

Abbildung 6.1.: Prinzipieller Aufbau des Zugkraft-Geschwindigkeits-Diagramms (Z-v-Diagramm) für verschiedene Steigungs- und Beschleunigungsfaktoren;  $u = 0$  Bereich der ebenen Fahrwiderstandslinie,  $u = u_{max}$  „maximale“ Fahrwiderstandslinie im Zugbereich und  $u = u_{min}$  „minimale“ Fahrwiderstandslinie im Schub- und Bremsbereich und Maximalgeschwindigkeit  $v_{max}$

### 6.1.1. Das Bedarfskennfeld am Rad im Z-v-Diagramm

Da ein Fahrzeug nicht beliebig große Fahrwiderstände überwinden kann, wird früh im Entwicklungsprozess das Bedarfskennfeld – im folgenden auch als „Soll-Kennfeld“ bezeichnet – definiert, welches den durch das Fahrzeug zu erfüllenden Fahrbereich illustriert. Es umfasst alle definierten Fahrsituationen und stellt diese anschaulich in einem Zugkraft-Geschwindigkeits-Diagramm bzw. Leistung-Geschwindigkeits-Diagramm dar. Das „Soll-Kennfeld“ muss vom **Antriebskennfeld**, die Kombination von Energie- und Kennungswandler, abgedeckt werden. Die Antriebskennfelder unterscheiden sich je nach Antriebskonzept und werden in Kapitel 6.5 genauer erläutert. Der Zugkraftbedarf in unterschiedlichen Betriebspunkten ergibt sich aus den definierten Anforderungen an Anfahr-, Steig-, Beschleunigungsfähigkeit und maximal fahrbarer Geschwindigkeit  $v_{max}$ , welche das zu erfüllende Bedarfskennfeld im Zugbereich, wie in Abbildung 6.2 unter Berücksichtigung des Längsschlupfs  $S$  dargestellt, aufspannen. Die Ordinate gibt die Zugkraft  $Z$  sowie den Längsschlupf  $S$  wieder, der an der Zugkraftgrenze (Haftgrenze) den maximalen Wert  $Z_{max}$  bzw. den „kritischen“ Schlupf  $S_c$  annimmt (vgl. Abbildung 6.4). Der Schlupfwert  $S_{v,max}$  stellt sich infolge Zugkraft  $Z_{v,max}$  bei der Maximalgeschwindigkeit  $v_{max}$  ein.  $P_{max}$  ist die Leistung an der „Felge“ vor dem Reifen, während  $P$  die tatsächlich auf die Straße übertragene Leistung unter Berücksichtigung der Reifenschlupfverluste darstellt.

