

## Böenlastvielfache an einfachen Ultraleichtflugzeugen

---

Für Ultraleichtflugzeuge ist den Lufttüchtigkeitsforderungen mit aufgeführt, dass bei den Betrachtungen zur Festigkeit neben den Abfanglastvielfachen auch die Böenlastvielfache mit zu betrachten sind. Für einfache Ultraleichtflugzeuge, die ggf. von Vereinfachungen durch eine maximale Leermasse von 120kg profitieren sollen, wurde die Annahme geäußert, dass eine reine Betrachtung der Abfanglastvielfachen ausreichend sei und Böenlasten nicht gesondert betrachtet werden müssen.

Im Folgenden versuche ich zu begründen, warum diese Annahme plausibel erscheint.

Die LTF-UL von 2003 fordert auch, zu überprüfen, ob die Böenlastvielfache<sup>1</sup> höher sind, als die Abfanglastvielfache. Wenn dies so ist, dann sind für die Festigkeitsbetrachtungen die Böenlastvielfache anstatt der Abfanglastvielfache zu berücksichtigen. Solch eine Forderung ist keine Erfindung durch die Ersteller der LTF-UL sondern wurde an Forderungen in anderen Zulassungsvorschriften angelehnt.

Die zu berücksichtigenden Böenlastvielfache sind hierbei:

$$n_B = 1 + \frac{\frac{1}{2} k \rho_0 U V a}{m \frac{g}{S}}$$

wobei:

$$k = \frac{0,88 \mu}{5,3 + \mu} \quad \text{und} \quad \mu = \frac{2 \frac{m}{S}}{\rho_0 l_m a}$$

Hierbei sind

U	=	Böengeschwindigkeit in m/s
V	=	Fluggeschwindigkeit in m/s
a	=	Auftriebsanstieg des Flügels im Bogenmaß
g	=	Erdbeschleunigung (9,81 m/s <sup>2</sup> )
S	=	Flügelfläche in m <sup>2</sup>
l <sub>m</sub>	=	mittlere Flügeltiefe in m
ρ <sub>0</sub>	=	Dichte der Luft in Meereshöhe (1,225 kg/m <sup>3</sup> )
m	=	Flugzeugmasse in kg
k	=	Abminderungsfaktor
μ	=	relative Flugzeug-Massendichte

Der Auftriebsanstieg für einen Tragflügel mit unendlicher Streckung ist

$$\left( \frac{dc_L}{d\alpha} \right)_{\lambda \rightarrow \infty} = 5,86$$

Bei einem Tragflügel mit endlicher Streckung ist dieser Auftriebsanstieg nach der Prandtl'schen Umrechnungsformel

---

1 LTF-UL 341

$$\left(\frac{dc_L}{d\alpha}\right)_\lambda = \frac{\left(\frac{dc_L}{d\alpha}\right)_{\lambda \rightarrow \infty}}{1 + \frac{\left(\frac{dc_L}{d\alpha}\right)_{\lambda \rightarrow \infty}}{\pi \lambda}}$$

Die Streckung  $\lambda$  ist definiert durch:

$$\lambda = \frac{A}{l_m^2}$$

Die Bemessungsgeschwindigkeit für starke Böen  $V_B$  ist – sofern die höchste Horizontalfluggeschwindigkeit bei maximaler Dauerleistung des Antriebes nicht bekannt ist, oder geringer als die Bemessungsmanövergeschwindigkeit<sup>2</sup>  $V_A$  - an diese  $V_A$  gekoppelt. Die  $V_A$  ist an die Mindestgeschwindigkeit  $V_{S1}$  und an das sichere Abfanglastvielfache gekoppelt.<sup>3</sup>

$$V_A = V_{S1} \sqrt{n_1}$$

Die sicheren Lastvielfachen sind:<sup>4</sup>

$$n_1 = +4,0$$

$$n_4 = -2,0$$

Somit ist  $V_B = V_A = 2 V_{S1}$

Bei einer gegebenen Mindestgeschwindigkeit ist die Tragflügelfläche wiederum durch die maximale Startmasse sowie den Auftriebsbeiwert bestimmt. Beim stationären, unbeschleunigten Horizontalflug sind Auftriebskraft und Gewichtskraft im Gleichgewicht.

$$m g = \frac{1}{2} \rho V_{S1}^2 c_L A$$

$$A = \frac{2 m g}{\rho V_{S1}^2 c_L}$$

Der Auftriebsbeiwert  $c_L$  wird für einfache Ultraleichtflugzeuge mit einem Profil ähnlich Clark-Y ohne Landeklappen in einem Bereich von 1,3 bis maximal 1,5 liegen.

