



Schwerpunkt - verstehen & optimieren



Enrique Levin

Februar 2025

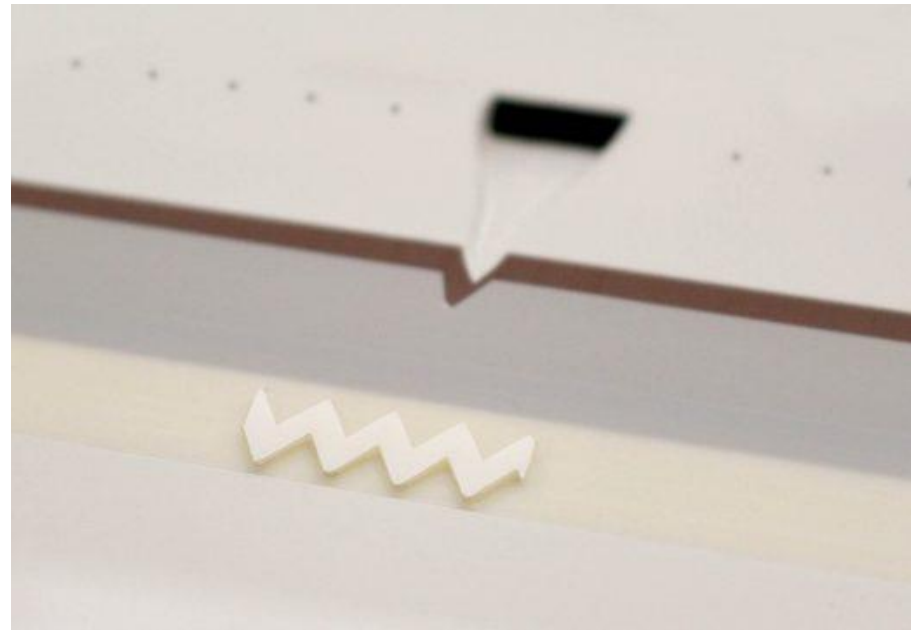
Entwicklung Neuf Flugzeuge

- **80er**

- Turbulatoren
- Mylar Abdichtung
- Abgedichtete Wurzelrippe
- Hecktanks

- **90er**

- Mückenputzer
- Winglets



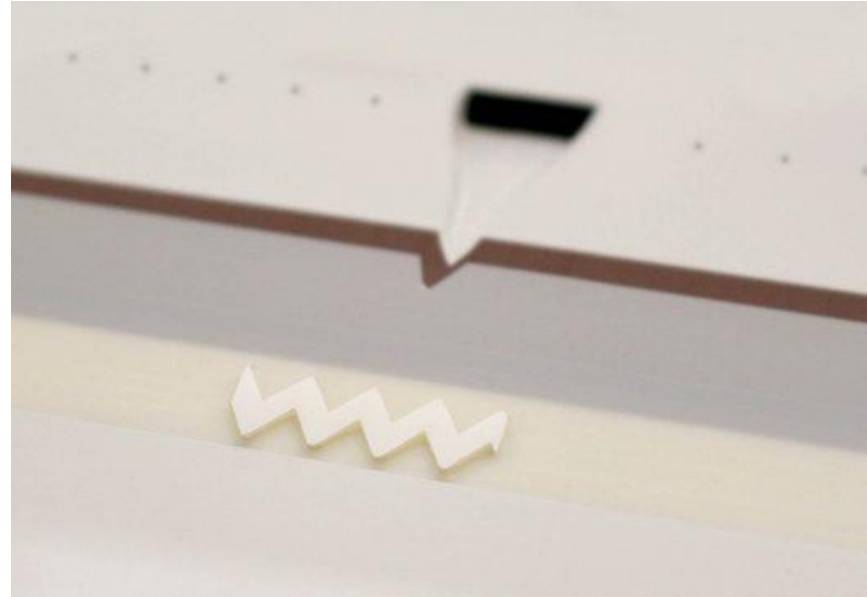
Entwicklung Neuflyzeuge

- **00er**
 - Haubendichtung
 - Verbesserte Lüftung
 - Definierte Cockpitentlüftung
- **10er**
 - Mückenputzergaragen
 - Einziehbares Spornrad

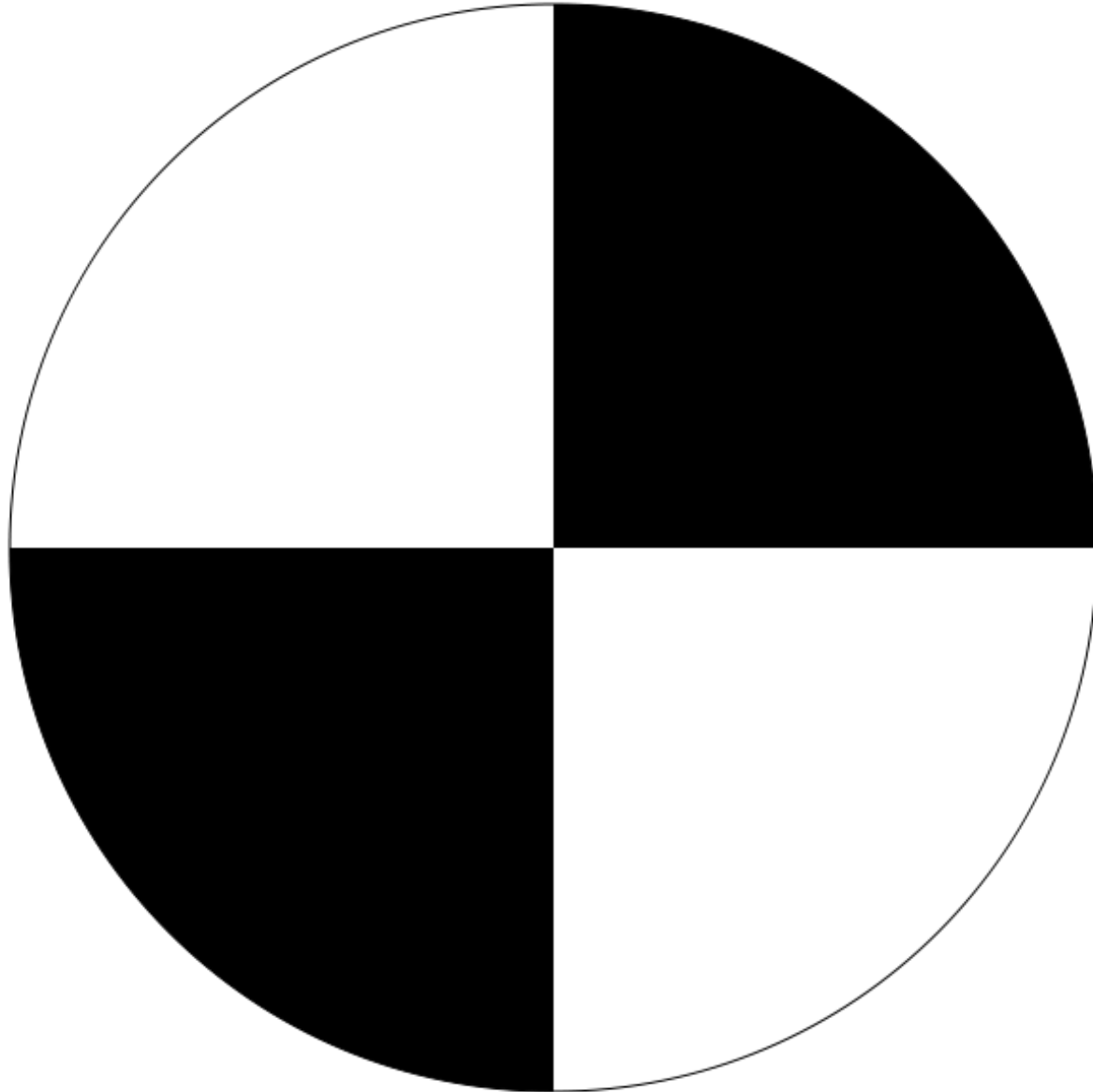


Philosophie

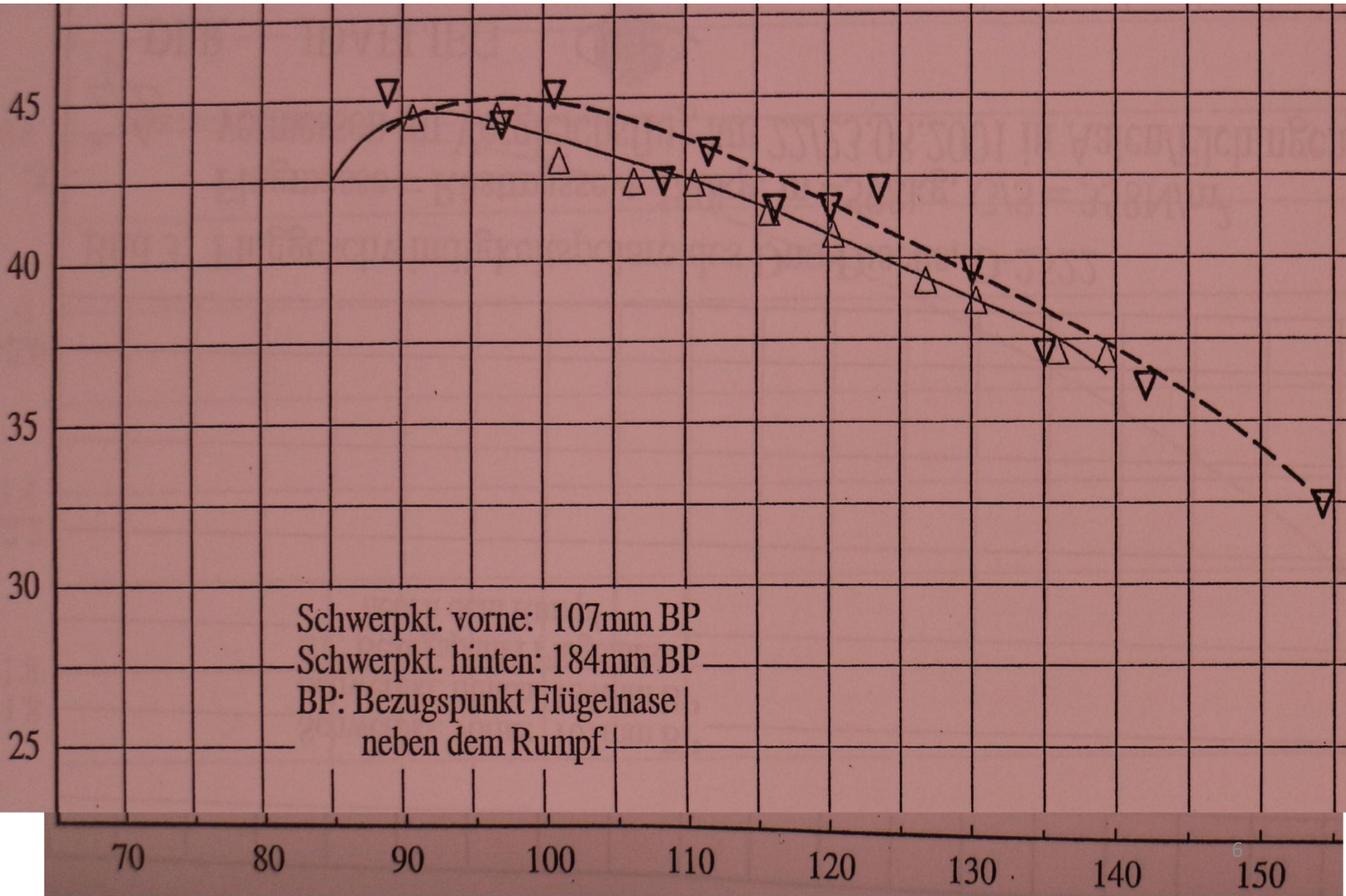
- Je neuer das Flugzeug desto weniger Potential
- Allerdings desto wichtiger den ursprünglichen Zustand zu erhalten / erreichen
- Instrumente
- Betriebssicherheit großer Leistungsgewinn



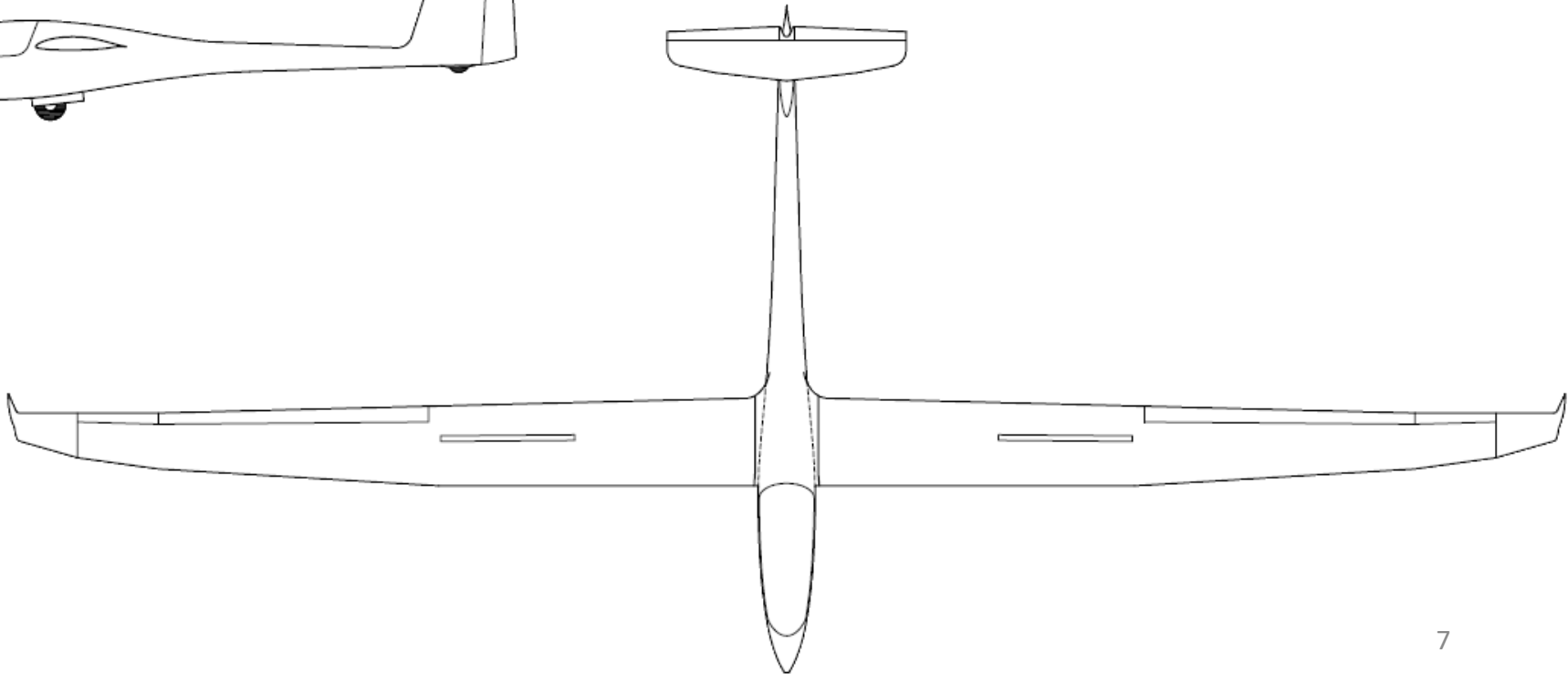
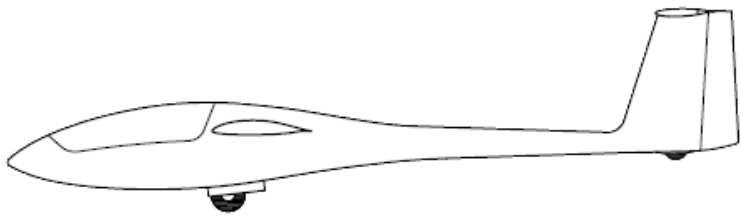
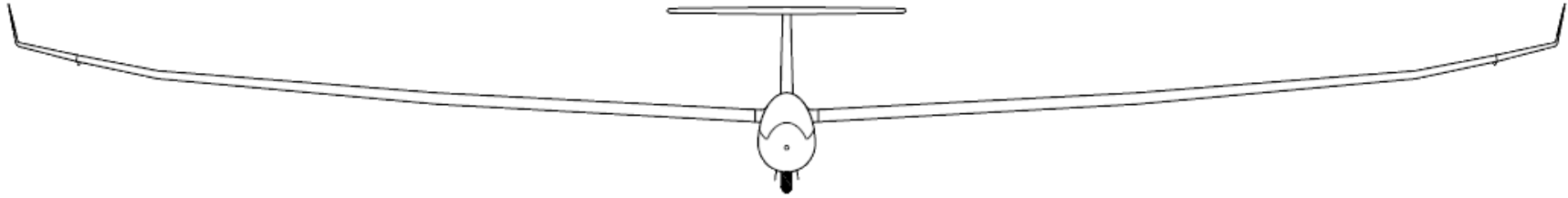
Schwerpunkt



