

Fahrzeugregelung - Übung (Antriebs und Antriebsregelung)

M.Sc. Thang Nguyen

Prof. Dr.-Ing. Steffen Müller | Fachgebiet Kraftfahrzeuge | Fakultät Verkehrs- und Maschinensystem

Motivation

- Maximal übertragbare Reifenkraft gibt Hinweise auf eine sinnvolle Antriebsauslegung.
- Statische Zugkraftgleichungen können genutzt werden, um Näherungswerte für die Antriebsauslegung zu finden.

Berücksichtigung der wichtigsten Effekte, wie z.B.

- Steigung
- Reifen-Fahrbahnkontakt
- Fahrzeugmerkmale

Antriebsschlupfregelung (ASR)

Beispiel (1): Benötigt folgendes Fahrzeug auf trockener Fahrbahn ein System zur ASR?

Fahrzeugmerkmale:

$$M_{m,max} = 94 \text{ Nm}$$

$$i_G = 3,55$$

$$r_{rad} = 0,263 \text{ m}$$

$$k_r = 0,012$$

$$i_D = 3,94$$

$$\eta_G = 0,9$$

$$m = 1011 \text{ kg}$$

$$l = 2,52 \text{ m}$$

Antrieb: VA

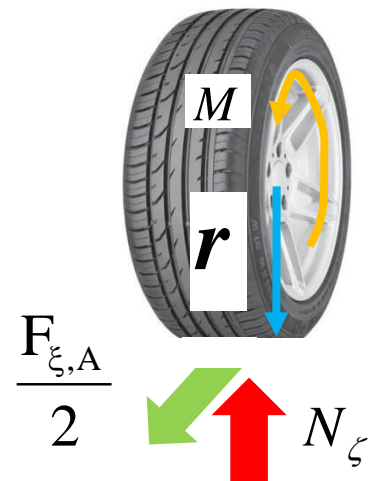
$$h_{sp} = 0,546 \text{ m}$$

$$\mu_{H1} = 1,05, \mu_{H2} = 0,5$$

$$l_v = 1,05 \text{ m}$$

a) Berechnung der maximalen Antriebskraft:

$$F_{\xi,A} = \frac{M_{m,max} \eta_G i_D i_G}{r_{rad}} \approx 4,5 \text{ kN}$$



Antriebsschlupfregelung (ASR)

Beispiel (1): Benötigt folgendes Fahrzeug auf trockener Fahrbahn ein System zur ASR?

Fahrzeugmerkmale:

$$M_{m,max} = 94 \text{ Nm}$$

$$i_G = 3,55$$

$$r_{rad} = 0,263 \text{ m}$$

$$k_r = 0,012$$

$$i_D = 3,94$$

$$\eta_G = 0,9$$

$$m = 1011 \text{ kg}$$

$$l = 2,52 \text{ m}$$

Antrieb: VA

$$h_{sp} = 0,546 \text{ m}$$

$$\mu_{H1} = 1,05, \mu_{H2} = 0,5$$

$$l_v = 1,05 \text{ m}$$

Da die Geschwindigkeit beim Anfahren sehr gering ist und die Fahrt in die Ebene stattfindet, erfolgt eine Reduktion der Antriebskraft nur durch den Rollwiderstand um:

$$F_{R,roll} = k_R mg = k_R F_\zeta \approx 0,12 \text{ kN}$$

und es ergibt sich die Zugkraft des Fahrzeugs zu:

$$Z_{R,A} = F_{R,A} - F_{R,roll} \approx 4,38 \text{ kN}$$

Antriebsschlupfregelung (ASR)

Beispiel (1): Benötigt folgendes Fahrzeug auf trockener Fahrbahn ein System zur ASR?