---

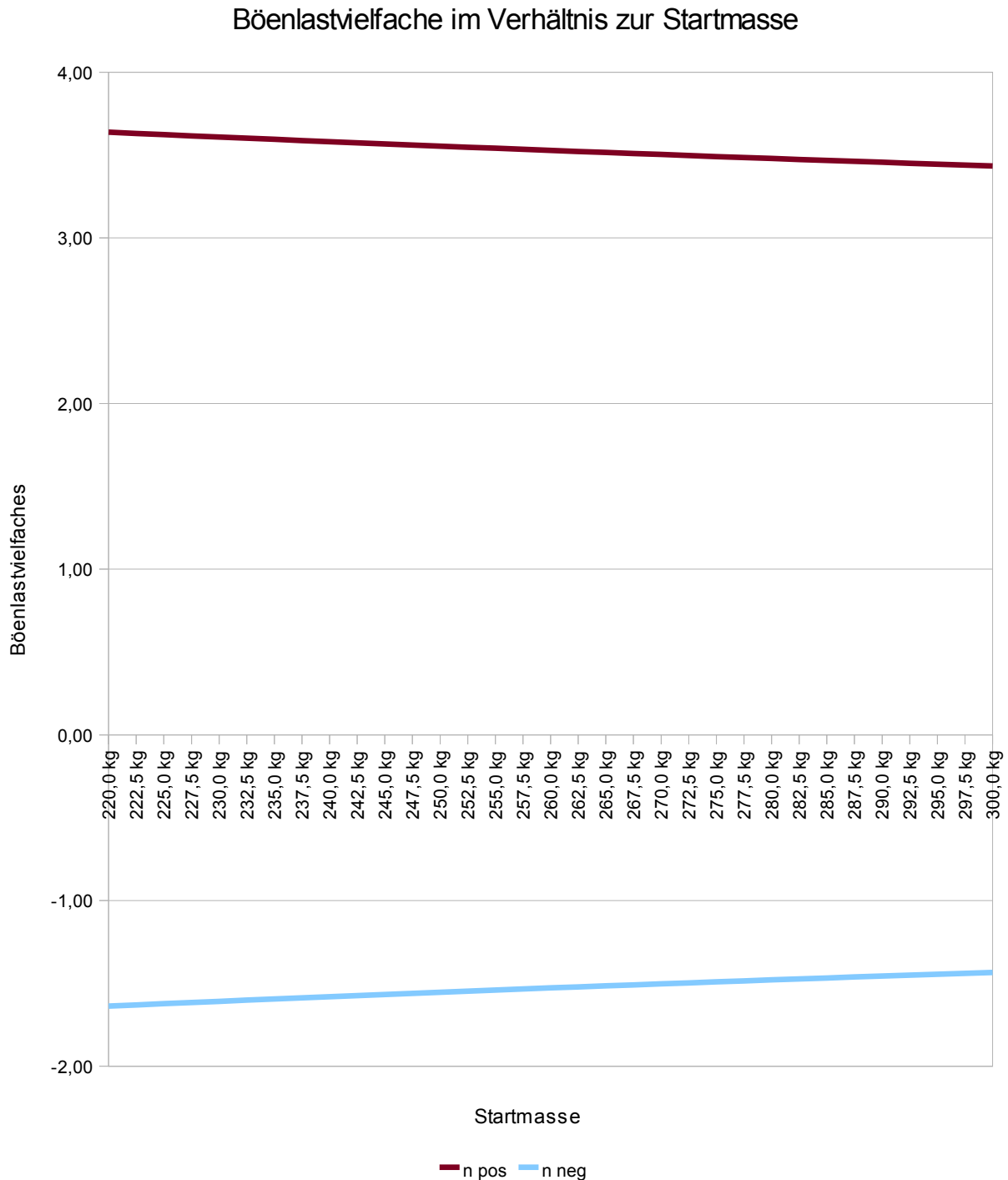
2 Bei relativ einfachen Ultraleichtflugzeugen mit großer Tragfläche ist dies eine realistische Annahme

