

Abb. 2
Beschreibung der Kriterien zur Auslegung der größten Getriebeübersetzung anhand des Zugkraft-Diagramms, 1: Anfahrfähigkeit mit Reibkupplung, 2: Steigfähigkeit, Beschleunigungsvermögen, 3: Kriechgeschwindigkeit

Eine weitere Wandlung erfolgt durch das Achsgetriebe. Die Ausgangsgrößen am Achsgetriebe lassen sich unter der Berücksichtigung der Achsgetriebeübersetzung i_{AG} und dem Wirkungsgrad des Achsgetriebes η_{AG} , mit den folgenden Gleichungen ermitteln:

$$n_{Rad} = \frac{n_{Mot}}{i_G \cdot i_{AG}}, \quad (6)$$

$$M_{AG,aus} = M_{Mot} \cdot i_G \cdot i_{AG} \cdot \eta_G \cdot \eta_{AG}, \quad (7)$$

$$P_{Rad} = P_{Mot} \cdot \eta_G \cdot \eta_{AG}. \quad (8)$$

Durch die Kenntnis über den statischen Reifenhalbmesser r_{stat} wird die Zugkraft Z berechnet

$$Z = \frac{M_{Rad}}{r_{stat}}. \quad (9)$$

Schließlich lässt sich die Fahrzeuggeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Motordrehzahl bestimmen:

$$v = \dot{x} = \frac{n_{Mot}}{i_G \cdot i_{AG}} \cdot \frac{2 \cdot \pi}{60} \cdot r_{ds}. \quad (10)$$

Dabei ergibt sich die Fahrgeschwindigkeit in Längsrichtung des Fahrzeugs aus der

Raddrehzahl unter Berücksichtigung des dynamischen schlupfbehafteten Reifenhalbmesser r_{ds} . Mithilfe der Gl. (10) lassen sich die Drehzahl n – Geschwindigkeit v – Diagramme (auch Sägezahndiagramme genannt) erstellen, wenn für die Gesamtübersetzung des Triebstrangs gilt:

$$i = i_G \cdot i_{AG}. \quad (11)$$

8.3.1 Auslegung der größten Übersetzung

Die Wahl der größten Übersetzung hat einen entscheidenden Einfluss auf die Kriterien Anfahrfähigkeit, Steig- und Beschleunigungsfähigkeit sowie die Kriechgeschwindigkeit eines Fahrzeuges. **Abbildung 2** veranschaulicht diese Zusammenhänge, wobei der Luftwiderstand beim Anfahren keine Rolle spielt.

Die **Anfahrfähigkeit**, auch die erforderliche maximal übertragbare Zugkraft, des voll beladenen Fahrzeugs inklusive maximaler Anhängelast an einer definierten Steigung muss gegeben sein (Punkt 1 in Abb. 2). Die Reibarbeit in der Kupplung ist dabei umso kleiner je größer die Übersetzung des ersten Ganges ist.

Die **Steigfähigkeit** (Punkt 2 in Abb. 2) beschreibt die maximal mögliche Steigung, welche mit diesem Fahrzeug befahren werden kann. Der erste Gang ist hierbei eingelegt, die Kupplung geschlossen und der Motor befindet sich im Betriebspunkt seines maximalen Drehmoments. Ähnlich verhält es sich mit der maximal möglichen **Beschleunigungsfähigkeit**: Wenn das Fahrzeug keine Steigung befährt, sondern sich in der Ebene befindet, so wird die maximale Beschleunigung des Fahrzeugs in demselben Betriebspunkt wie die maximale Steigfähigkeit erreicht. Grundsätzlich lassen sich mit einer größeren Übersetzung folglich die Steig- und Beschleunigungsfähigkeit eines Fahrzeuges verbessern. Die

Bereiche (Punkte) 1 und 2 können jedoch nicht über der Traktionsgrenze

$$Z_{\max} = \frac{M_{\text{Rad,max}}}{r_{\text{stat}}} \quad (12)$$

liegen, da in diesem Fall die erforderliche Zugkraft zum Befahren der entsprechenden Steigung bzw. zum Erreichen der maximalen Beschleunigung zwar durch den Antrieb bereitgestellt werden könnte, allerdings die Reifen die Haftung verlieren würden.