Fahrzeugmerkmale:

$$M_{m,max} = 94 \text{ Nm}$$

$$i_G = 3,55$$

$$r_{rad} = 0,263 \text{ m}$$

$$k_r = 0,012$$

$$i_D = 3,94$$

$$\eta_G = 0,9$$

$$m = 1011 \text{ kg}$$

$$l = 2,52 \text{ m}$$

Antrieb: VA

$$h_{sp} = 0,546 \text{ m}$$

$$\mu_{H1} = 1,05, \mu_{H2} = 0,5$$

$$l_v = 1,05 \text{ m}$$

Als mögliche Beschleunigung ergibt sich bei voller Ausnutzung der Zugkraft die Fahrzeugbeschleunigung zu:

$$a_{x,max} = \frac{Z_{R,A}}{m} \approx 4,33 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Zur Berechnung der durch Reifeneigenschaften maximal möglichen Antriebskraft wird die Radlast an der Antriebsachse benötigt.

Verlagerung von Achslasten bei Beschleunigung

- Fahrzeug wird mit a_x beschleunigt
- Momentengleichgewicht um

Aufstandspunkt der Vorderachse (**A**):

$$N_{\zeta,H}l - h_s F_{\xi,a} - mgl_v = 0$$

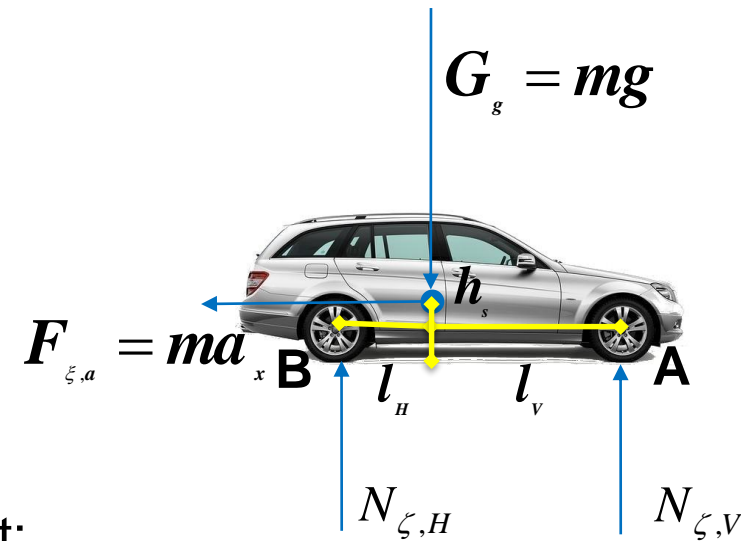
und der Hinterachse (**B**):

$$-N_{\zeta,V}l - h_s F_{\xi,a} + mgl_H = 0$$

Auflösen nach den Aufstandskräften ergibt:

$$N_{\zeta,V} = \frac{mgl_H}{l} - \frac{h_s}{l} ma_x = \frac{m}{l} (gl_H - h_s a_x)$$

$$N_{\zeta,H} = \frac{mgl_v}{l} + \frac{h_s}{l} ma_x = \frac{m}{l} (gl_v + h_s a_x)$$



Antriebsschlupfregelung (ASR)

Beispiel (1): Benötigt folgendes Fahrzeug auf trockener Fahrbahn ein System zur ASR?

Fahrzeugmerkmale:

$$M_{m,max} = 94 \text{ Nm}$$

$$i_G = 3,55$$

$$r_{rad} = 0,263 \text{ m}$$

$$k_r = 0,012$$

$$i_D = 3,94$$

$$\eta_G = 0,9$$

$$m = 1011 \text{ kg}$$

$$l = 2,52 \text{ m}$$

Antrieb: VA

$$h_{sp} = 0,546 \text{ m}$$

$$\mu_{H1} = 1,05, \mu_{H2} = 0,5$$

$$l_v = 1,05 \text{ m}$$

Bei der angenommenen Beschleunigung berechnet sich die Radlasten an den Achsen wie folgt:

$$N_{\zeta,H,stat} = G \frac{l_v}{l} = 4132 \text{ N}$$

$$N_{\zeta,V,stat} = G \frac{l_H}{l} = 5785 \text{ N}$$



$$N_{\zeta,H,dyn} = N_{\zeta,H,stat} + ma_x \frac{h_s}{l} \approx 5082 \text{ N}$$

$$N_{\zeta,V,dyn} = N_{\zeta,V,stat} - ma_x \frac{h_s}{l} \approx 4826 \text{ N}$$

Antriebsschlupfregelung (ASR)

Beispiel (1): Benötigt folgendes Fahrzeug auf trockener Fahrbahn ein System zur ASR?