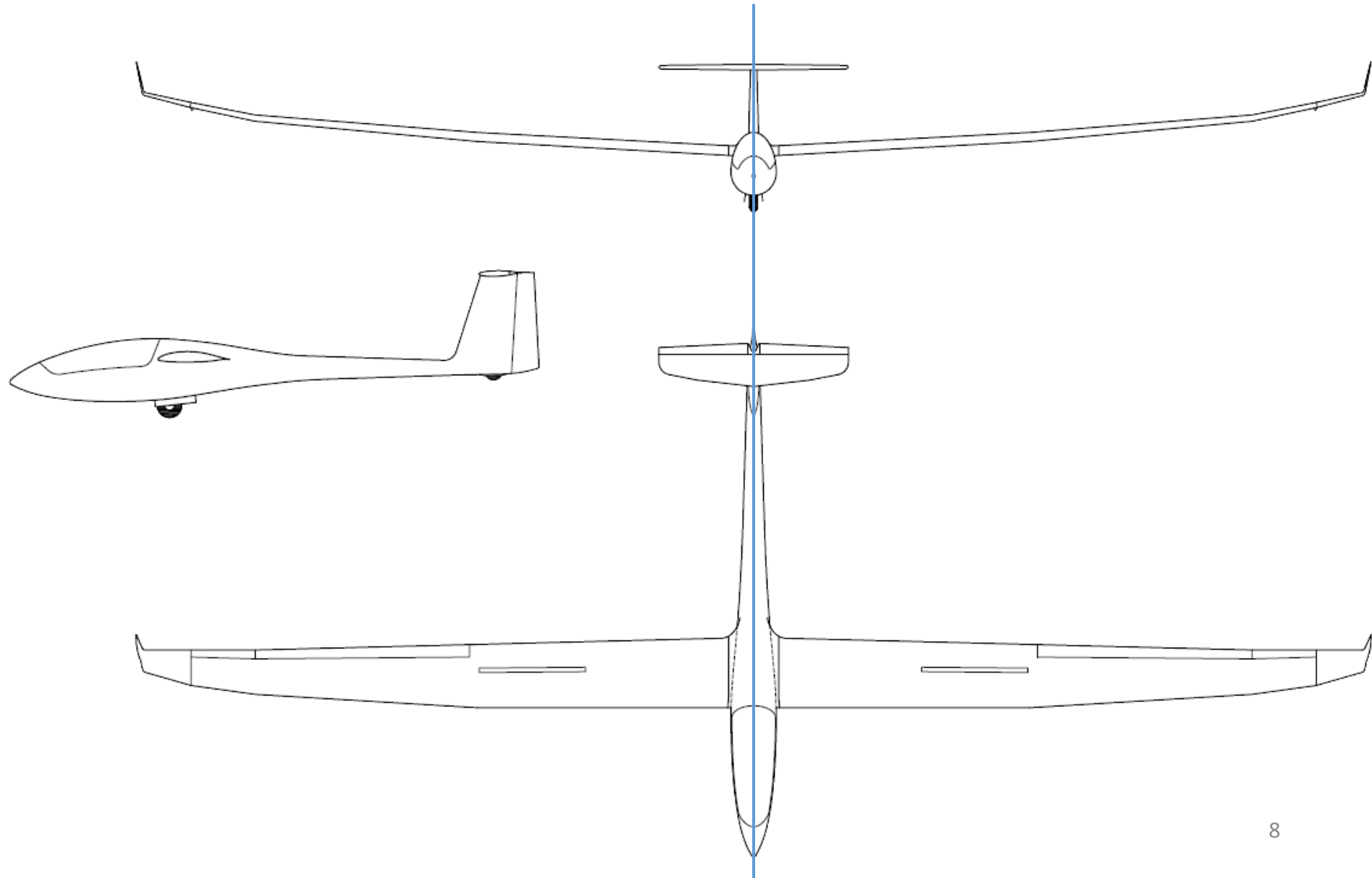
Relevanz?