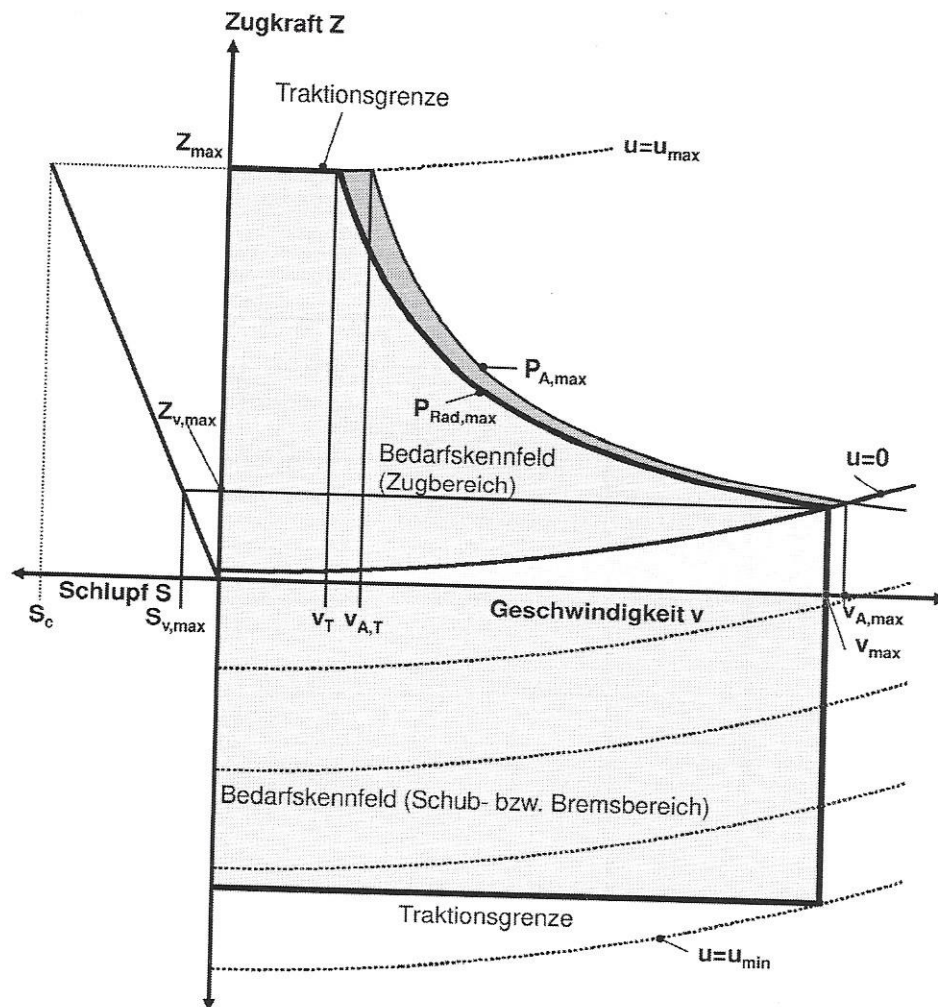


Abbildung 6.2.: Prinzipieller Aufbau des Bedarfskennfelds am Rad im Zugkraft-Geschwindigkeits-Diagramm unter Berücksichtigung des Längsschlupfes  $S$  (bei Geradausfahrt und damit ohne Berücksichtigung des Kurvenwiderstands sowie Windstille und Vernachlässigung der Auftriebskräfte) wobei  $P_{Rad,max}$  die, auf die Fahrbahn abgegebene Leistung, und  $P_{A,max}$  die maximale Leistung an der Radnabe des angetriebenen Rads ist.

Im Schubbereich wird das Bedarfskennfeld durch die Traktionsgrenze begrenzt, aus welcher in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit die maximale konzeptbedingte Bremskraft resultiert. Das Bedarfskennfeld wird grundsätzlich bei Geradausfahrt ohne Berücksichtigung des Kurvenwiderstands sowie Auf- und Abtriebskräften betrachtet, wenn dies nicht explizit erwähnt wird. Bei Serienfahrzeugen, ohne betont sportliche Auslegung, bleiben diese Kräfte relativ klein, da hohe Abtriebskräfte zu erhöhten Mehrverbrauch führen können. In folgenden Unterkapiteln wird detailliert darauf eingegangen, wie das Bedarfskennfeld ermittelt wird.

#### 6.1.1.1. Bereich maximaler Zugkraft / Anfahr-, Beschleunigungs- und Steigvermögen

Aus der maximalen Steigfähigkeit bzw. maximalen Beschleunigungsfähigkeit, die in dem Steigungs- und Beschleunigungsfaktor  $u$  (vgl. auch Kapitel 5.1.2) zusammengefasst sind, ergibt sich die theoreti-



sche Zugkraftgrenze 6.2 des Bedarfskennfeldes, welches ein Plateau maximaler Zugkraft bei geringer Geschwindigkeit darstellt.

$$u_{max} = \left( p + \frac{\ddot{x}}{g_c} \right)_{max} \quad (6.1)$$

$$Z_{max} = G_c \cdot u_{max} \quad (6.2)$$

Die Forderung nach maximaler Zugkraft hängt jedoch auch maßgeblich mit der Wahl der Antriebskonfiguration sowie der Schwerpunktlage des Fahrzeugs zusammen. Folglich gilt  $u_{max} \leq u_{max,Antriebskonfiguration}$  für die Antriebskonfigurationen Allradantrieb (AA), Hinterachsantrieb (HA) sowie Vorderachsantrieb (VA). In der Regel ergibt sich die Zugkraftgrenze aus der konzept- und haftungsbedingten Traktionsgrenze (Maximalauslegung, /  $u_{max} = u_{max,Antriebskonfiguration}$  ) des Fahrzeugs, deren Herleitung im Folgenden erläutert wird. Die Zugkraftgrenze geht aus den Gleichungen der Radumfangskraft (Kapitel 4.3.1) hervor. Die Radumfangskraft  $F_x$  entspricht dabei, bei Vernachlässigung der Radwi-derstände, näherungsweise der Zugkraft  $Z$ .

$$Z \approx F_x \quad (6.3)$$

Die maximale Umfangskraft  $F_x$  wiederum ergibt sich aus der Kraftschlussbedingung  $\mu = \mu_h$  bzw. aus dem Haftbeiwert sowie der Radlast  $F_z$  (Kapitel 4.3.1), wobei die Radlasten von dem Antriebskonzept abhängen. Daraus folgt, dass sich im Anfahrbereich für Fahrzeuge mit unterschiedlichen Antriebskonzepten unterschiedliche Werte für die maximalen Umfangskräfte und somit auch unterschiedliche maximal übertragbare Zugkräfte  $Z_{max}$  ergeben. Aus den in Kapitel 5 erläuterten Zusammenhängen gehen folgende  $Z_{max}$  für Allradantrieb (Index AA), Hinterachsantrieb (Index HA) sowie Vorderachsantrieb (Index VA) hervor.

$$Z_{max,AA} = \mu \cdot G_c = u_{max}^{AA} \cdot G_c \quad (6.4)$$

$$Z_{max,HA} = \frac{\frac{l_V}{l}}{\frac{1}{\mu_h} - \frac{h}{l}} \cdot G_c = u_{max}^{HA} \cdot G_c \quad (6.5)$$

$$Z_{max,VA} = \frac{\frac{l_H}{l}}{\frac{1}{\mu_h} + \frac{h}{l}} \cdot G_c = u_{max}^{VA} \cdot G_c \quad (6.6)$$