Fahrzeugmerkmale:

$$M_{m,max} = 94 \text{ Nm}$$

$$i_G = 3,55$$

$$r_{rad} = 0,263 \text{ m}$$

$$k_r = 0,012$$

$$i_D = 3,94$$

$$\eta_G = 0,9$$

$$m = 1011 \text{ kg}$$

$$l = 2,52 \text{ m}$$

Antrieb: VA

$$h_{sp} = 0,546 \text{ m}$$

$$\mu_{H1} = 1,05, \mu_{H2} = 0,5$$

$$l_v = 1,05 \text{ m}$$

Da die maximal übertragbare Reifenkraft vom Reifen-Fahrbahnkontakt abhängt, ergeben sich die übertragbaren Reifenkräfte zu:

$$F_{\xi,max1} = \mu_{H,1} N_{\zeta,V} = 5064 \text{ N}$$

$$F_{\xi,max2} = \mu_{H,2} N_{\zeta,V} = 2413 \text{ N}$$

Antriebsschlupfregelung (ASR)

Beispiel (1): Benötigt folgendes Fahrzeug auf trockener Fahrbahn ein System zur ASR?

Fahrzeugmerkmale:

$$M_{m,max} = 94 \text{ Nm}$$

$$i_G = 3,55$$

$$r_{rad} = 0,263 \text{ m}$$

$$k_r = 0,012$$

$$i_D = 3,94$$

$$\eta_G = 0,9$$

$$m = 1011 \text{ kg}$$

$$l = 2,52 \text{ m}$$

Antrieb: VA

$$h_{sp} = 0,546 \text{ m}$$

$$\mu_{H1} = 1,05, \mu_{H2} = 0,5$$

$$l_v = 1,05 \text{ m}$$

Da die Zugkraft des Fahrzeugs mit $Z = 4,38 \text{ kN}$ im ersten Fall ($\mu = 1,05$) geringer ist als die absetzbare Kraft, ist keine Regelung notwendig.

Im Fall $\mu = 0,5$ hingegen kann die volle Beschleunigung nur erreicht werden, wenn die Antriebskraft kontrolliert an die Antriebsachse abgegeben wird, ansonsten wird die Beschleunigung durch eine Reduzierung der Antriebskraft bei durchdrehenden Rädern weiter abgesenkt.

Antriebsschlupfregelung (ASR)

Beispiel (2): Vergleich zwischen theoretischer und realer Steigfähigkeit

Fahrzeugmerkmale:

$$M_{m,max} = 94 \text{ Nm}$$

$$i_G = 3,55$$

$$r_{rad} = 0,263 \text{ m}$$

$$k_r = 0,012$$

$$i_D = 3,94$$

$$\eta_G = 0,9$$

$$m = 1011 \text{ kg}$$

$$l = 2,52 \text{ m}$$

Antrieb: VA

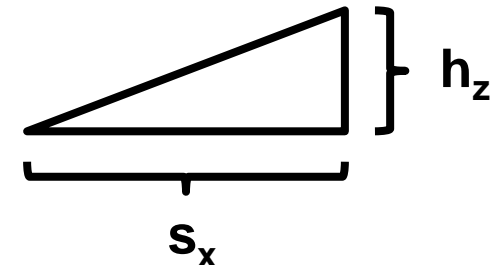
$$h_{sp} = 0,546 \text{ m}$$

$$\mu_{H1} = 1,05, \mu_{H2} = 0,5$$

$$l_v = 1,05 \text{ m}$$

Berechnung der theoretischen Steigfähigkeit eines Fahrzeuges am Berg mit der Steigung:

$$q = \frac{h_z}{s_x} \cdot 100\%$$



und der vorher berechneten max. Zugkraft des Fahrzeuges von
 $Z = 4,38 \text{ kN}$