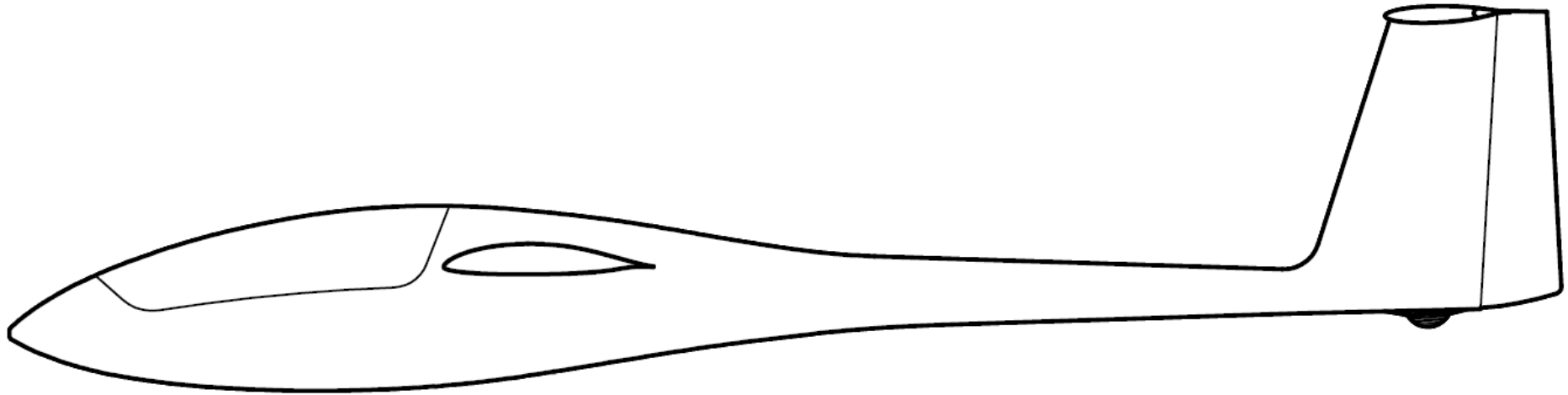
Definition Schwerpunkt



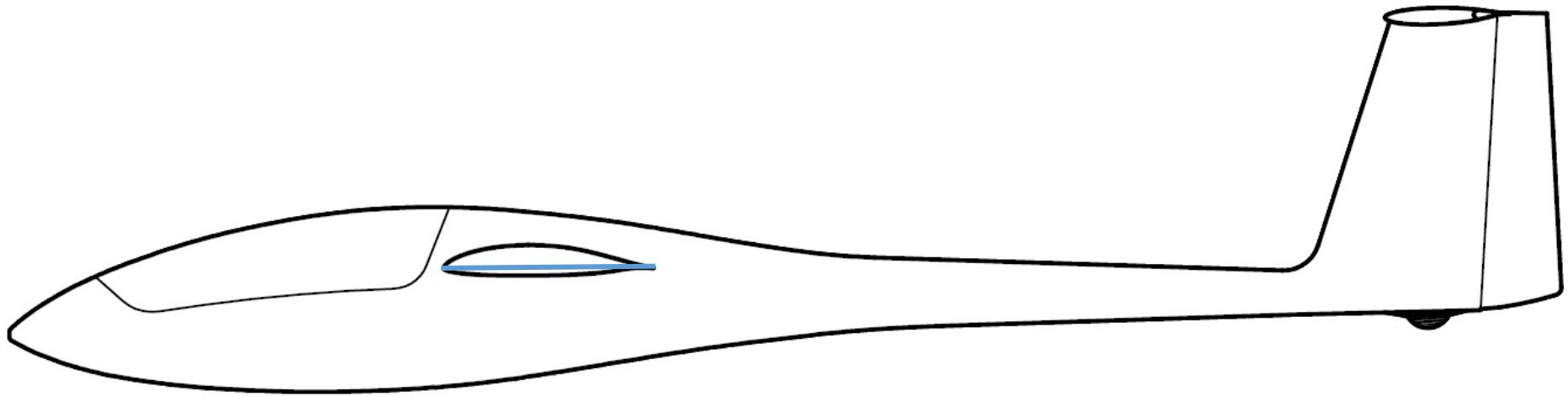
Definition Schwerpunkt



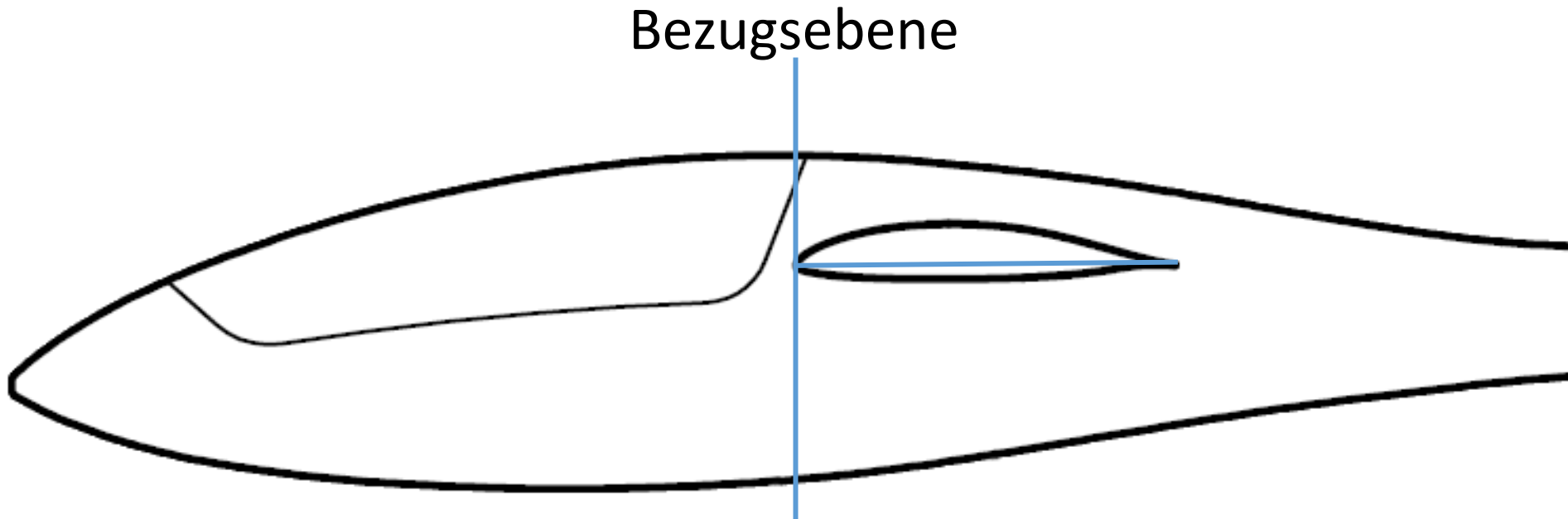
Definition



Definition

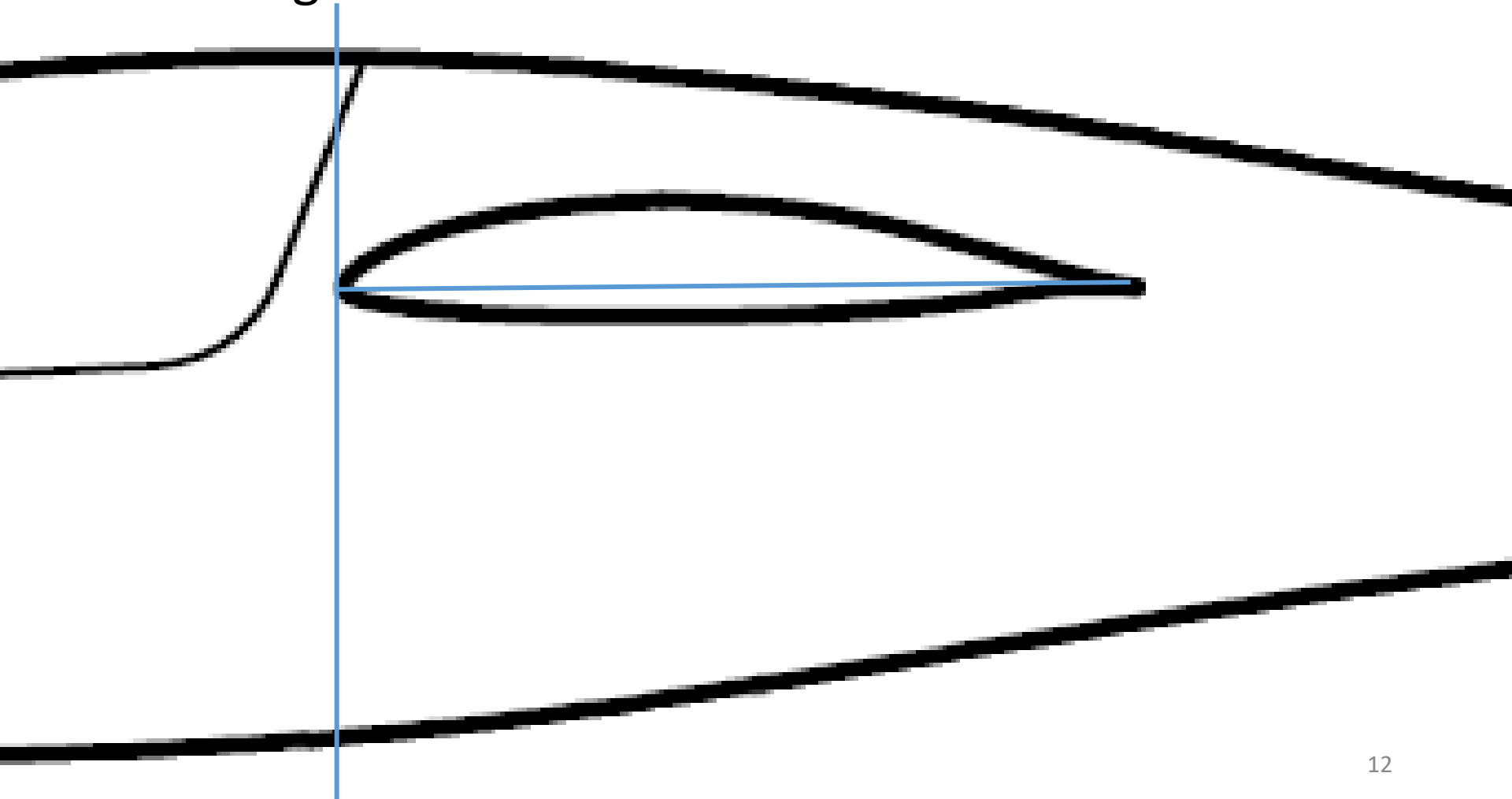


Definition



Definition

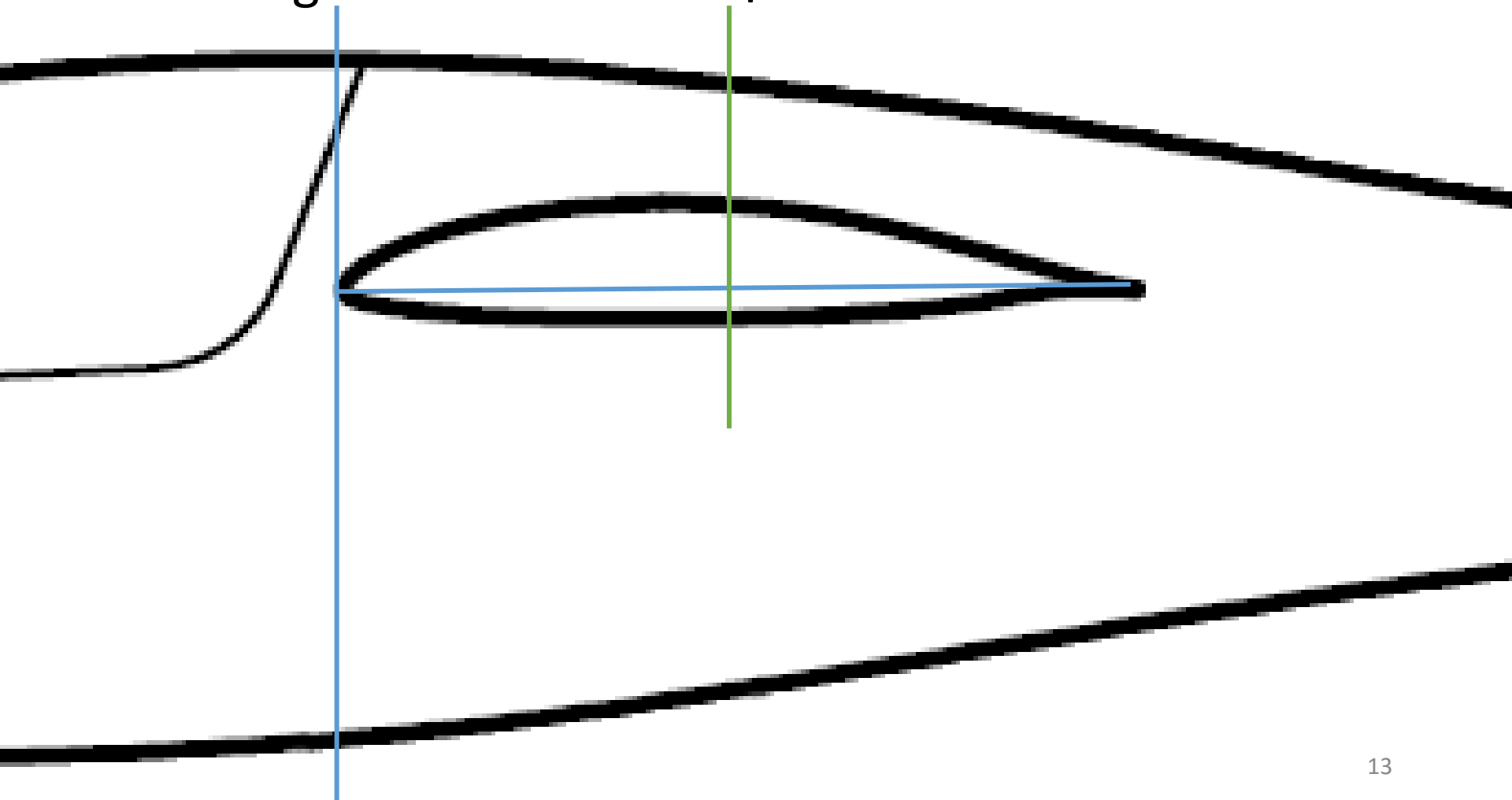
Bezugsebene



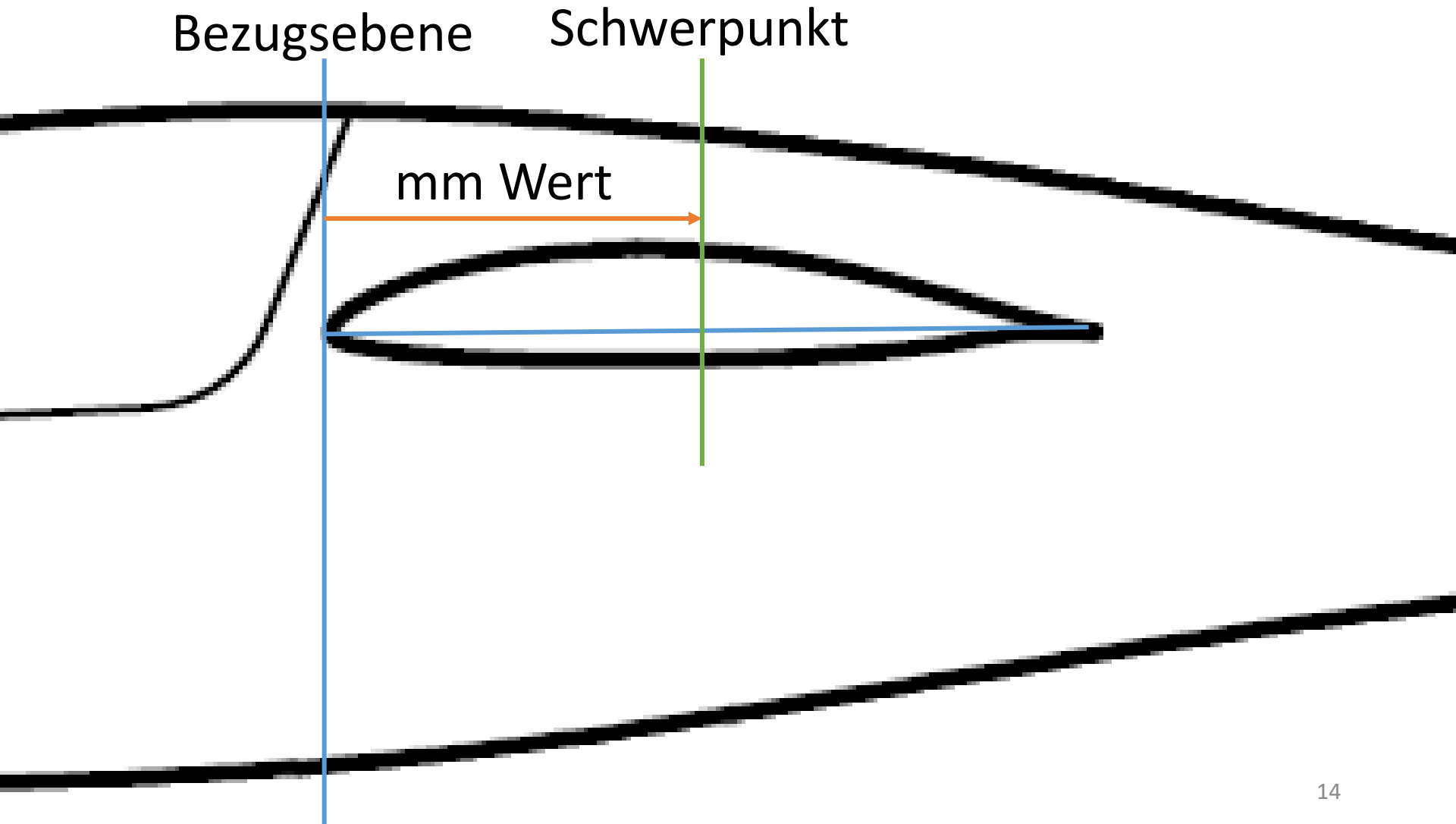
Definition

Bezugsebene

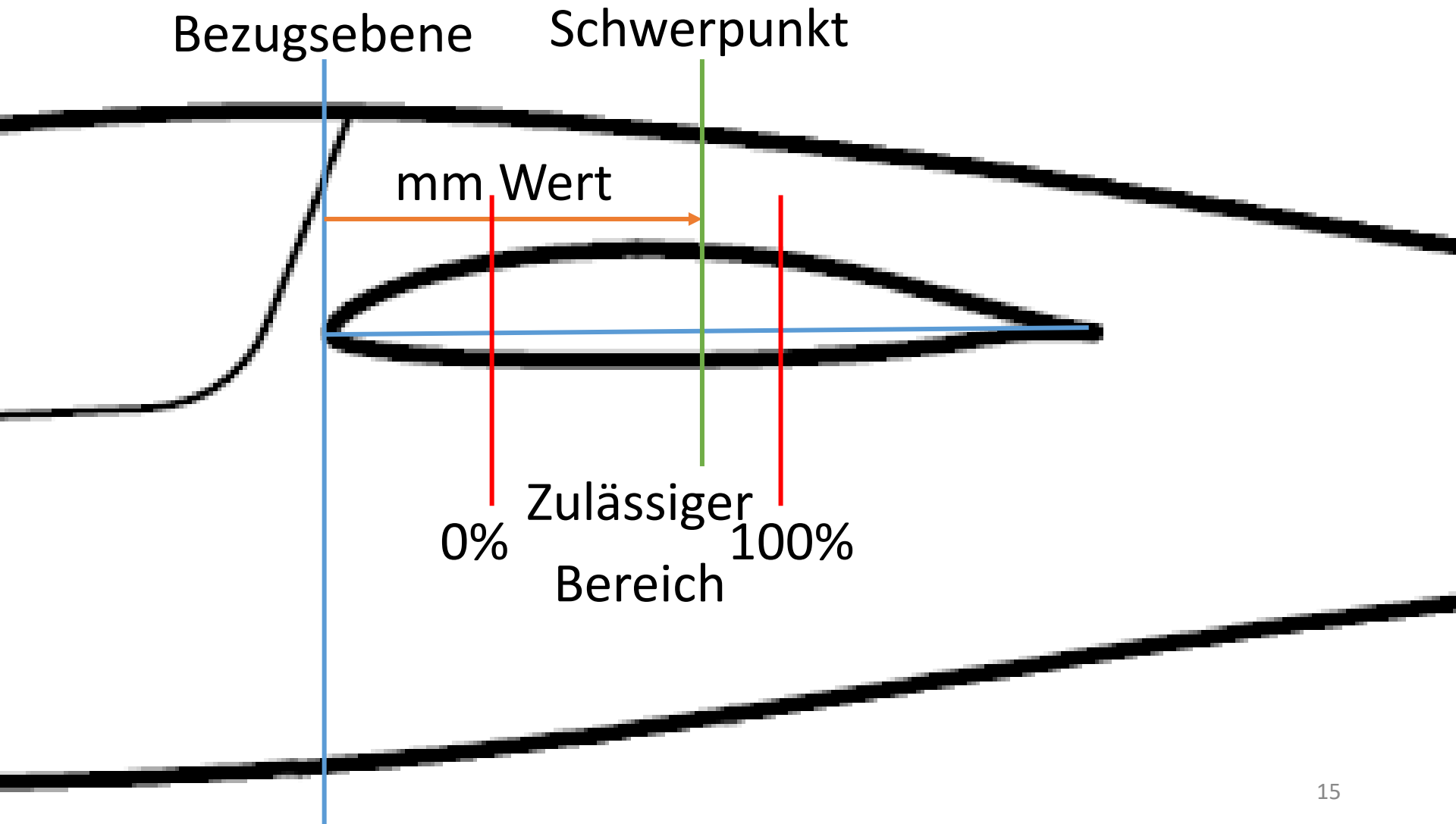
Schwerpunkt



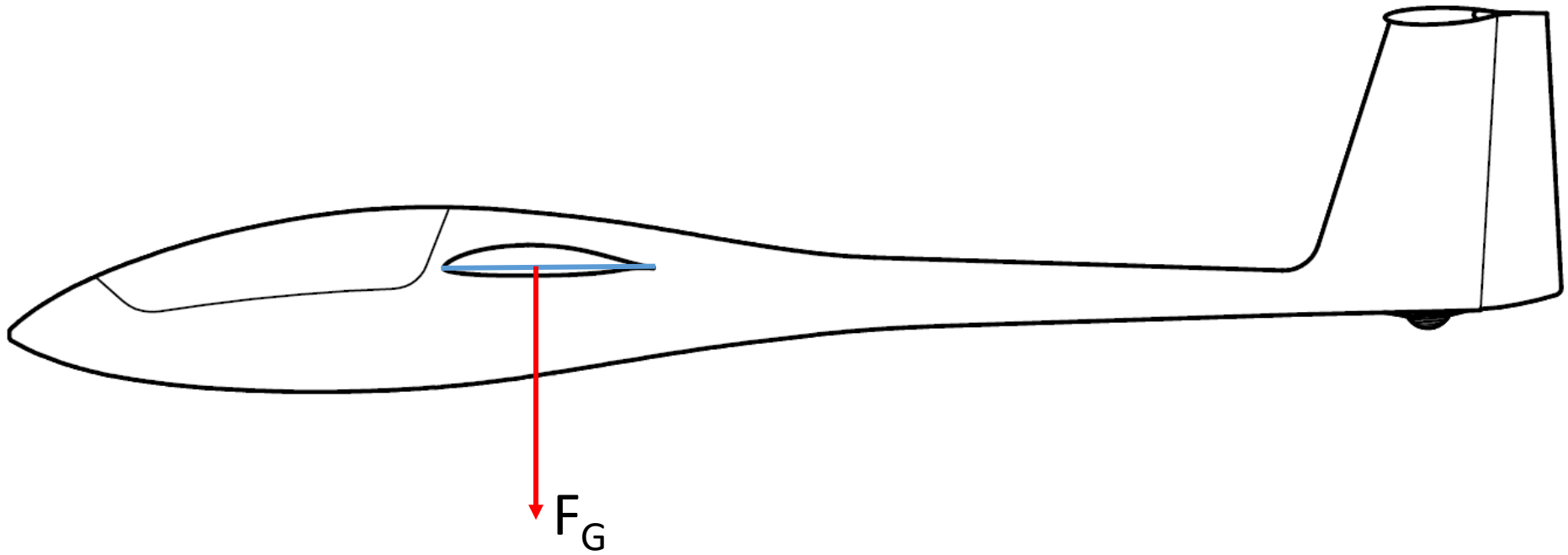
Definition



Definition

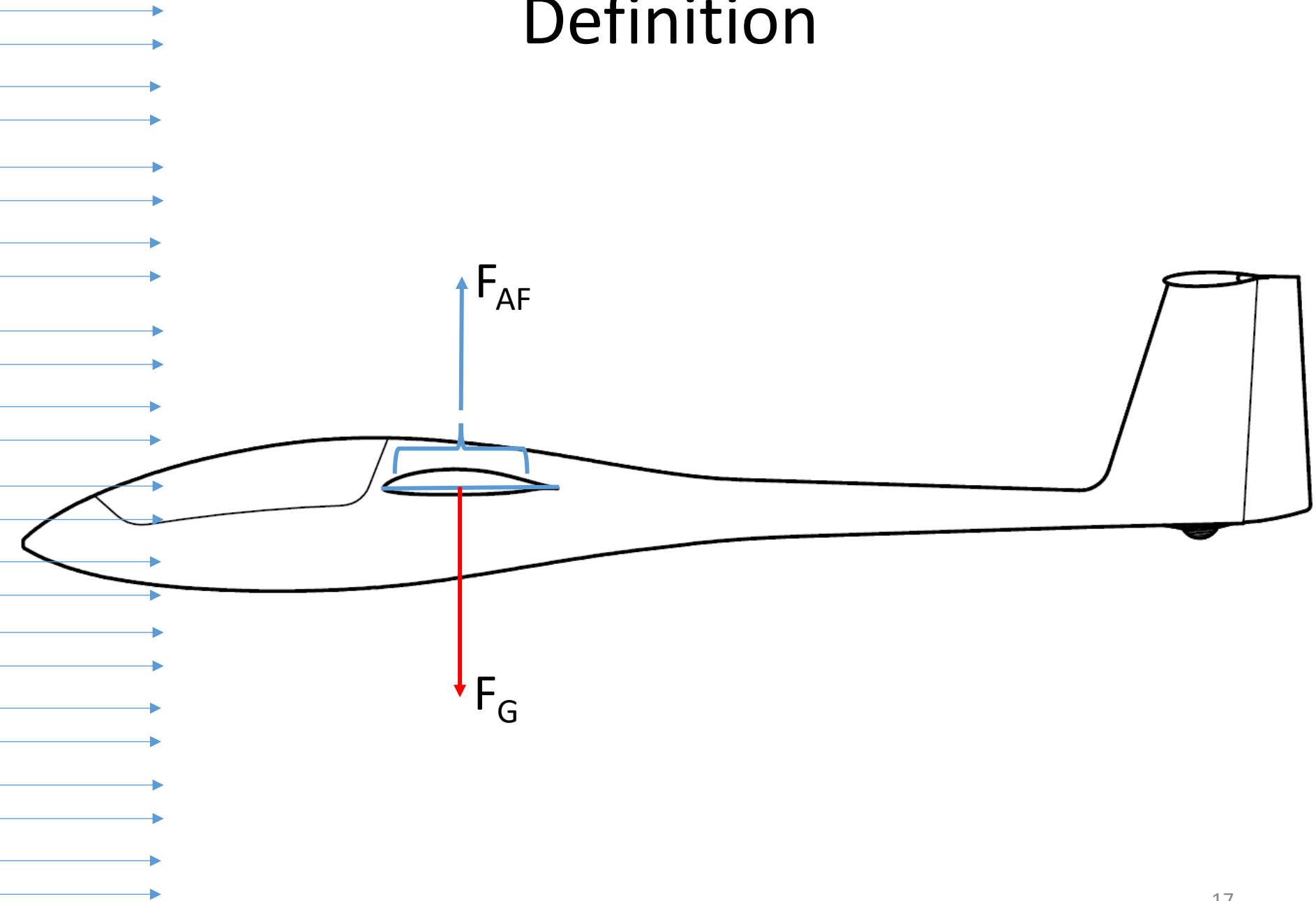


Definition