Abbildung 6.3 zeigt den Bereich maximaler Zugkraft  $Z = Z_{max}$  bei  $u = u_{max}$  bis zum Erreichen der Zugkrafthyperbel maximaler Leistung. Der kritische Schlupf  $S_c$  resultiert aus der konzeptabhängig übertragenen Zugkraft  $Z_{max}$  (Gleichungen 6.4 bis 6.6), die aus dem Reibwert-Schlupf-Diagramm nach Abbildung 2.14 folgt.  $S_c$  entspricht gemäß Gleichung 6.7 dem kritischen Schlupfwert  $S_c$ , der sich zwischen  $S_c = 0,10$  bis  $0,15$  befindet (siehe Kapitel 2.3). Auf der Ordinate ist der Schlupf  $S$  aufgetragen. Bei  $Z_{max}$  liegt der kritische Schlupf  $S_c$  vor. Für  $u = u_{max}$  resultiert aus der maximalen Fahrleistung  $P_{max}$  die maximale Radumfangsgeschwindigkeit  $v_T$ .  $P$  entspricht der Fahrleistung die unter Berücksichtigung des Schlupfs auf die Straße übertragen wird.

$$S_T = S(Z_{max}) = S_c \quad (6.7)$$

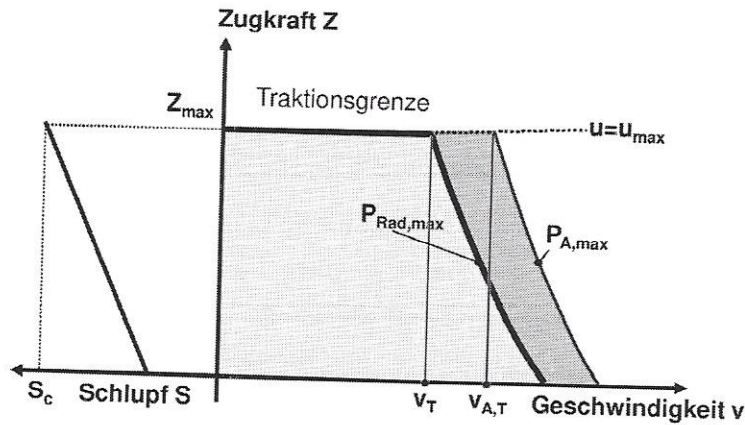


Abbildung 6.3.: Ausschnitt des Bedarfskennfelds am Rad im Zugkraft-Geschwindigkeits-Diagramm im Bereich der Zugkraftgrenze  $Z = Z_{max}$  mit maximaler Radumfangsgeschwindigkeit, die der Umfangsgeschwindigkeit der Achse  $v_{A,T}$  entspricht und der entsprechenden Fahrgeschwindigkeit  $v_T$ .

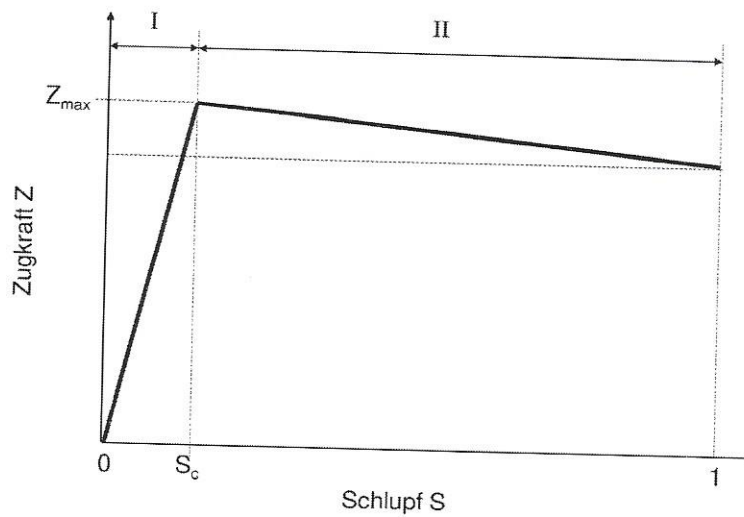


Abbildung 6.4.: Verlauf der übertragbaren Zugkraft  $Z$  in Abhängigkeit des Längsschlupfs  $S$  am Rad in Anlehnung an Abbildung 2.14 mit I: Stabiler Bereich der  $Z$ - $S$ -Kurve bis zur maximal übertragbaren Zugkraft  $Z_{max}$  bei  $S_c$  und II: instabiler Bereich der  $Z$ - $S$ -Kurve, wobei beide Bereiche durch Geraden angenähert werden.