Antriebsschlupfregelung (ASR)

Beispiel (2): Vergleich zwischen theoretischer und realer Steigfähigkeit

Fahrzeugmerkmale:

$$M_{m,max} = 94 \text{ Nm}$$

$$i_G = 3,55$$

$$r_{rad} = 0,263 \text{ m}$$

$$k_r = 0,012$$

$$i_D = 3,94$$

$$\eta_G = 0,9$$

$$m = 1011 \text{ kg}$$

$$l = 2,52 \text{ m}$$

Antrieb: VA

$$h_{sp} = 0,546 \text{ m}$$

$$\mu_{H1} = 1,05, \mu_{H2} = 0,5$$

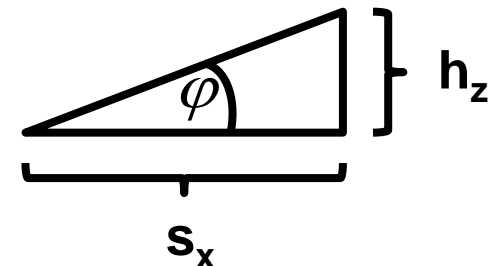
$$l_v = 1,05 \text{ m}$$

Gleichsetzen liefert:

$$Z = F_{st} = F_z \sin(\varphi)$$

$$\Rightarrow \varphi = \sin\left(\frac{Z}{mg}\right)^{-1}$$

$$\Rightarrow \varphi_i = \sin\left(\frac{4380}{1011 \cdot 9.81}\right)^{-1} = 26.20^\circ$$



Antriebsschlupfregelung (ASR)

Beispiel (2): Vergleich zwischen theoretischer und realer Steigfähigkeit

Fahrzeugmerkmale:

$$M_{m,max} = 94 \text{ Nm}$$

$$i_G = 3,55$$

$$r_{rad} = 0,263 \text{ m}$$

$$k_r = 0,012$$

$$i_D = 3,94$$

$$\eta_G = 0,9$$

$$m = 1011 \text{ kg}$$

$$l = 2,52 \text{ m}$$

Antrieb: VA

$$h_{sp} = 0,546 \text{ m}$$

$$\mu_{H1} = 1,05, \mu_{H2} = 0,5$$

$$l_v = 1,05 \text{ m}$$

Überprüfung der realen Steigfähigkeit:

Nach der Vorlesung „Antriebskraftverteilung“ berechnet sich die maximale Beschleunigung an einer Steigung für Fahrzeuge mit Vorderradantrieb zu:

$$a_x^{\max} = g \left(\frac{\mu_h \left(l \left(1 - \frac{l_v}{l} \right) - h_s \varphi \right) - l \varphi}{l + \mu_h h_s} \right)$$

Antriebsschlupfregelung (ASR)

Beispiel (2): Vergleich zwischen theoretischer und realer Steigfähigkeit

Fahrzeugmerkmale:

$$M_{m,max} = 94 \text{ Nm}$$

$$i_G = 3,55$$

$$r_{rad} = 0,263 \text{ m}$$

$$k_r = 0,012$$

$$i_D = 3,94$$

$$\eta_G = 0,9$$

$$m = 1011 \text{ kg}$$

$$l = 2,52 \text{ m}$$

Antrieb: VA

$$h_{sp} = 0,546 \text{ m}$$

$$\mu_{H1} = 1,05, \mu_{H2} = 0,5$$

$$l_v = 1,05 \text{ m}$$

Die maximale Steigfähigkeit wird erreicht, wenn die Fahrzeugbeschleunigung gerade die maximal mögliche Beschleunigung an einer Steigung kompensiert, das Fahrzeug also gerade nicht rückwärts rollt:

$$0 = g \left(\frac{\mu_h \left(l \left(1 - \frac{l_v}{l} \right) - h_s \varphi \right) - l \varphi}{l + \mu_h h_s} \right)$$

Antriebsschlupfregelung (ASR)