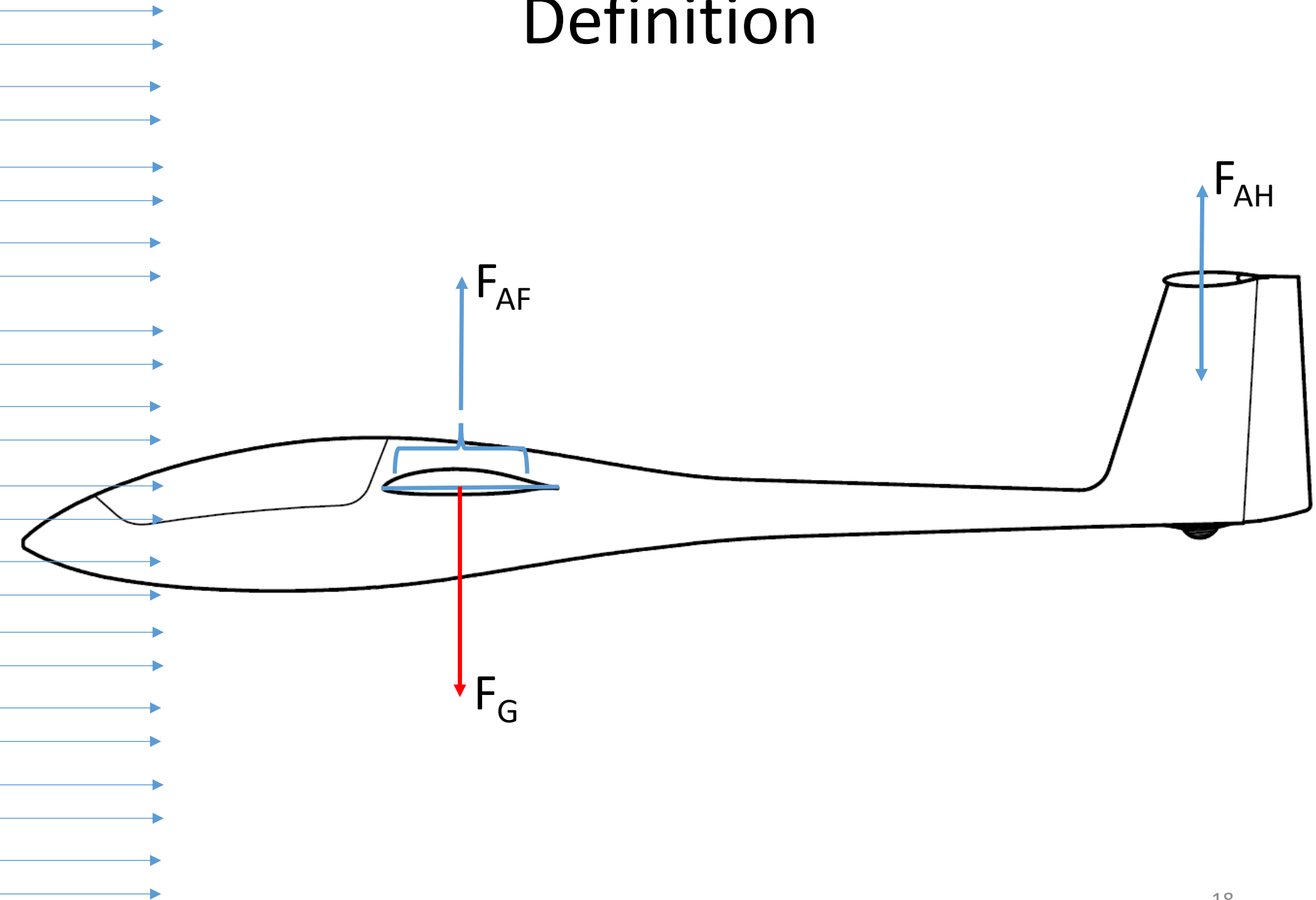
Strömung

Definition



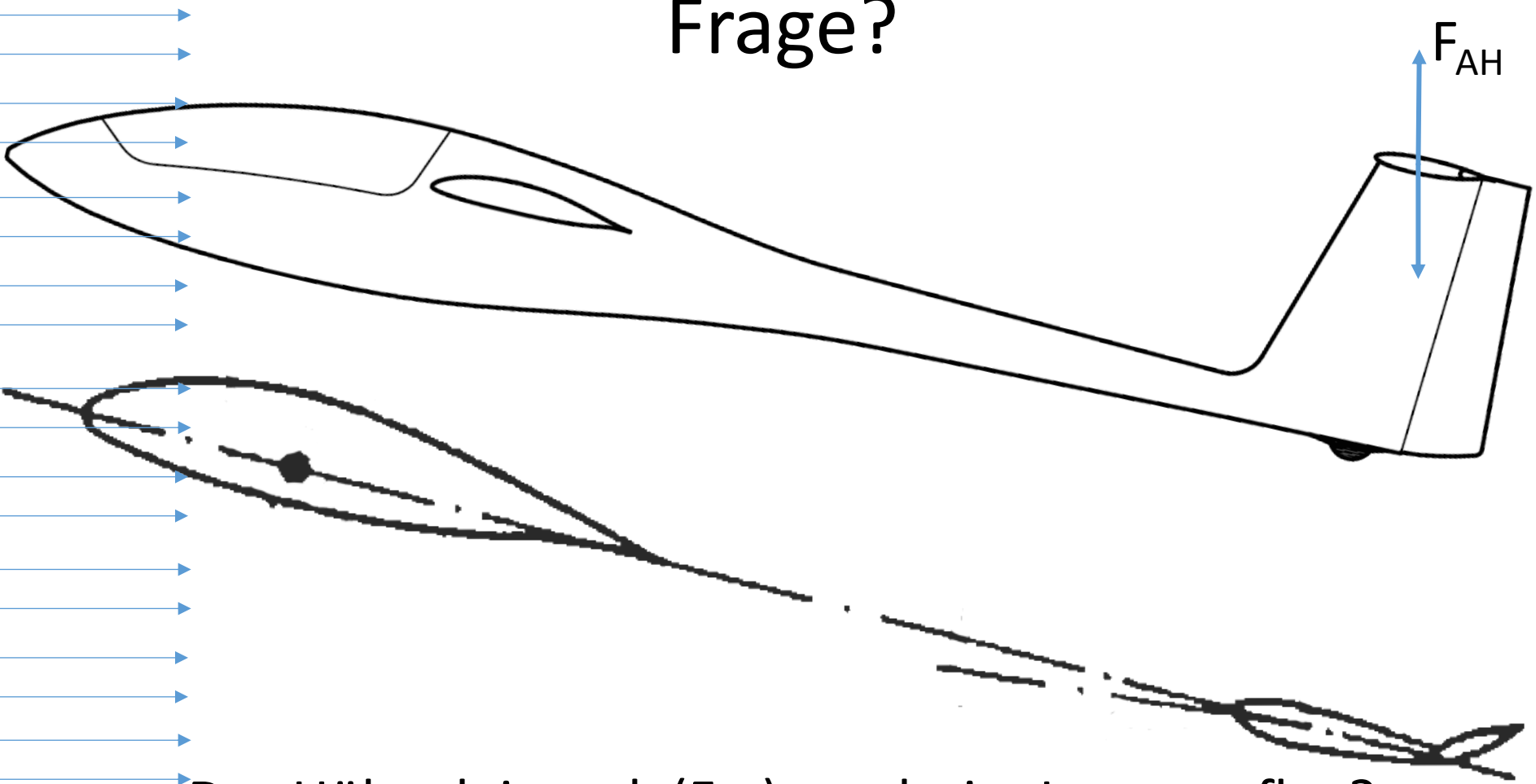
Strömung

Definition



Strömung

Frage?



Das Höhenleitwerk (F_{AH}) macht im Langsamflug?

A: Auftrieb

B: Abtrieb

C: ca. 0 Auftrieb / Abtrieb

Strömung

Frage?



F_{AH}



Das Höhenleitwerk (F_{AH}) macht im Langsamflug?

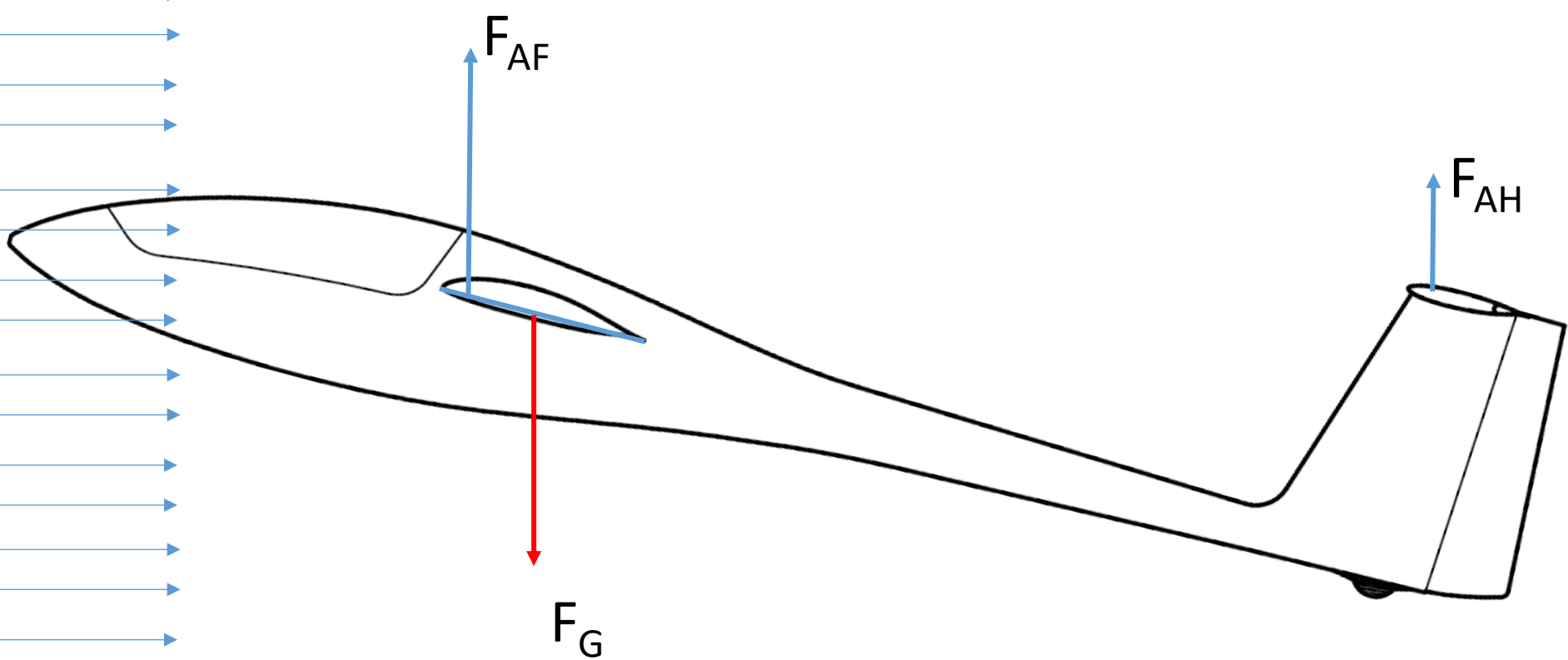
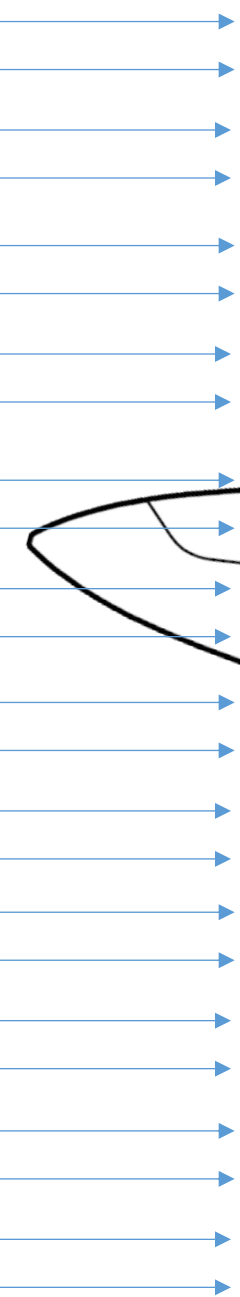
A: Auftrieb

B: Abtrieb

C: ca. 0 Auftrieb / Abtrieb

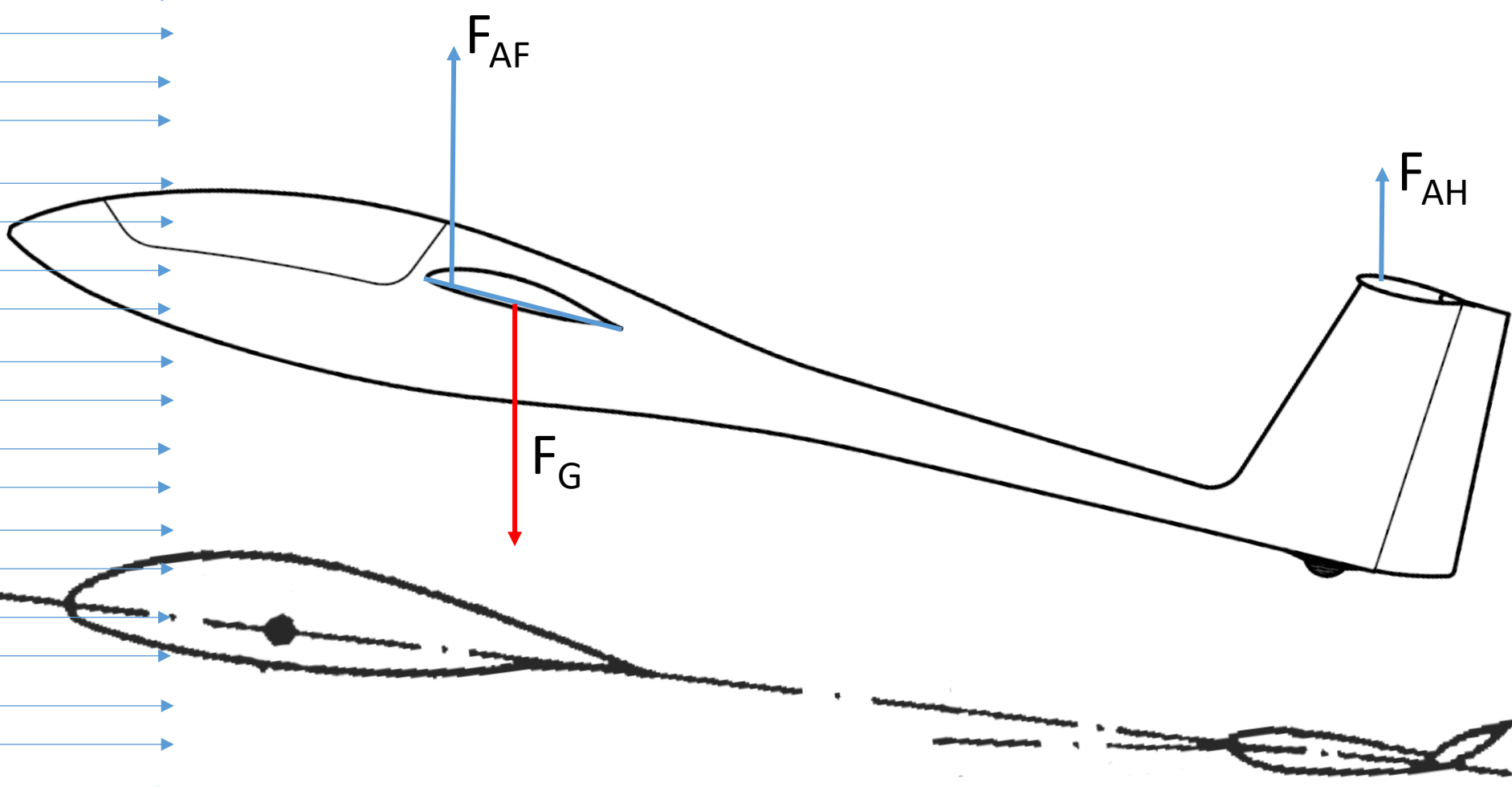
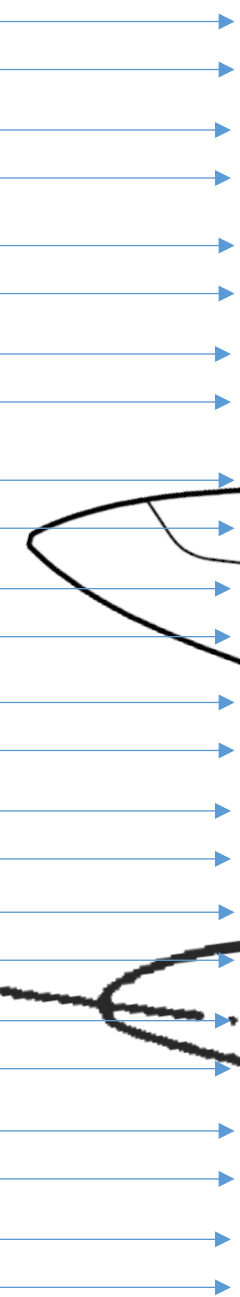
Strömung