Über  $Z_{max}$  (Gleichungen 6.4 bis 6.6) und die maximale Leistung des Antriebssystems am Reifen Fahr-  
bahnkontakt  $P_{Rad,max}$ , welche sich aus den Beschleunigungsanforderungen bei  $v > v_T$  und der Maxi-  
malgeschwindigkeitsanforderung an ein Fahrzeug ergibt, lässt sich die Radumfangsgeschwindigkeit bei  
maximaler Zugkraft  $v_{A,T}$  gemäß Gleichung 6.8 berechnen.

$$v_{A,T} = \frac{P_{A,max}}{Z_{max}} \quad (6.8)$$

Für die Fahrgeschwindigkeit  $v_T$  ergibt sich aus Gleichung 6.8 unter Berücksichtigung des Schlupfwerts  
 $S_T = S_c$  (vgl. Gleichung 6.7) :

$$v_T = (1 - S_c) \cdot v_{A,T} = (1 - S_c) \cdot \frac{P_{max}}{Z_{max}}. \quad (6.9)$$



### 6.1.1.2. Bereich maximaler Geschwindigkeit

Die Anforderungen an die Höchstgeschwindigkeit orientieren sich nach der Fahrzeugklasse. In den 80er Jahren verpflichteten sich darüber hinaus viele deutsche Hersteller freiwillig zur Abriegelung der Maximalgeschwindigkeit bis 250 km/h in der Mittel- und Luxusklasse ab Werk. Zunehmend werden Fahrzeuge dieser Kategorien jedoch gegen Aufpreis von den Herstellern entriegelt und können höhere Maximalgeschwindigkeiten erreichen. In Japan haben sich 1988 die Mehrzahl der Automobilhersteller freiwillig zu einer Abriegelung der Maximalgeschwindigkeit bis 180 km/h verpflichtet. In den USA besteht ebenfalls keine gesetzliche Regelung, viele Hersteller haben dennoch einer freiwilligen Abriegelung bei 130 mph (210 km/h) zugestimmt. Bei Hybridfahrzeugen wird zudem zwischen der Höchstgeschwindigkeit unter Einsatz des Verbrennungsmotors und der rein elektrisch erzielbaren Höchstgeschwindigkeit unterschieden. Die Anforderungen der Fahrzeughersteller beziehen sich auf die tatsächlich erreichbare Fahrzeuggeschwindigkeit. Folglich muss bei der Darstellung des Bedarfskennfelds die maximale Geschwindigkeit  $v_{max}$  unter Berücksichtigung des Reifenschlupfs aufgetragen werden.

Da

$$v_{A,max} = \frac{v_{max}}{(1-S)} \quad (6.10)$$

gilt, entspricht die relative Abweichung bei Nichtberücksichtigung des Reifenschlupfs genau dem Schlupf bei maximaler Geschwindigkeit

$$1 - \frac{v_{max}}{v_{A,max}} = S. \quad (6.11)$$

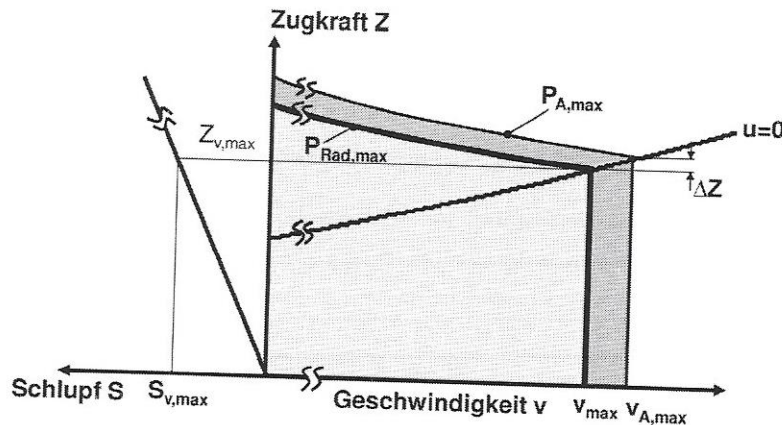


Abbildung 6.5.: Ausschnitt des Bedarfskennfelds am Rad im Zugkraft-Geschwindigkeits-Diagramm im Bereich der Maximalgeschwindigkeit  $v_{max}$  mit maximaler Radumfangeleistung  $P_{max}$  und das maximale Fahrleistung auf der Straße  $P$  unter Berücksichtigung des Schlupfs  $S$ , wobei dem Schlupf  $S_{v,max}$  bei maximaler Fahrgeschwindigkeit die Zugkraftdifferenz  $\Delta Z$  resultiert.

und der entsprechenden Fahrgeschwindigkeit  $v_T$ .

Abbildung 6.5 zeigt den Bereich maximaler Geschwindigkeit des Bedarfskennfelds.  $P_{A,max}$  ist die Zugkrafthyperbel für die Maximalleistung an der Antriebsachse, die sich bei der Radumfangeleistung  $v_{A,max}$  und der Zugkraft  $Z_{v,A,max}$  auf der ebenen Fahrwiderstandlinie nach Gleichung 6.12 ergibt.

$$P_{A,max} = Z_{v,A,max} \cdot v_{A,max} \quad (6.12)$$

Die Radumfangsgeschwindigkeit und die maximale Geschwindigkeit  $v_{max}$  des Fahrzeugs hängen über den Schlupf  $S$  entsprechend Gleichung 6.11 zusammen:

$$v_{max} = (1 - S) v_{A,max} \quad (6.13)$$

Der Schlupf ergibt sich in Abhängigkeit der Zugkraft  $Z$  entsprechend Abbildung 6.4. Dieser lässt sich jedoch nur iterativ bestimmen, da der Radschlupf die Reduzierung der maximalen Radleistung  $P_{Rad,max}$  bewirkt, welche in der Praxis zur Verschiebung des Betriebspunktes auf der ebenen Fahrwiderstandslinie zu kleineren Werten für Fahrgeschwindigkeit und Zugkraft (um  $\Delta Z$ ) führt. Die Variation der Zugkraft  $Z$  verändert nach Abbildung 6.4 den Schlupf  $S$ . Der Schlupf wiederum beeinflusst die Fahrgeschwindigkeit.