Der Bereich 3 in Abb. 2 zeigt ein weiteres Kriterium für die Wahl der größten Getriebeübersetzung, die *Kriechgeschwindigkeit*:

$$v_{\text{kriech}} = n_{\text{LL}} \cdot \frac{\pi}{30} \cdot \frac{1}{i_1} \cdot r_{\text{dyn}} \quad (13)$$

Die Kriechgeschwindigkeit beschreibt die Geschwindigkeit des Fahrzeugs im ersten Gang bei geschlossener Kupplung und Leerlaufdrehzahl des Verbrennungsmotors. Die Kriechgeschwindigkeit darf nicht zu hoch werden, da ansonsten die subjektive Bewertung des Fahrverhaltens beispielsweise in Stausituationen, durch das ständige Auflaufen des Fahrzeugs auf den vorausfahrenden Verkehr, schlecht ausfällt. Die Kriechgeschwindigkeit sollte in der Praxis unterhalb von 7 km/h liegen. Sie ist antiproportional zur Übersetzung des ersten Ganges. Bei Elektrofahrzeugen ist dieses Kriterium nicht relevant zur Auslegung der größten Übersetzungen, da Elektromotoren keine Leerlaufdrehzahl aufweisen, [3].

8.3.2 Auslegung der Übersetzung zum Erreichen der Höchstgeschwindigkeit

In modernen Fahrzeugen wird die *Höchstgeschwindigkeit* oftmals nicht im höchsten Gang, sondern bereits in einem niedrigeren Gang erreicht. Der Höchstgeschwin-

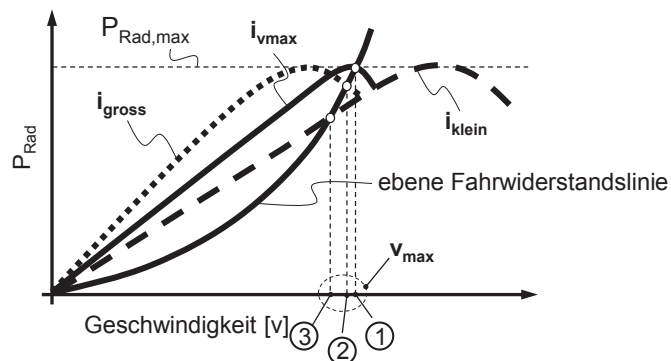


Abb. 3 Beschreibung der Kriterien zur Auslegung der Getriebeübersetzung zum Erreichen der Höchstgeschwindigkeit anhand von Verläufen der Radleistung P_{Rad} und der ebenen Fahrwiderstandslinie über der Fahrgeschwindigkeit für verschiedene Übersetzungen, 1: v_{max} -optimale Auslegung $i = i_{v_{\text{max}}}$, 2: überdrehende Auslegung $i = i_{\text{gross}}$ (üblich für den v_{max} -Gang), 3: unterdrehende Auslegung $i = i_{\text{klein}}$ (üblich für den oder die Overdrive-Gänge)

digkeitsgang muss also nicht zwingend der höchste Gang sein. Die Gänge oberhalb des Höchstgeschwindigkeitsganges werden als Overdrive-Gänge bezeichnet. Ihre Auslegung wird im nächsten Abschnitt beschrieben.

Die ebene Fahrwiderstandslinie beschreibt die benötigte Zugkraft in der Ebene bei Windstille für eine konstante Geschwindigkeit. Das Produkt aus Zugkraft und Geschwindigkeit ergibt die benötigte Radleistung in der Ebene über der Geschwindigkeit. Diese ist in **Abb. 3** dargestellt. Die gestrichelte horizontale Linie beschreibt die maximale Radleistung

$$P_{\text{Rad,max}} = P_{\text{VM,max}} \cdot \eta_{\text{Triebstrang}} \quad (14)$$

Diese hängt von der maximalen Motorleistung und dem Antriebsstrangwirkungsgrad in dem entsprechenden Betriebspunkt ab. Sie kann folglich nur bei einer einzigen Motordrehzahl, der Nenndrehzahl, und somit bei einer einzigen Fahrzeuggeschwindigkeit in jedem Gang, erreicht werden. Die dargestellte Kurvenschar zeigt die verfügbare Radleistung bei verschiedenen Übersetzungen.