3 LTF-UL 335

4 LTF-UL 337

## Böenlastvielfache an einfachen Ultraleichtflugzeugen

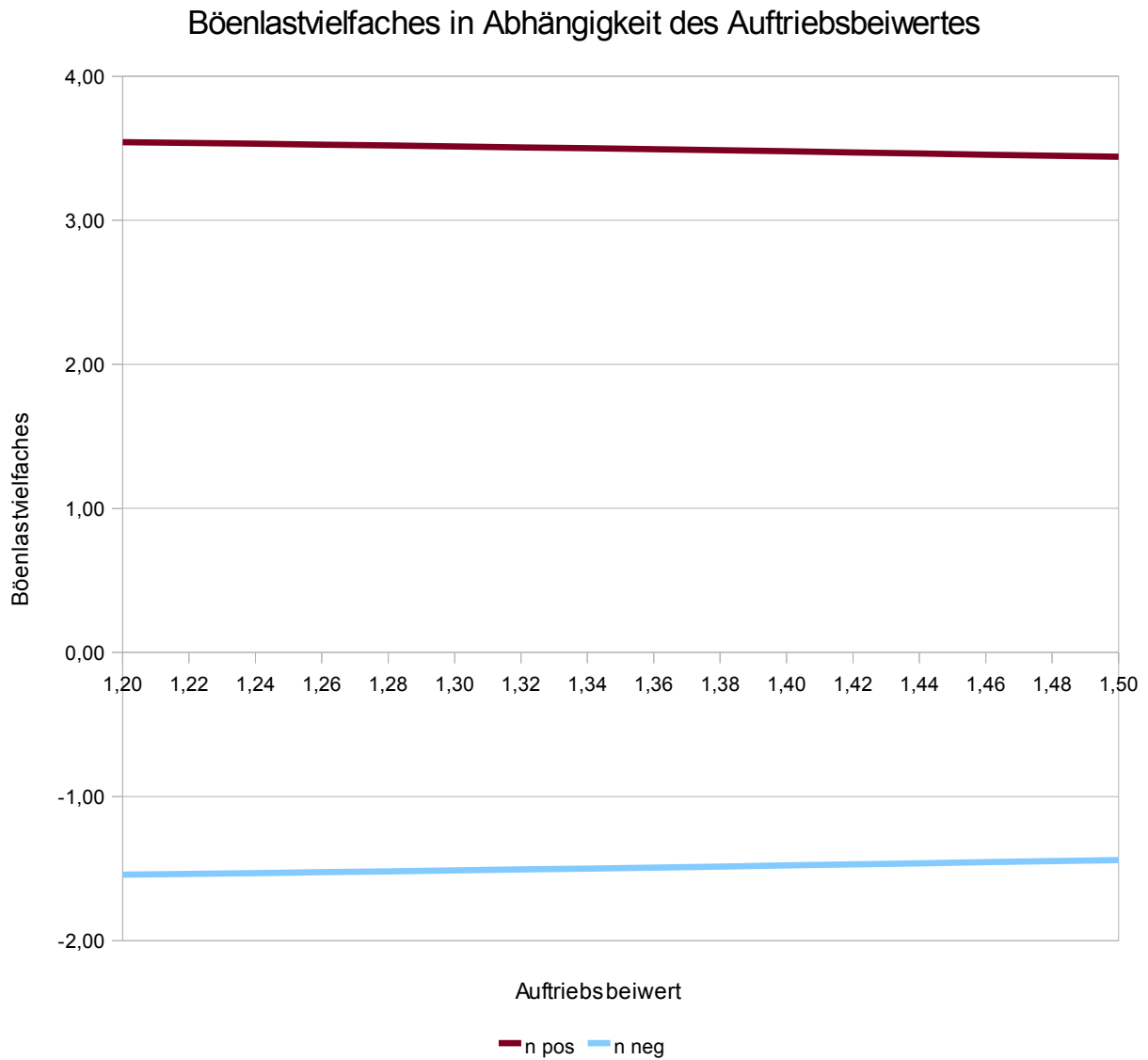
Mit den Beispielwerten  $V_{SI}=55\text{km/h}$ ;  $c_L=1,4$ ;  $\lambda=5$ ;  $U=15\text{m/s}$  und variabler Startmasse ergibt sich folgendes Bild:



Durch die sehr geringe Steigung der Kurven für die Böenlastvielfache zeigt sich, dass die maximale Startmasse ein Parameter mit geringem Einfluss ist.