Mit der maximalen Radumfangsgeschwindigkeit, welche aus der Raddrehzahl genau bestimmbar ist, kann in der Praxis der Betriebspunkt  $(v_{max}; Z_{v,max})$  über eine Vereinfachung näherungsweise berechnet werden. Hierfür wird für kleine Schlupfwerte  $S < 0,04$ , die bei hohen Geschwindigkeiten und relativ geringer Zugkraft vorliegen, die Änderung des Schlupfs vernachlässigt. Folglich ergibt sich mit dem messbaren Betriebspunkt  $(v_{A,max}; Z_{A,v,max})$  und der bekannten Leistung  $P_{A,max}$ :

$$v_{max} = (1 - S(Z_{v,max})) v_{A,max} \approx (1 - S(Z_{A,v,max})) v_{A,max} \quad (6.14)$$

$$P_{v,max} = (1 - S(Z_{v,max})) P_{A,max} \approx (1 - S(Z_{A,v,max})) P_{A,v,max} \quad (6.15)$$

Durch Umstellen von 6.14 ergibt sich die Geschwindigkeitsdifferenz  $\Delta v_{max}$  und die Leistungsdifferenz  $\Delta P_{v,max}$  zu:

$$\Delta v_{max} = v_{A,max} - v_{max} = S(Z_{v,max}) \cdot v_{A,max} \quad (6.16)$$

$$\Delta P_{v,max} = P_{A,v,max} - P_{v,max} = S(Z_{v,max}) \cdot P_{A,v,max} \quad (6.17)$$

Die Abweichungen durch die Berücksichtigung des Schlupfs betragen für ein Kompaktklassefahrzeug  $\Delta v_{max} = 6 \text{ km/h}$  bzw.  $\Delta P_{v,max} = 7 \text{ kW}$  (Kapitel 3.2). Die Zugkraft  $Z_{v,max}$  wird aus den Gleichungen 6.14 und 6.15 ermittelt:

$$Z_{v,max} = \frac{P_{v,max}}{v_{max}} \approx \frac{P_{A,v,max}}{v_{A,max}} \quad (6.18)$$

Aus Gleichung 6.18 geht hervor, dass durch die Vernachlässigung der Schlupfänderung angenommen wird, dass  $Z_{v,max} \approx Z_{A,v,max}$  gilt. Tatsächlich besteht allerdings, wie in Abbildung 6.5 zu sehen, eine Zugkraftdifferenz  $\Delta Z$  (Gleichung 6.19), welche im Rahmen der obigen Näherung vernachlässigt wurde.  $\Delta Z$  lässt sich anhand der Unterschiede der Fahrwiderstände abschätzen.

$$\Delta Z = Z_{A,v,max} - Z_{v,max} \quad (6.19)$$

Die Zugkraftänderung bei hohen Geschwindigkeiten in der Ebene resultiert im Wesentlichen aus der Veränderung der Luftwiderstandskräfte  $F_{L,v,A,max}$  bei  $v = v_{A,max}$  und  $F_{L,v,max}$  bei  $v = v_{max}$ . Für  $\Delta Z$  gilt damit

$$\Delta Z = F_{L,v,A,max} - F_{L,v,max} \quad (6.20)$$



mit

$$F_{L,v,A,max} = \frac{1}{2} \rho c_w A v_{A,max}^2 \quad (6.21)$$

$$F_{L,v,max} = \frac{1}{2} \rho c_w A v_{max}^2 \quad (6.22)$$

woraus sich

$$\Delta Z = \frac{1}{2} \rho c_w A (v_{A,max}^2 - v_{max}^2) \quad (6.23)$$

ergibt. Wegen (6.13) ergibt sich aus (6.23)

$$\Delta Z = \frac{1}{2} \rho c_w A v_{A,max}^2 [1 - (1 - S)^2] \quad (6.24)$$

$$= \frac{1}{2} \rho c_w A v_{A,max}^2 S(2 - S) \quad (6.25)$$

Für das Beispiel des Kompaktklassefahrzeugs (Fahrzeug 2 aus Kapitel 3.2) beträgt  $\Delta Z$  unter 100 N. Folglich liefert die Vernachlässigung der Schlupfänderung nach den Gleichungen 6.14 bis 6.18 praxisnahe Ergebnisse.