Langsamflug



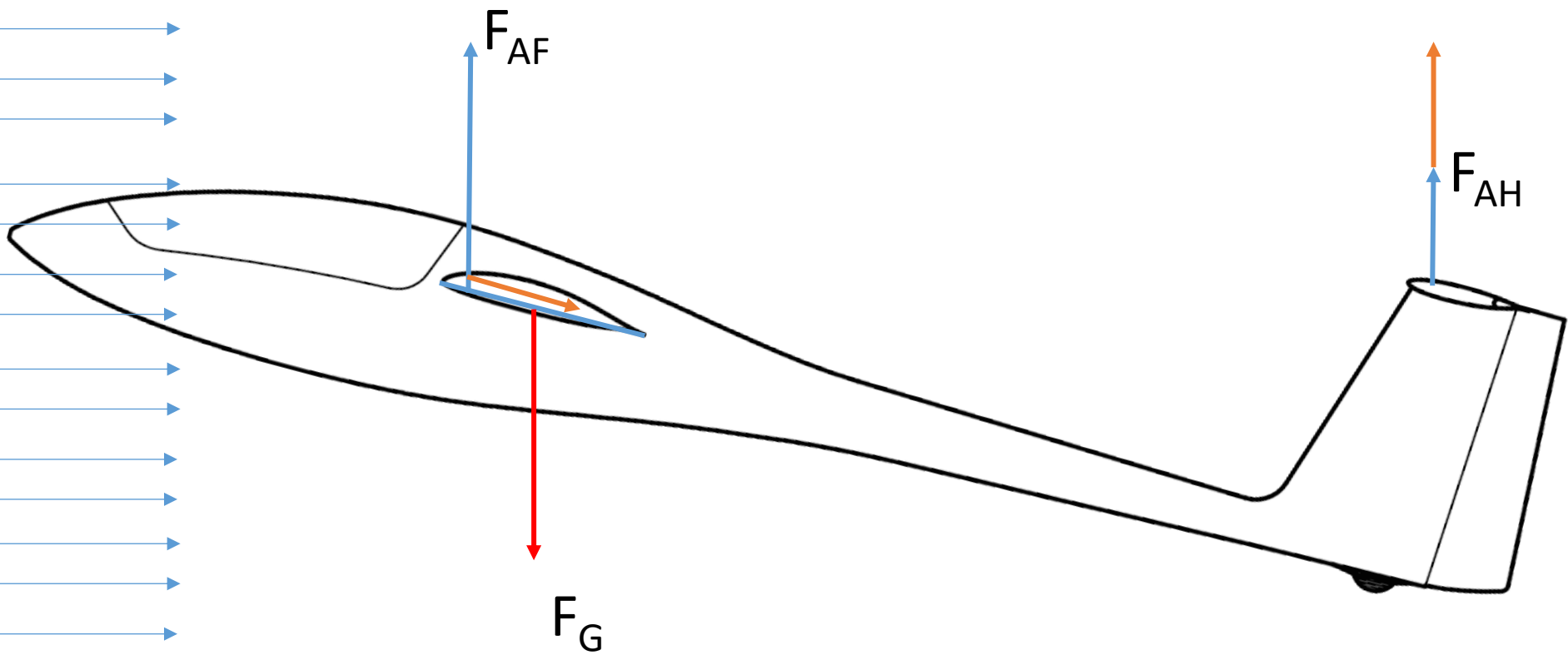
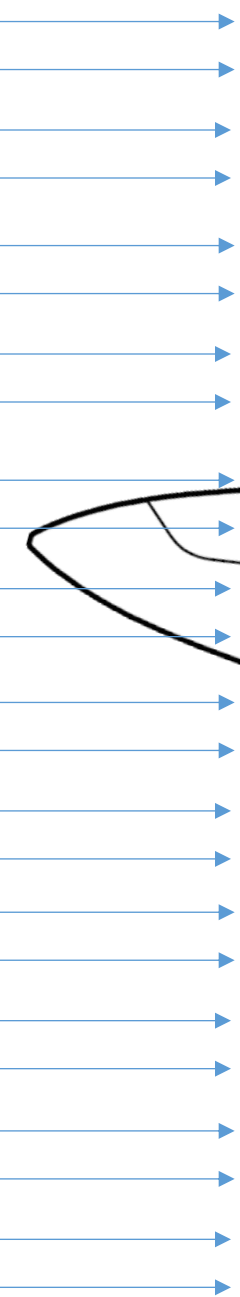
Strömung

Langsamflug



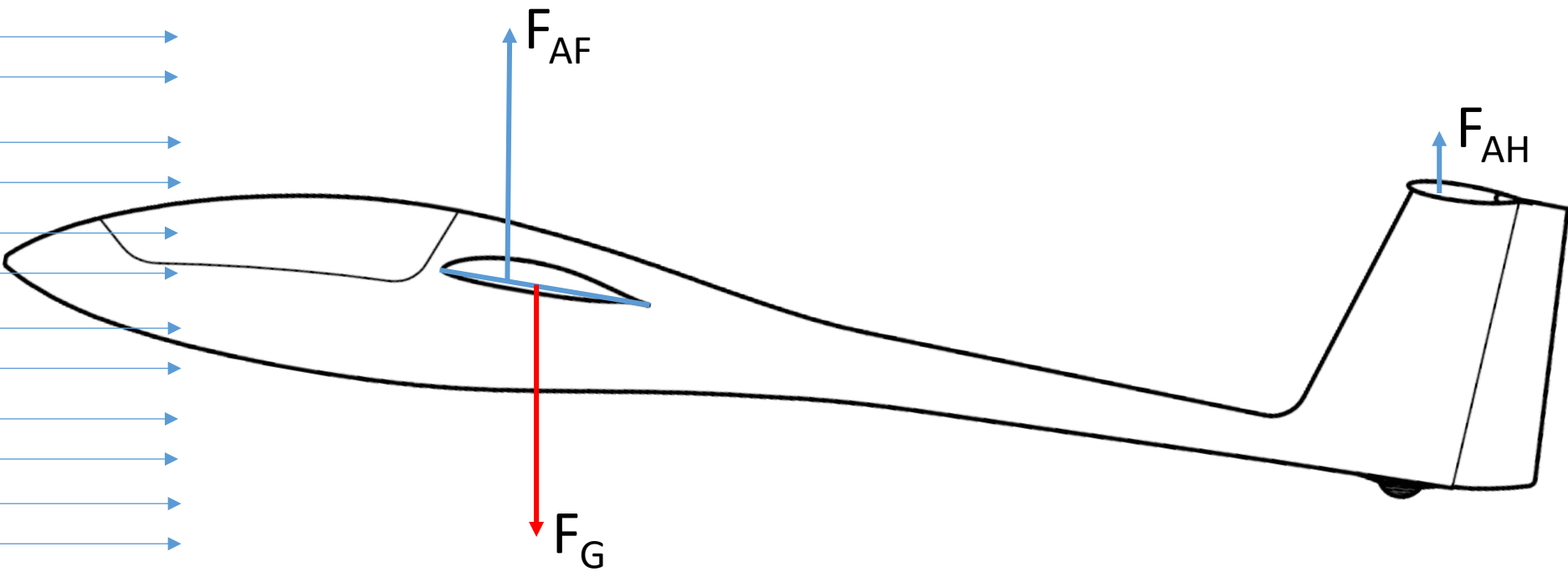
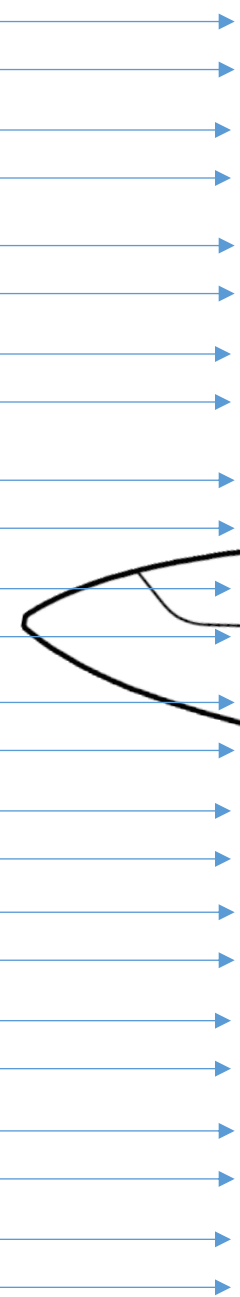
Strömung

Nachdrücken



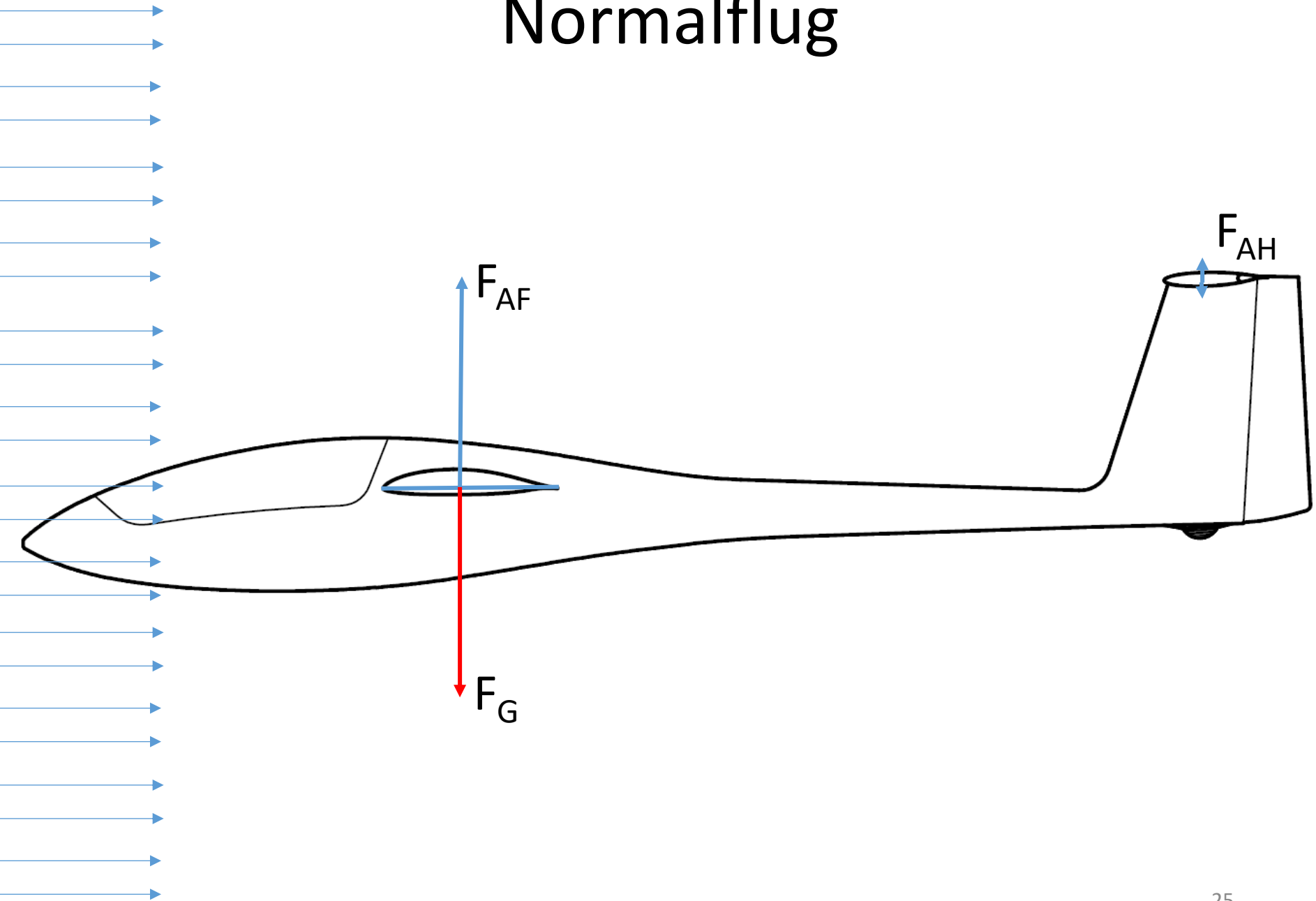
Strömung

Neues Gleichgewicht



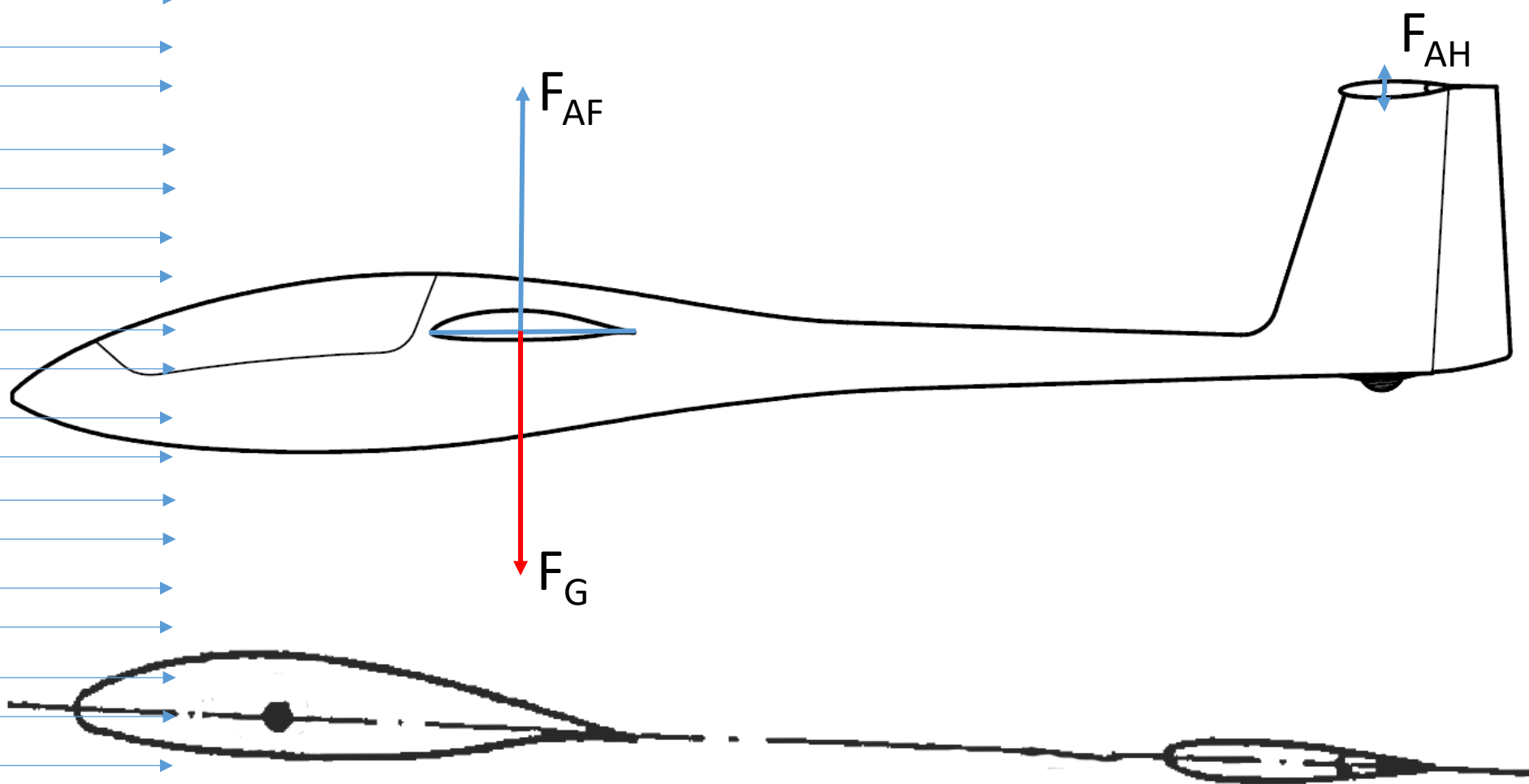
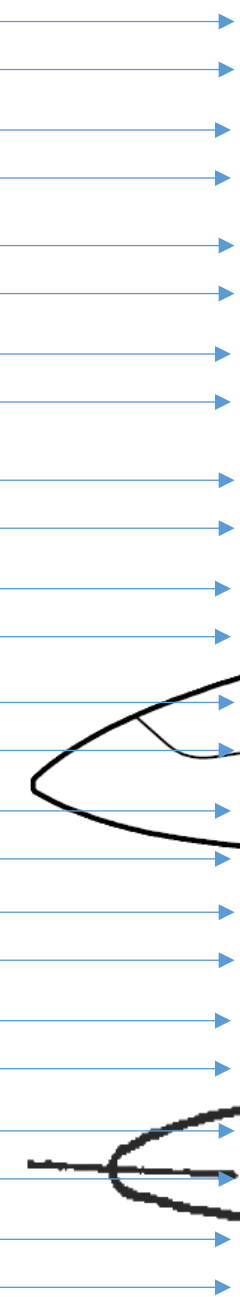
Strömung

