitersystem?
- Warum führt das Abziehen der roten Leitung bei gekuppeltem Gelb zur Notbremsung des Anhängers?
- Wie prüfst du die Dichtheit und ab wann gilt die Probe als bestanden?
- Welche Rolle spielt die ALB und welche Folgen hat eine falsche Einstellung?
- Welche zusätzlichen Anschlüsse sind bei ABS/EBS zu stecken und warum?