### 6.1.1.3. Schubereich des Bedarfskennfelds am Rad

Die resultierende Abbremsung des Fahrzeugs ergibt sich aus der Bremskraft, die über die Räder übertragen wird, sowie den Fahrwiderständen. Im Falle der Bremsung muss bei jeder Geschwindigkeit, also auch bei  $v_{max}$  eine hohe Umfangskraft auf den Rädern aufgebracht werden können, die im Grenzfall und unter Berücksichtigung der idealen Bremskraftverteilung an beide Achsen, d.h. bei einer idealen Allradbremsung (Index AB) dem Produkt aus Haftreibbeiwert  $\mu_h$  und Gewichtskraft  $G_c$  entspricht. Die bei einer Allradbremsung resultierende maximale Zugkraft  $Z_{min,AB}$  ergibt sich aus der zuvor aufgeführten Bremskraft und den auf das Fahrzeug wirkenden, zusätzlich bremsenden Fahrwiderständen  $F_{St}$ ,  $F_L$ ,  $F_{Roll}$ ,  $F_{Reib}$  und  $F_K$  nach Gleichung 6.26.

$$Z_{min,AB} = -\mu_h \cdot G_c - F_{St} - F_L - F_{Roll} - F_{Reib} - F_K \quad (6.26)$$

Wird dagegen nur eine Achse gebremst, wie es bei Einachs-Hybridantrieben während der Rekuperationsbremsung der Fall ist, so gelten für die maximal übertragbaren Bremskräfte  $Z_{min}$  bei Vorder- (Index VB) bzw. Hinterradbremsung (Index HB):

$$Z_{min,VB} = -\frac{\frac{l_V}{l}}{\frac{1}{\mu_h} - \frac{h}{l}} \cdot G_c - F_{St} - F_L - F_{Roll} - F_{Reib} - F_K \quad (6.27)$$

$$Z_{min,HB} = -\frac{\frac{l_H}{l}}{\frac{1}{\mu_h} + \frac{h}{l}} \cdot G_c - F_{St} - F_L - F_{Roll} - F_{Reib} - F_K \quad (6.28)$$

Die Bremsleistung  $P_{B,min}$  ergibt sich damit für die verschiedenen Bremskonzepte AB, VB und HB zu

$$\text{Allradbremsung : } P_{\min,AB} = Z_{\min,AB} \cdot v_{\max} \quad (6.29)$$

$$\text{Hinterradbremung : } P_{\min,HB} = Z_{\min,HB} \cdot v_{\max} \quad (6.30)$$

$$\text{Vorderradbremung : } P_{\min,VB} = Z_{\min,VB} \cdot v_{\max} \quad (6.31)$$

### 6.1.2. Das Bedarfskennfeld im P-v-Diagramm

Durch Transformation des Z-v-Diagramms in ein P-v-Diagramm (Abbildung 6.6) wird der Leistungsverlauf für die Fahrwiderstandslinien und die Zugkraftgrenze deutlich. Die Zugkraftgrenze wird im P-v-Diagramm zu einer Geraden durch den Nullpunkt, die durch die maximale Leistung ( $P_{A,max}$ ) begrenzt wird. Die in das Leistungs-Geschwindigkeits-Diagramm übertragenen Fahrwiderstandslinien, wie zum Beispiel die ebene Fahrwiderstandslinie mit  $u = 0$ , führen gegenüber der Geschwindigkeit zu einem Anstieg der Leistung mit der dritten Potenz bis hin zur maximalen Leistung ( $P_{Rad,max}$ ).

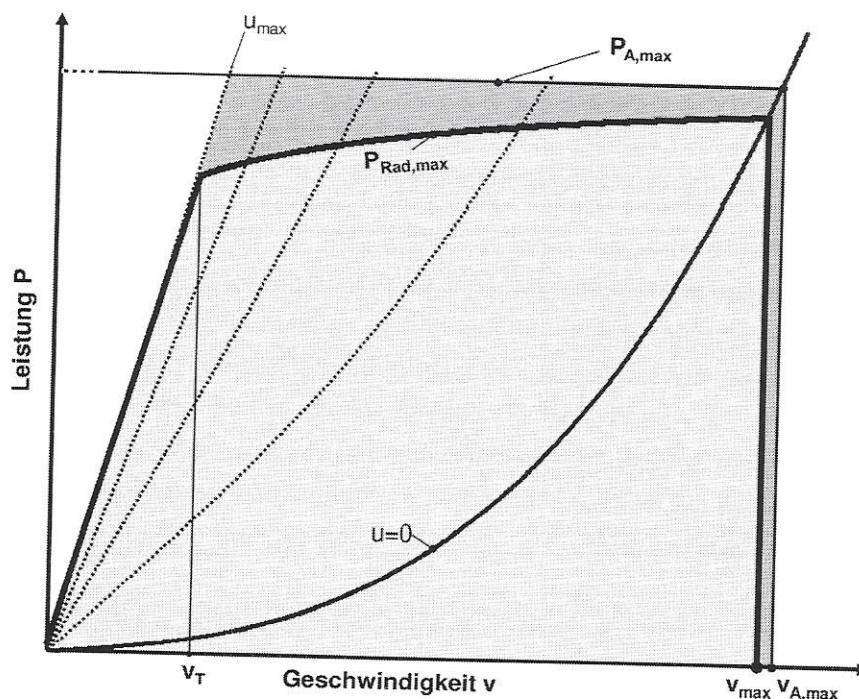


Abbildung 6.6.: Zugbereich des Bedarfskennfelds am Rad im P-v-Diagramm (ohne Berücksichtigung des Kurvenwiderstands und der Auftriebskräfte sowie bei Windstille). Wobei maximaler Radumfangsgeschwindigkeit  $v_{A,max}$  die maximale Leistung an der Achse  $P_{A,max}$  abgerufen wird und der fahrbare Bereich von der maximalen Fahrgeschwindigkeit  $v_{max}$ , dem Steigungs- und Beschleunigungsfaktor  $u = u_{max}$  sowie der umsetzbaren Leistung  $P_{Rad,max}$  unter Berücksichtigung des Schlupfes  $S$  begrenzt wird.