Beispiel (2): Vergleich zwischen theoretischer und realer Steigfähigkeit

Fahrzeugmerkmale:

$$M_{m,max} = 94 \text{ Nm}$$

$$i_G = 3,55$$

$$r_{rad} = 0,263 \text{ m}$$

$$k_r = 0,012$$

$$i_D = 3,94$$

$$\eta_G = 0,9$$

$$m = 1011 \text{ kg}$$

$$l = 2,52 \text{ m}$$

Antrieb: VA

$$h_{sp} = 0,546 \text{ m}$$

$$\mu_{H1} = 1,05, \mu_{H2} = 0,5$$

$$l_v = 1,05 \text{ m}$$

Auflösen nach der Steigung liefert die reale Steigfähigkeit:

$$l\varphi + \mu_h h_s \varphi = \mu_h l \left(1 - \frac{l_v}{l}\right)$$

$$\Leftrightarrow \varphi(l + \mu_h h_s) = \mu_h l \left(1 - \frac{l_v}{l}\right)$$

$$\Leftrightarrow \varphi = \mu_h \frac{l \left(1 - \frac{l_v}{l}\right)}{(l + \mu_h h_s)}$$

Antriebsschlupfregelung (ASR)

Beispiel (2): Vergleich zwischen theoretischer und realer Steigfähigkeit

Fahrzeugmerkmale:

$$M_{m,max} = 94 \text{ Nm}$$

$$i_G = 3,55$$

$$r_{rad} = 0,263 \text{ m}$$

$$k_r = 0,012$$

$$i_D = 3,94$$

$$\eta_G = 0,9$$

$$m = 1011 \text{ kg}$$

$$l = 2,52 \text{ m}$$

Antrieb: VA

$$h_{sp} = 0,546 \text{ m}$$

$$\mu_{H1} = 1,05, \mu_{H2} = 0,5$$

$$l_v = 1,05 \text{ m}$$

Einsetzen der Fahrzeugkennwerte liefert:

$$\varphi_r = \mu_h \frac{l \left(1 - \frac{l_v}{l} \right)}{(l + \mu_h h_s)} = 28.58^\circ$$

Ergebnis: Da die ideale Steigfähigkeit geringer als die Reale ist, kann das Fahrzeug aufgrund mangelnder Antriebskraft lediglich die ideale Steigung bewältigen.

Antriebsschlupfregelung (ASR)

Beispiel (2): Vergleich zwischen theoretischer und realer Steigfähigkeit

Fahrzeugmerkmale:

$$M_{m,max} = 94 \text{ Nm}$$

$$i_G = 3,55$$

$$r_{rad} = 0,263 \text{ m}$$

$$k_r = 0,012$$

$$i_D = 3,94$$

$$\eta_G = 0,9$$

$$m = 1011 \text{ kg}$$

$$l = 2,52 \text{ m}$$

Antrieb: VA

$$h_{sp} = 0,546 \text{ m}$$

$$\mu_{H1} = 1,05, \mu_{H2} = 0,5$$

$$l_v = 1,05 \text{ m}$$

Aufgabe: Berechnen Sie die reale Steigfähigkeit für ein Fahrzeug

(a) mit Allradantrieb und

(b) mit Heckantrieb.

Antriebsschlupfregelung (ASR)

Beispiel (2): Vergleich zwischen theoretischer und realer Steigfähigkeit

Fahrzeugmerkmale:

$$M_{m,max} = 94 \text{ Nm}$$

$$i_G = 3,55$$

$$r_{rad} = 0,263 \text{ m}$$

$$k_r = 0,012$$

$$i_D = 3,94$$

$$\eta_G = 0,9$$

$$m = 1011 \text{ kg}$$

$$l = 2,52 \text{ m}$$

Antrieb: VA

$$h_{sp} = 0,546 \text{ m}$$

$$\mu_{H1} = 1,05, \mu_{H2} = 0,5$$

$$l_v = 1,05 \text{ m}$$

Ergebnis:

$$a) \quad \varphi_r = \mu_h = 60.16^\circ$$

$$b) \quad \varphi_r = \mu_h \frac{l_v}{(l - \mu_h h_s)} = 32.44^\circ$$

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!