Normalflug



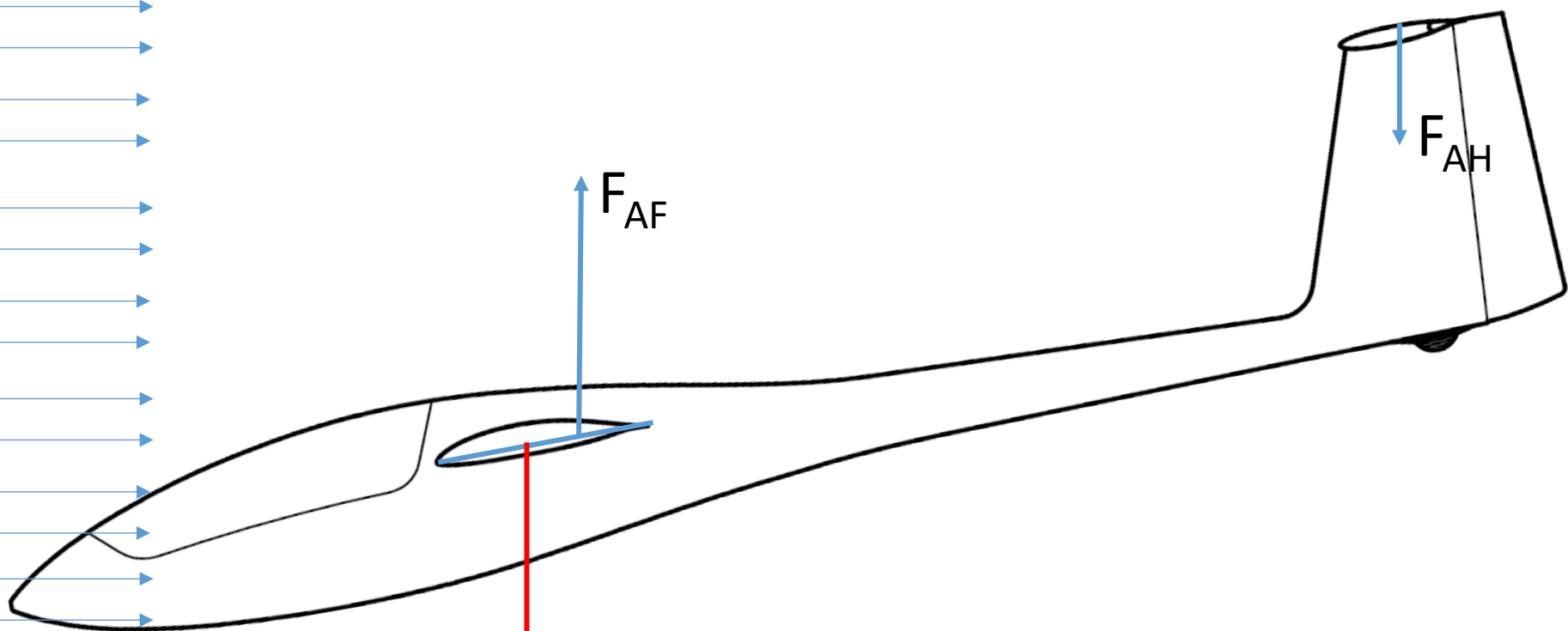
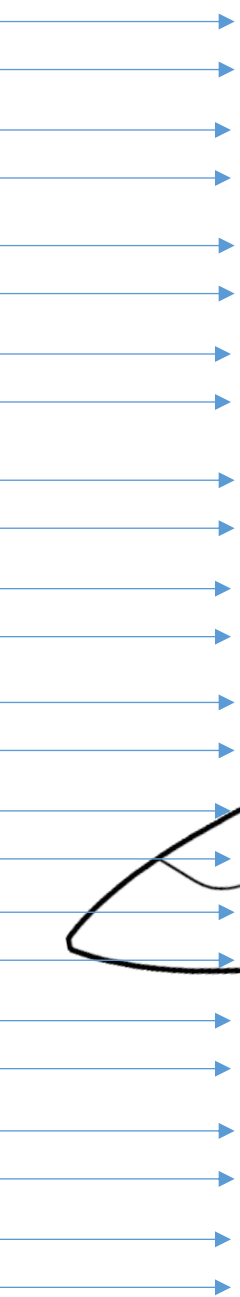
Strömung

Normalflug



Strömung

Schnellflug



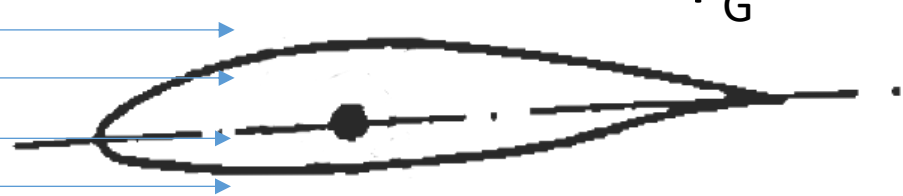
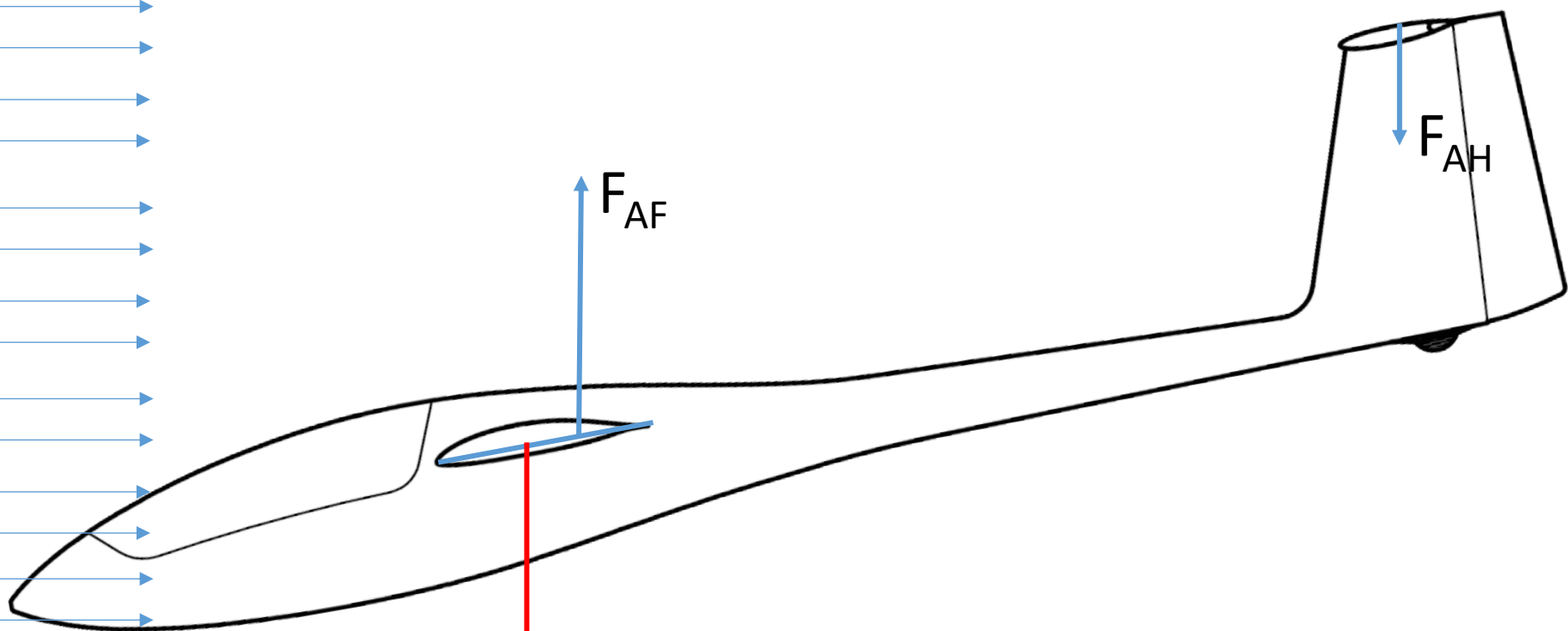
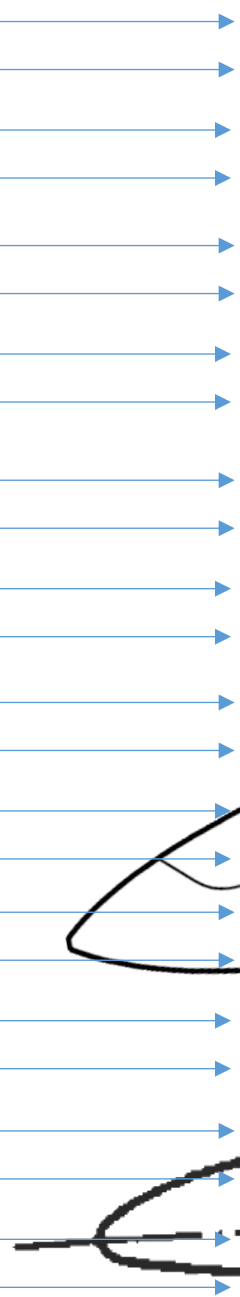
F_{AF}

F_G

F_{AH}

Strömung

Schnellflug



Widerstände

- **Induzierter Widerstand Höhenleitwerk**

- Unabhängig von der Richtung des Höhenleitwerksauftriebs
- Abhängig vom **Betrag** des Höhenleitwerksauftriebs

-> Betrag des Höhenleitwerksauftriebs so gering wie möglich halten

- **Profilwiderstand Höhenleitwerk**

- Inhärent ineffizient
 - Schnellflug mit Langsamflugprofil
 - Langsamflug mit Schnellflugprofil
- Profil innerhalb der Laminardelle betreiben

-> Ausschlag des Höhenruders so gering wie möglich halten

Widerstände

- **Induzierter Widerstand Höhenleitwerk**

- Unabhängig von der Richtung des Höhenleitwerksauftriebs
- Abhängig vom **Betrag** des Höhenleitwerksauftriebs

-> Betrag des Höhenleitwerksauftriebs so gering wie möglich halten

- **Profilwiderstand Höhenleitwerk**

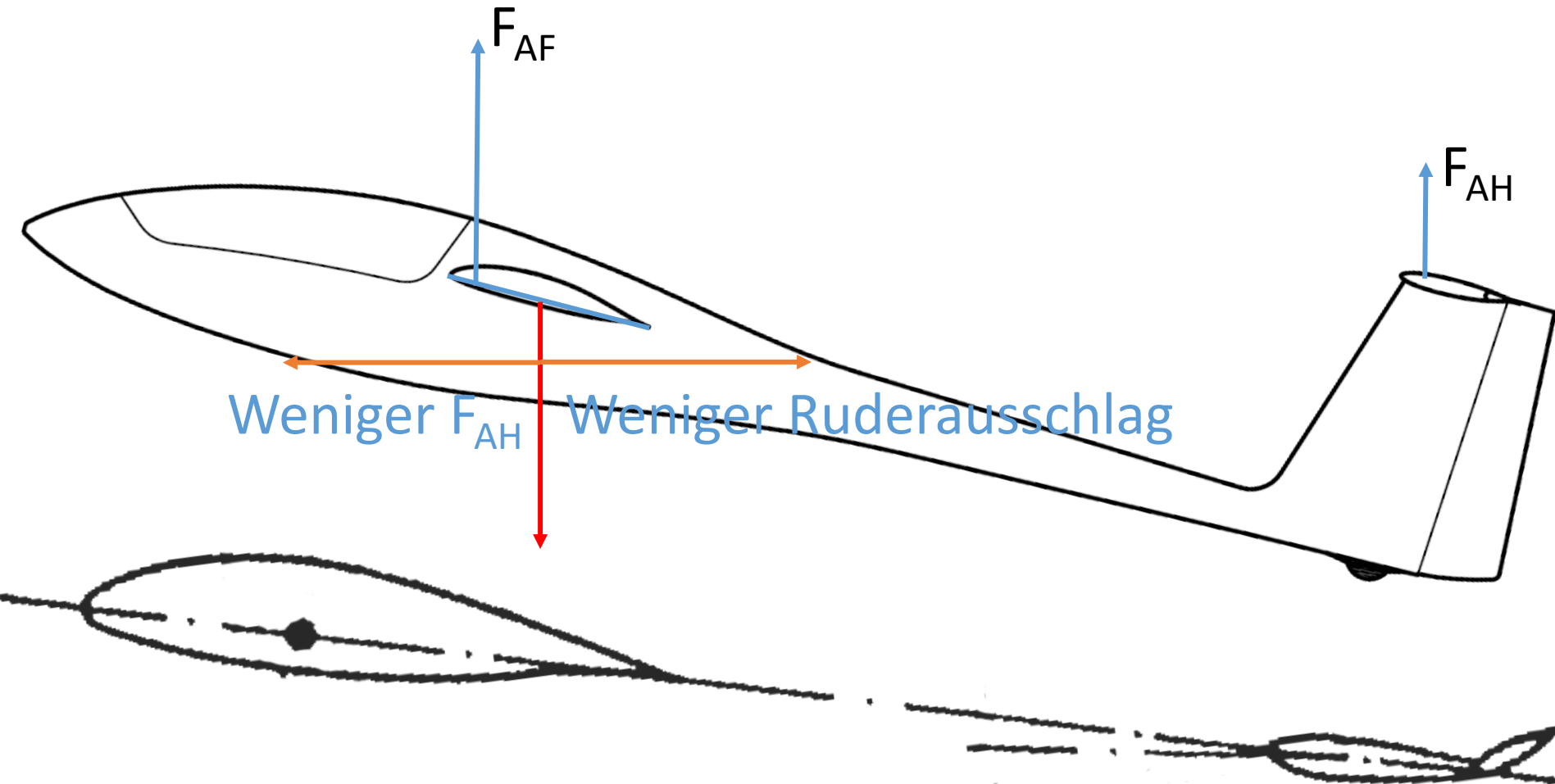
- Inhärent ineffizient
 - Schnellflug mit Langsamflugprofil
 - Langsamflug mit Schnellflugprofil
- Profil innerhalb der Laminardelle betreiben