Die auf die Fahrbahn übertragende Radleistung  $P_{Rad,max}$  weist im Bereich der Traktionsgrenze eine lineare Abhängigkeit zu der Fahrgeschwindigkeit  $v$  mit Steigung der momentan auf die Fahrbahn übertragbaren Kraft  $Z_{max}$  auf, während im weiteren Verlauf  $P_{Rad}$  sich aus der Leistung an der Achse  $P_{A,max}$  unter Berücksichtigung des Radschlupfs  $S$  ergibt:



$$P = \begin{cases} Z_{\max} \cdot v & \text{für } 0 \leq v \leq v_T \\ P_{\max} \cdot (1 - S(Z)) & \text{für } v_T < v \leq v_{\max} \end{cases} \quad (6.32)$$

Unterhalb der Geschwindigkeit  $v_T$  an der Traktionsgrenze lässt sich also die Leistung aus dem Produkt von maximaler Zugkraft  $Z_{\max}$  und aktueller Geschwindigkeit  $v$  berechnen. Oberhalb von  $v_T$  und bis  $v_{\max}$  erfolgt die Berechnung der Leistung  $P_{\text{Rad},\max}$  in Abhängigkeit der maximalen Leistung an der Achse  $P_{A,\max}$  unter Berücksichtigung des Schlupfs.

Tabelle 6.1 stellt zusammenfassend eine Übersicht der vorgestellten Kennparameter dar, welche zur Beschreibung der unterschiedlichen Bedarfskennfelder benötigt werden.

Tabelle 6.1.: Kennparameter zur Ermittlung und Darstellung des vollständigen Bedarfskennfelds am Rad unter Berücksichtigung des Schlupfs  $S$  im  $Z$ - $v$ - oder  $P$ - $v$ -Diagramm mit Verweis auf die Gleichungen zur Berechnung der Kennparameter sowie der zugehörigen Kapitel.

Kennparameter	Bezeichnung	Gleichung	Kapitel
Maximale Zugkraft (an der Traktionsgrenze)	$Z_{\max}$	6.2	6.1.1.1
Zugkraft bei maximaler Geschwindigkeit	$Z_{A,\max}$	6.18	6.1.1.2
Minimale Zugkraft bei Allradbremsung	$Z_{\min,AB}$	6.26	6.1.1.3
Maximale Radumfangsgeschwindigkeit an der Traktionsgrenze	$v_{A,T}$	6.9	6.1.1.1
Maximale Geschwindigkeit an der Traktionsgrenze	$v_T$	6.9	6.1.1.1
Maximale Radumfangsgeschwindigkeit	$v_{A,\max}$	6.10	6.1.1.2
Maximale Fahrzeuggeschwindigkeit	$v_{\max}$	6.13	6.1.1.2
Maximale Leistung	$P_{A,\max}$	6.12	6.1.1.2
Leistung bei maximaler Zugkraft	$P_{\text{Rad},Z,\max}$	6.32	6.1.1.2
Leistung bei maximaler Geschwindigkeit	$P_{\text{Rad},v,\max}$	6.15	6.1.1.2

### 6.1.3. Beispiel: Vergleich der Bedarfskennfelder eines Kompaktklassefahrzeugs und eines SUV

Auf Basis der Fahrzeugparameter aus Kapitel 3.2 lassen sich die Kennparameter für das Bedarfskennfeld berechnen. Grund- und Kennparameter für die Beispielfahrzeuge 2 (Kompaktklasse) und Fahrzeug 4 (Sport Utility Vehicle (SUV)) sind in Tabelle 6.2 abgebildet. Daraus ergeben sich die entsprechenden Zugkraft-Geschwindigkeits- bzw. Leistungs-Geschwindigkeits-Diagramme (Abbildung 6.7).

Zur Darstellung der Einflüsse von Fahrzeugparametern auf das Bedarfskennfeld sind in beiden Fällen frontangetriebene Konzepte angenommen worden. Der Vergleich der Bedarfskennfelder beider Fahrzeuge zeigt, dass die Fahrzeugparameter einen signifikanten Einfluss auf die Größe des Bedarfskenn-