## Böenlastvielfache an einfachen Ultraleichtflugzeugen

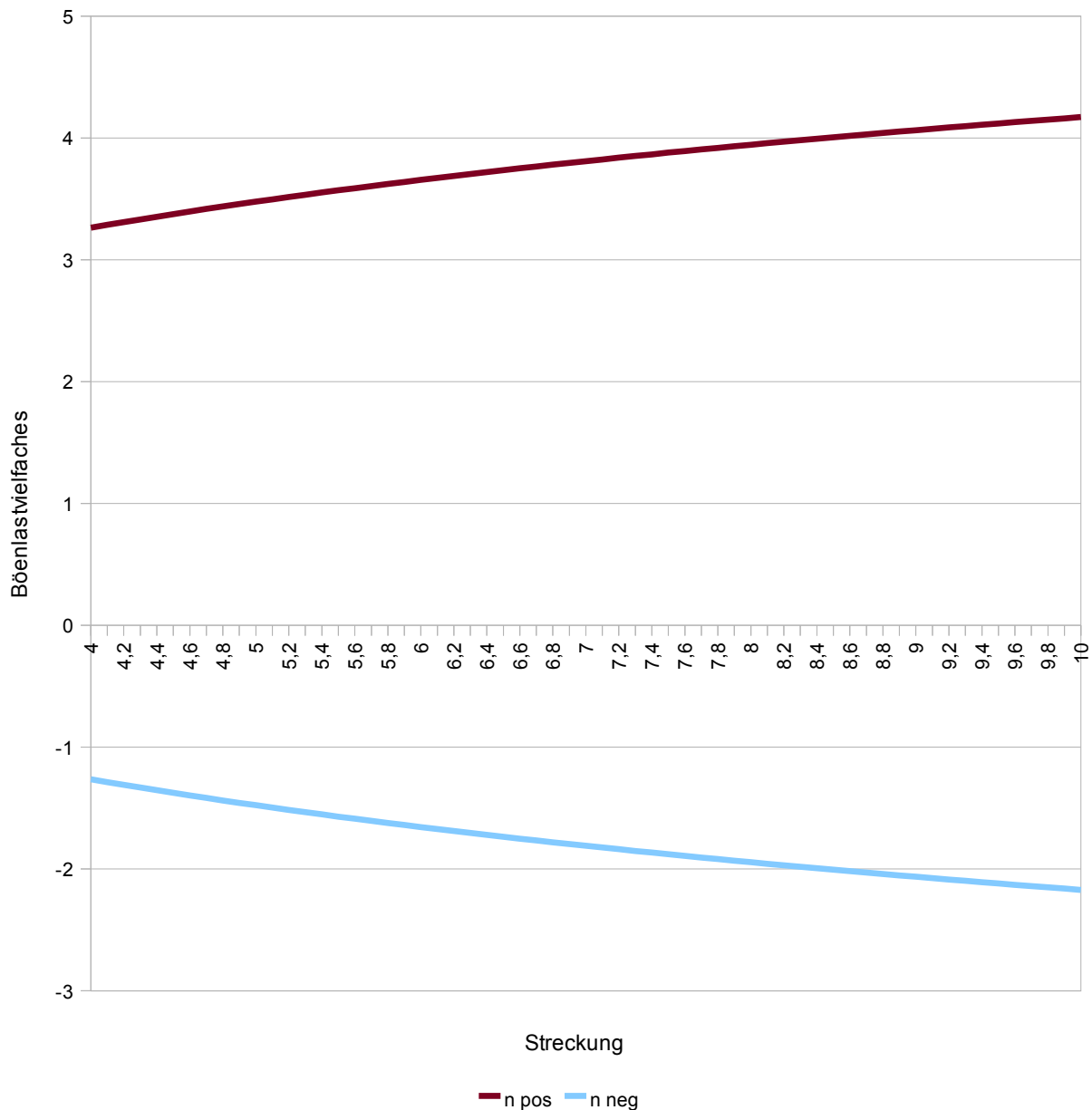
Durch Parametervariation zeigt sich auch, dass eine Änderung des Auftriebsbeiwertes im Bereich 1,2 bis 1,5 ebenfalls sehr wenig Auswirkung hat. Mit den Beispielwerten  $V_{SI}=55\text{km/h}$ ;  $m=280\text{kg}$ ;  $\lambda=5$ ;  $U=15\text{m/s}$  und variablem Auftriebsbeiwert ergibt sich folgendes Bild:



## Böenlastvielfache an einfachen Ultraleichtflugzeugen

Der Parameter mit dem größten Einfluss auf das Böenlastvielfache ist die Streckung. Aber auch hier zeigt sich, dass das Lastvielfache aus den Abfanglasten erst bei relativ hoher Streckung ( $\lambda > 8,4$ ) erreicht wird. ( $m=280\text{kg}$ ;  $V_{S1}=55\text{km/h}$ ;  $c_L=1,4$ ;  $U=15\text{m/s}$ )

Böenlastvielfache in Abhängigkeit der Streckung



Bei Ultraleichtflugzeugen einfacher Bauweise mit einer maximalen Leermasse von 120 kg ist es als sehr wahrscheinlich anzunehmen, dass die Flächen keine große Streckung aufweisen. Einfache Ultraleichtflugzeuge älteren Baudatums legen die Vermutung nahe, dass die Streckung den Wert 7 nicht überschreitet. Werte von 5 bis 6 erscheinen am wahrscheinlichsten.

## **Böenlastvielfache an einfachen Ultraleichtflugzeugen**

---

Hiermit zeigt sich, dass für einfache Ultraleichtflugzeuge die Böenlastvielfache mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit die Abfanglastvielfache von  $+4/-2$  nicht überschreiten. Eine gesonderte Berücksichtigung der Böenlastvielfache in den Festigkeitsbetrachtungen wird daher als nicht notwendig erachtet.

Waldfeucht, 19.09.2011

Dipl.-Ing. Michael Donaubauer