-> Ausschlag des Höhenruders so gering wie möglich halten

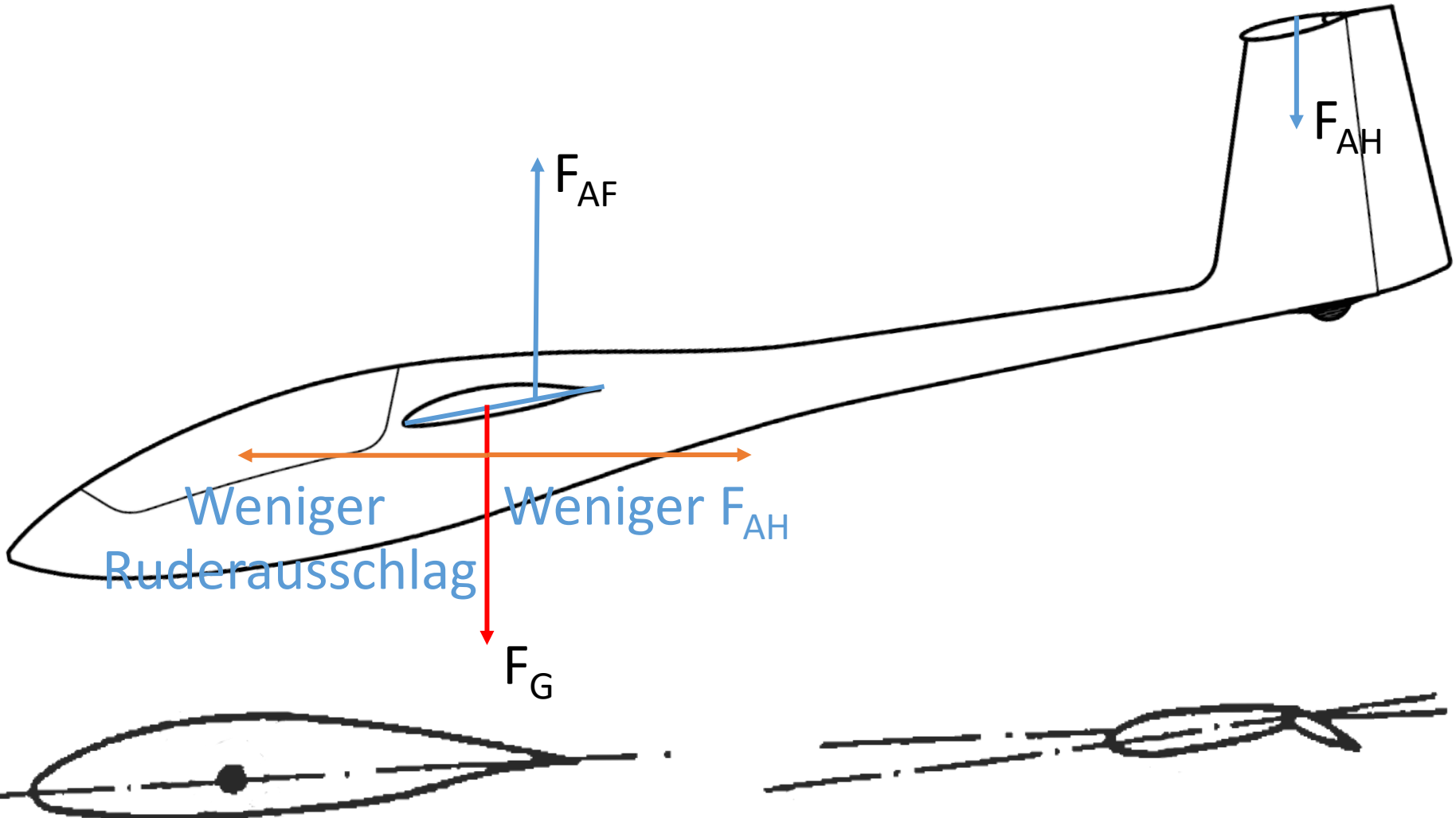
Problemstellung

- Grundsätzlich gegenläufiges Optimierungsproblem

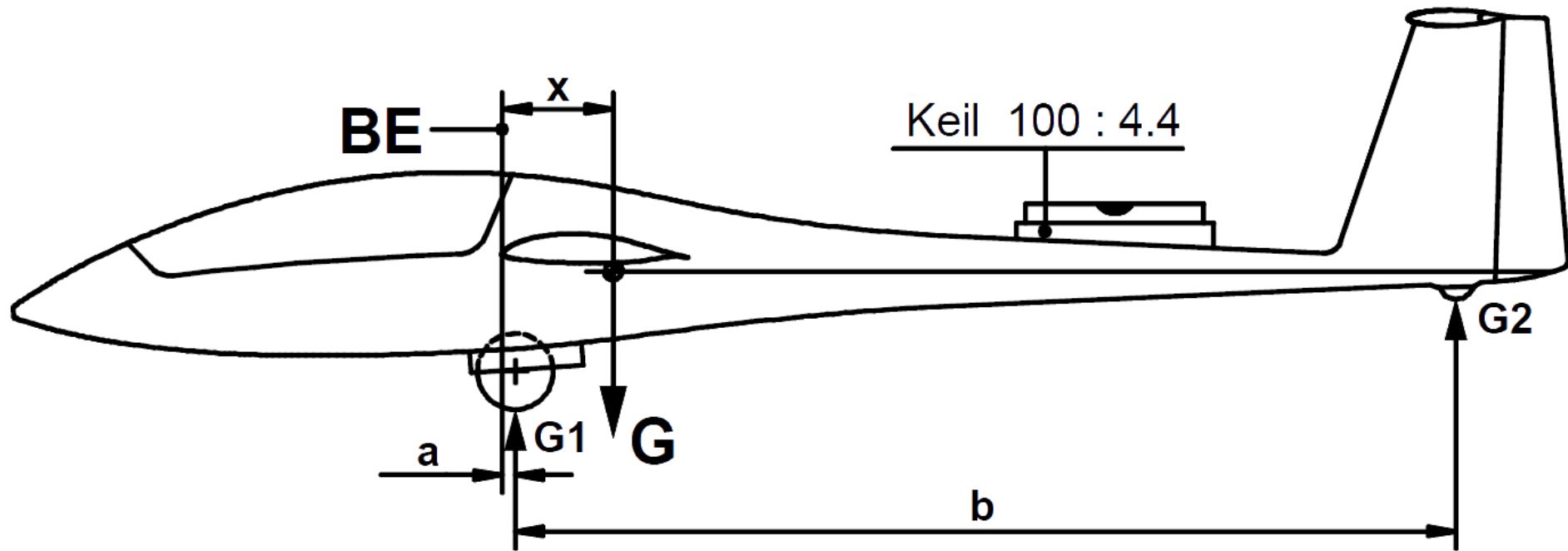


Problemstellung

- Im Schnellflug Profilwiderstand eher dominant



Wägung



$$x = \frac{G_2 \cdot x \cdot b}{G} + a$$

Stöckchenmethode



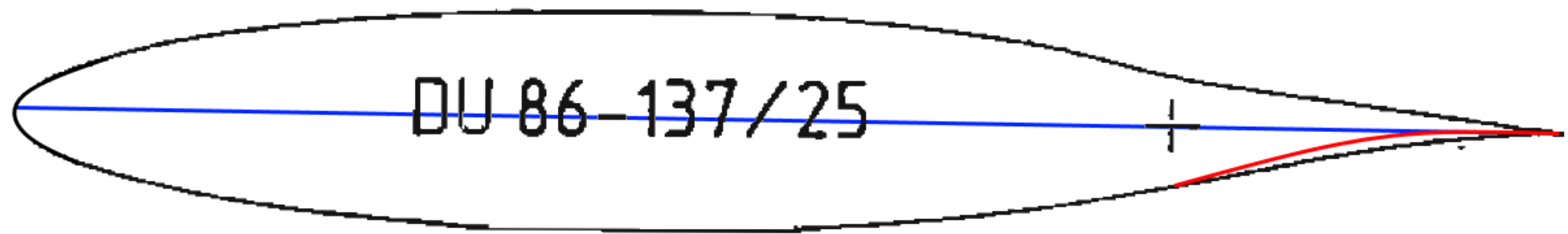
Stöckchenmethode

- Abstandshalter I-Brett – Knüppel erstellen
- Höhenruder in Nullstellung
 - Bei Höhenrudern mit festen Randbögen entsprechend diesen Anformungen



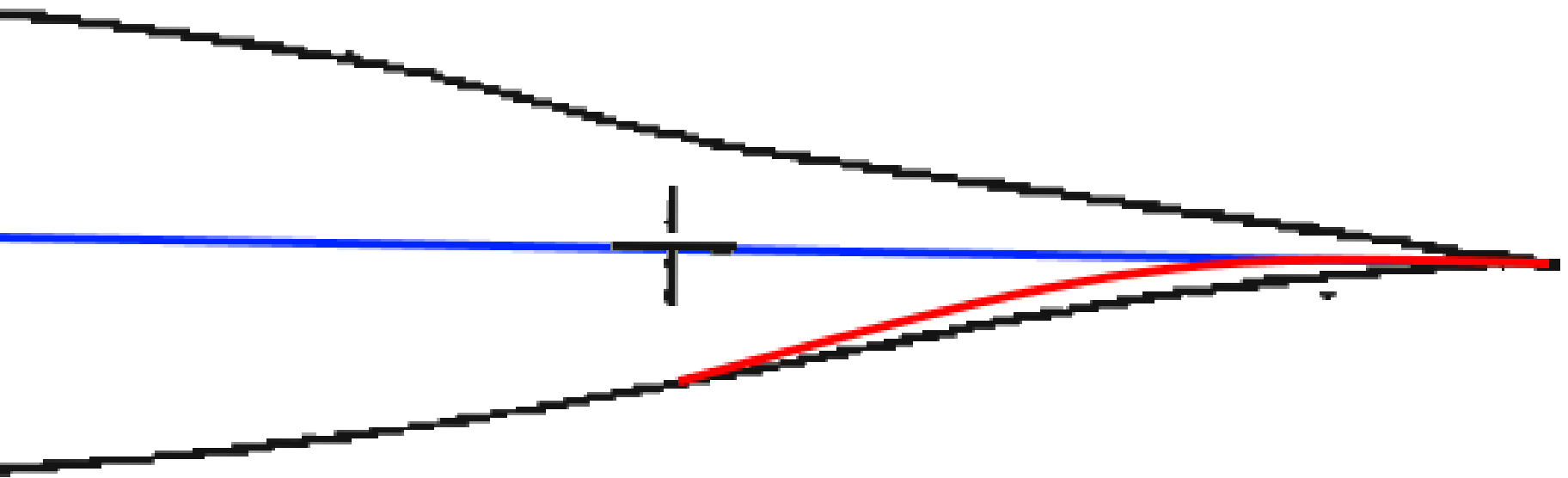
Stöckchenmethode

- Abstandshalter I-Brett – Knüppel erstellen
- Höhenruder in Nullstellung
 - Bei Höhenrudern mit festen Randbögen entsprechend diesen Anformungen
 - Ohne Anformungen, entsprechend Profilstrack



Stöckchenmethode

- Abstandshalter I-Brett – Knüppel erstellen
- Höhenruder in Nullstellung
 - Bei Höhenrudern mit festen Randbögen entsprechend diesen Anformungen
 - Ohne Anformungen, entsprechend Profilstrack



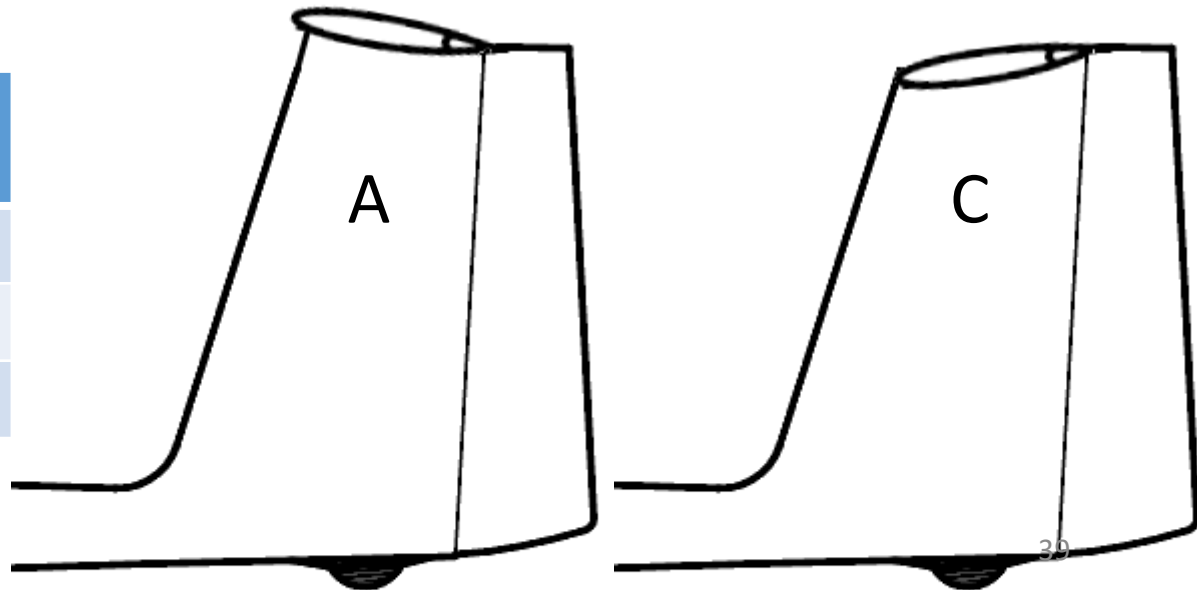
Stöckchenmethode

- Flugversuch durchführen
- Sich ergebende Geschwindigkeit notieren
- Starrflügler
 - Geschwindigkeit leicht über dem besten Gleiten (entsprechend FB)
 - Auf jeden Fall im Bereich der normalen Fluggeschwindigkeiten
- Wölbklappe
 - Geschwindigkeit möglichst in der Mitte des Geschwindigkeitsbereichs der jeweiligen Wölbklappenstellung
 - Evtl. Kompromiss über verschiedene Wölbklappenstellungen nötig

Stöckchenmethode

- Trifft eine Aussage über den Profilwiderstand des Höhenruders
- Bei akzeptabler Bautoleranz (Einstellwinkel Höhenruder / Flügel) einfacher Weg den ausgelegten Schwerpunkt nachzuvollziehen
- Bautoleranzen leider oft inakzeptabel...

Flugzeug (Discus 2a)	Geschwindigkeit
A	112 km/h
B	128 km/h
C	142 km/h



Stöckchenmethode

- Achtung:
Stöckchen muss bei ähnlicher Temperatur erstellt werden bei der auch geflogen wird
 - Wärmeausdehnung Kohlefaserrumpf vs. Stahlstange

Optimierung Praxis

- Neuflugzeuge
 - Hersteller befragen und auf eine exakte Angabe in mm von Bezugsebene bestehen!!
- Richtwerte einholen
 - Idealfall Vermessungen
 - Konkret dokumentiere Erfahrungswerte
 - Achtung: Eine Spornlast ist nur für ein bestimmtes Gesamtgewicht aussagekräftig

Optimierung Praxis

Typ	Schwerpunkt hinter Bezugsebene	Quelle
ASW 27	293 mm	Idaflieg Vermessung 2018
ASG 29-18m	295 mm	Idaflieg Vermessung 2019
ASG 32	255 mm	Idaflieg Vermessung 2018
Discus 2a	355-360 mm	Erfahrung Levin
Discus 2b	360-365 mm	Erfahrung Levin / Leucker
Discus 2c-18m	350 mm	Idaflieg Vermessungen (DLR Discus)
Duo Discus	184 mm	Idaflieg Vermessung 2001
EB29 /EB29D / EB28 edition	355-360 mm	Binder (Hersteller)
EB29R / EB29DR	355 mm	Binder (Hersteller)
JS1C-21m	357 mm	Idaflieg Vermessung 2018
JS3-18m	372 mm	Idaflieg Vermessung 2020
LS8-15m	370 mm	Idaflieg Vermessung 2016
Ventus 3 Sport-18m	391 mm	Idaflieg Vermessung 2019

Optimierung Praxis

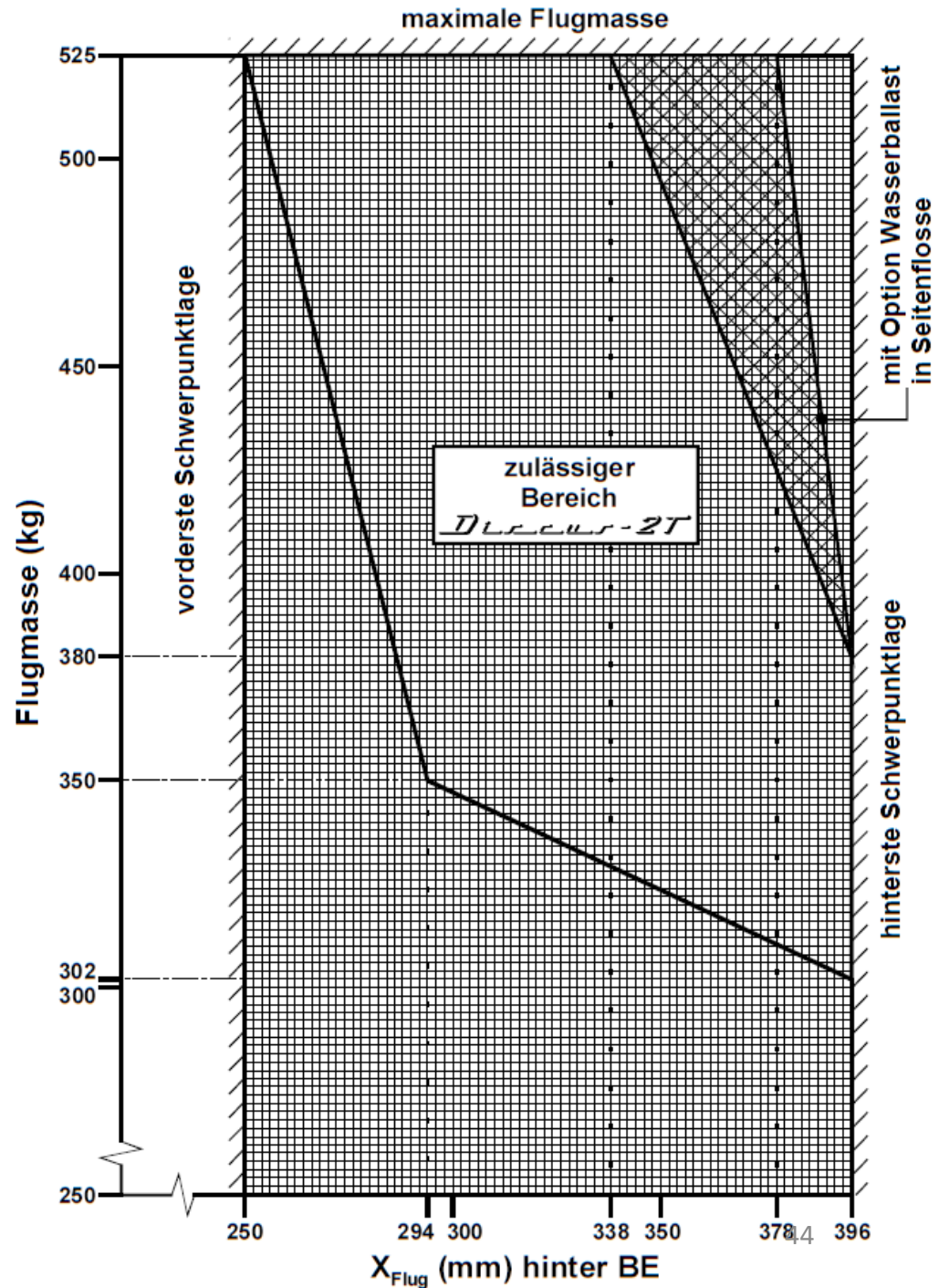
- Richtwert bestimmen
 - Kopflastige Grenze ~55% zulässiger Bereich
 - Schwanzlastige Grenze 100% zulässiger Bereich (bei MTOW)
 - Üblicherweise ~80% zulässiger Bereich

Hinterere Grenze bei
MTOW: 378 mm

Vordere sinnvolle
Grenze :294 mm

$$378 - 294 = 84$$

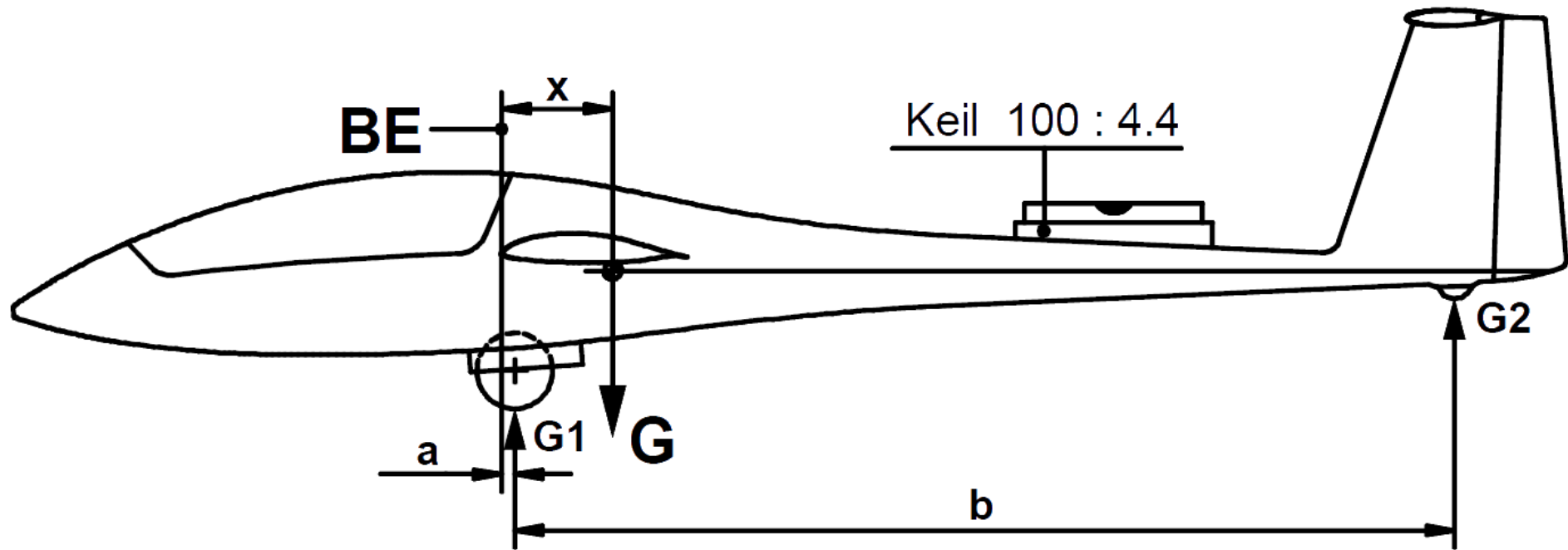
$$0,8 * 84 + 294 \\ = 361,2 \text{ mm}$$