felds besitzen. Das SUV besitzt eine deutlich höhere maximale Zugkraft, welche sich aus der höheren Masse ergibt. Da sowohl die Traktionsgrenze als auch das Beschleunigungs- bzw. Steigvermögen von der Fahrzeugmasse abhängen, werden bei Vernachlässigung der Änderung des Rollwiderstands mit der Fahrzeuggewichtskraft durch das SUV gleiche Beschleunigungs- und Steigungswerte, wie durch die Kompaktklasse erreicht. Für das SUV mit Allradkonzept erhöht sich die maximale Zugkraft  $Z_{max}$  von zuvor ca. 9 000 N auf ca. 12 000 N. Entsprechend erhöht sich dadurch das Beschleunigungs- und Steigungsvermögen um 33 % verglichen mit einem SUV mit Fronantrieb. Für die Kompaktklasse ergibt sich aus der maximalen Geschwindigkeit von  $v_{max} = 226 \text{ km/h}$  ein maximaler Leistungsbedarf am Rad von  $P_{Rad,v,max} = 122 \text{ kW}$ . Das SUV liegt aufgrund der größeren Querspanntfläche ( $A$ ) und des schlechteren  $c_w$ -Werts bei  $P_{Rad,v,max} = 185 \text{ kW}$  auf Radebene.

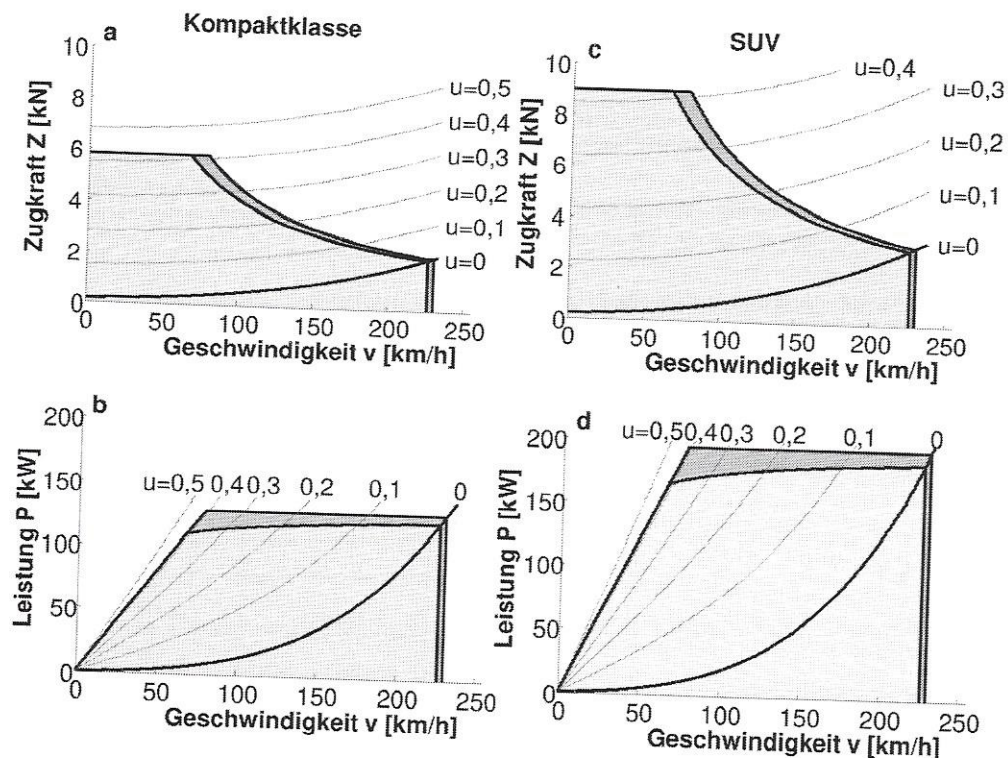


Abbildung 6.7.: Bedarfskennfelder am Rad des Kompaktfahrzeugs und des SUV (Parameter siehe Kapitel 3.2) im Zugkraft-Geschwindigkeits-Diagramm ( $Z$ - $v$ -Diagramm) und Leistung-Geschwindigkeits-Diagramm ( $P$ - $v$ -Diagramm) (bei Geradeausfahrt und damit ohne Berücksichtigung des Kurvenwiderstands sowie Windstille und Vernachlässigung der Auftriebskräfte). Dargestellt werden im  $Z$ - $v$ -Diagramm zudem die Fahrwiderstandslinien für unterschiedliche Beschleunigungs-Steigungsfälle  $u$  sowie Verluste durch den Reifenschlupf rötlich eingefärbt. **a, b:** Frontangetriebene Kompaktklasse mit den Grund- und Kennparametern aus Tabelle 6.2, **c, d:** Frontangetriebenes SUV mit den Grund- und Kennparametern aus Tabelle 6.2.

#### 6.1.4. Einfluss von Fahrzeugparametern auf das Bedarfskennfeld

Im Folgenden werden die Fahrzeugparameter, wie Masse  $m$ , Rollwiderstand  $f_R$ , Luftwiderstandsfläche  $c_w \cdot A$  und Maximalgeschwindigkeit  $v_{max}$  betrachtet und deren Einfluss auf die Kennparameter des Bedarfskennfelds, wie maximale Beschleunigung  $\ddot{x}_{max}$ , maximale Steigfähigkeit  $p_{max}$ , maximal erreichbare Geschwindigkeit  $v_T$  an der Zugkraftgrenze und maximale Leistung  $P_{Rad,v,max}$  am Rad, erläutert.