Optimierung Praxis

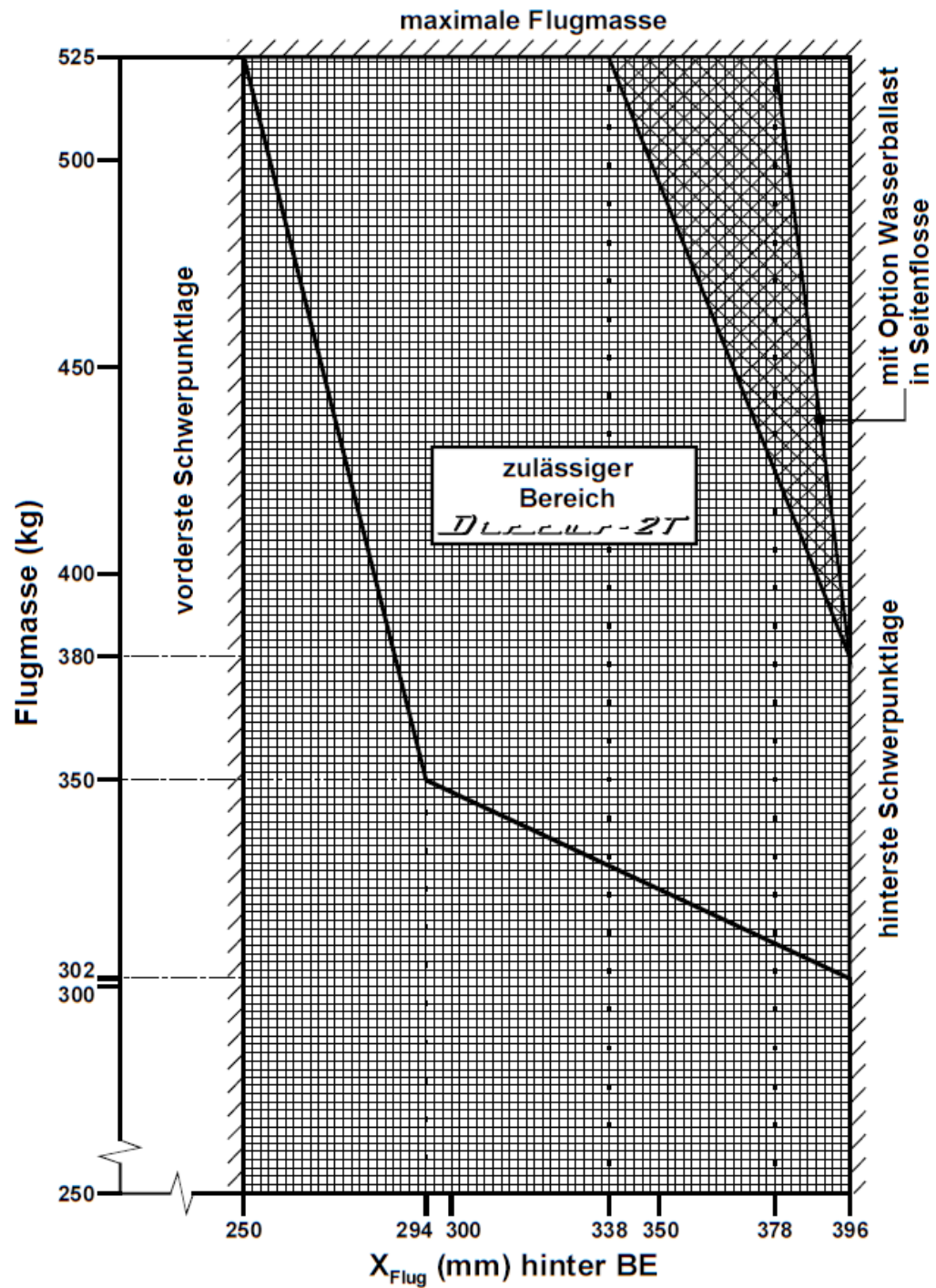
- Schwerpunkt bei einer Fluggewichtswägung einstellen
 - Notfalls aus dem letzten Wägebericht übernehmen
 - Achtung: auf Ausrüstung bei Wägung achten!!
- Mit „Stöckchenmethode“ kontrollieren
- Entsprechende Anpassungen vornehmen
 - Flugzeug zu schnell -> mehr Gewicht Leitwerk
 - Flugzeug zu langsam -> mehr Gewicht Nase
- Viel Fliegen!

Wägung



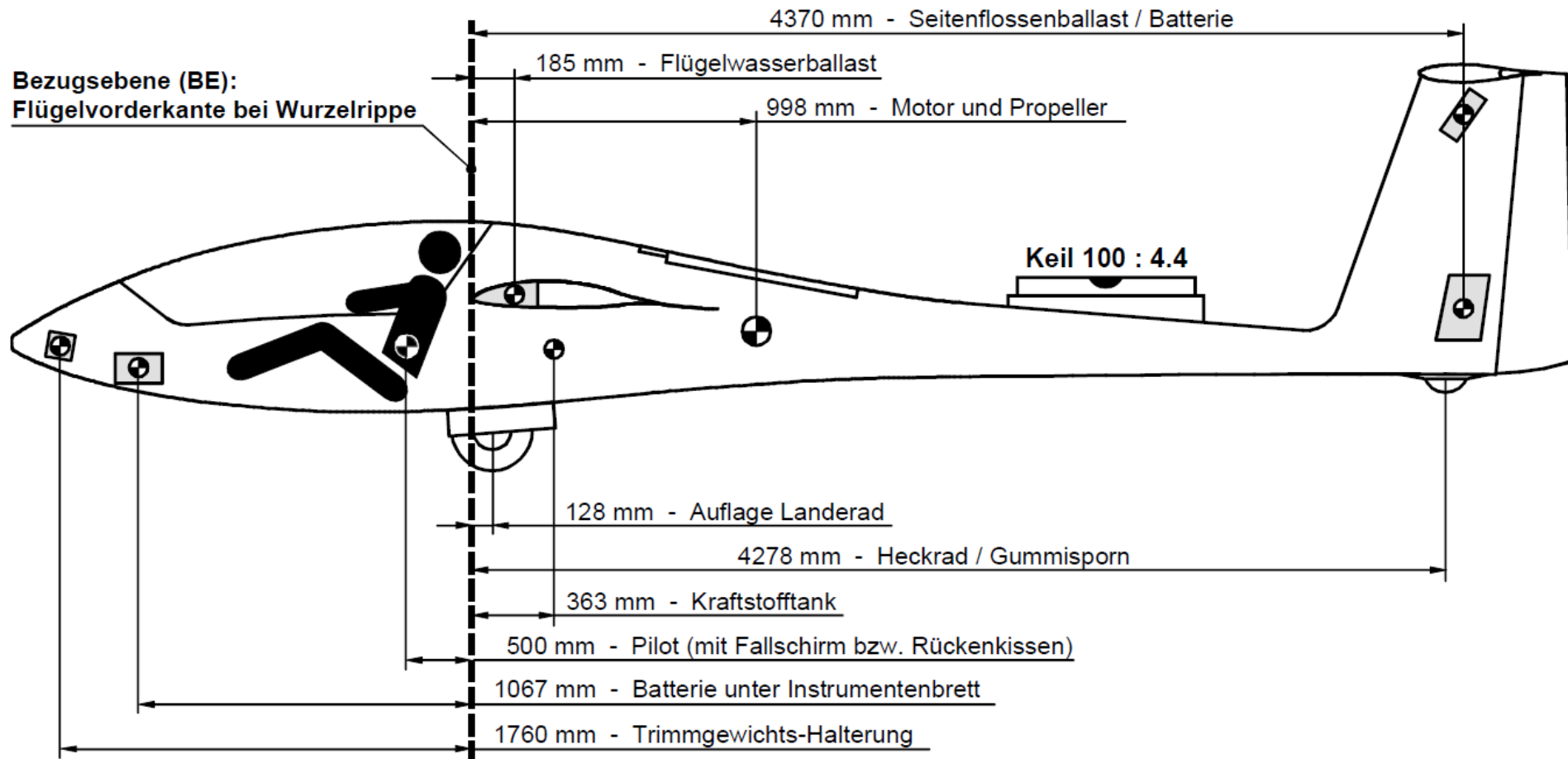
Wägung

- Verfahren bei allen neueren Flugzeugen im Wartungshandbuch beschrieben
- Fluggewichtswägung durchführen
 - Alles in Flugkonfiguration, mit Pilot im Cockpit, ohne Wasserballast
- Bei Flugzeugen mit Schleifsporn Hebelarm b nachmessen
- Achtung:
 - $b \neq$ Abstand Spornrad zur Bezugsebene
 - $a + b =$ Abstand Spornrad zur Bezugsebene

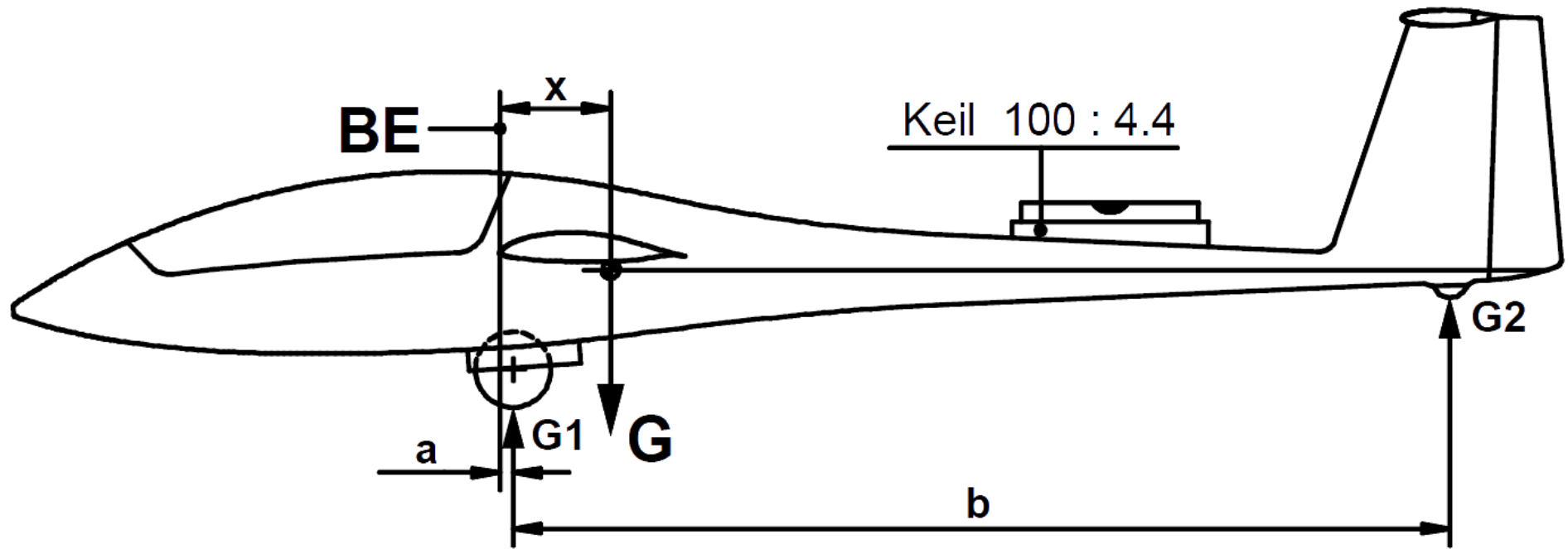


Wägung

- Excel Sheet



Wägung



Mit Pilot: 354,2 kg

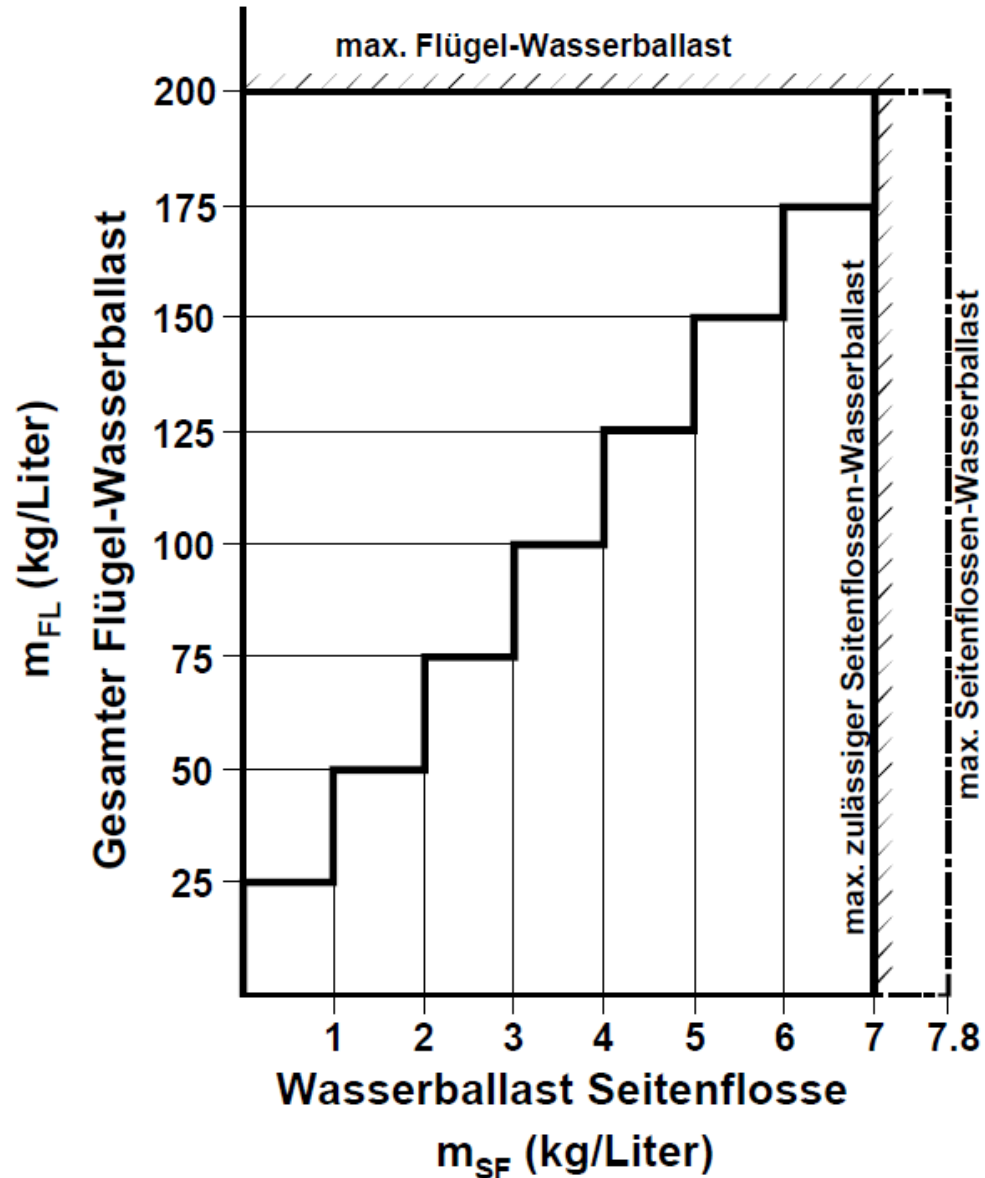
21,4 kg

Ohne Pilot: 243,6 kg

36,2 kg

Hebelarm des Wasserballastes Seitenflosse:
Discus-2T : 4370 mm hinter Bezugsebene (BE)

Fassungsvermögen Seitenflossentank: 7.8 kg



Hinweise

- Fliegt niemals außerhalb des zulässigen Schwerpunktbereichs!!
- Bei Wasserballast auf konstanten Schwerpunkt achten
- Variable Spannweite (15 m / 18 m)
 - Guter Schwerpunkt üblicherweise ähnlich
 - Großteil des Auftriebs wird am Innenflügel generiert

ENDE

Fragen?
Anregungen?