

Bemessungsflugzeuge, Boeing 747, A340 und A380: Flugzeugverkehrslasten im Vergleich

Projekt:	Veröffentlichungen
Projektnummer:	135-003
Teil-Projekt:	002
Dokument:	Bemessungsflugzeuge, Boeing 747, A340 und A380: Flugzeugverkehrslasten im Vergleich
Status des Dokuments:	Abgeschlossen
Datum:	2012-09-06
Auftraggeber:	Intern
Umsetzung:	IngSoft GmbH Ingenieurbüro & Software-Entwicklung Landgrabenstr. 94 90443 Nürnberg Deutschland Ansprechpartner: Frederik Müller

Inhalt

1	Grundlagen und Einführung	3
1.1	Vorwort.....	3
1.2	Bisherige Betrachtungsweise.....	3
1.3	Offizielle Regelwerke	3
1.3.1	ATV-DVWK-A 127	3
1.3.2	DWA-A 161	3
1.3.3	DIN-Fachbericht 101	3
1.4	Vergleich einiger Flugzeugtypen.....	3
1.5	Bewertung für die Praxis	4
2	BFZ: Einstufung am Beispiel der Boeing 747	5
2.1	Einstufung in BFZ-Klasse	5
2.2	Reifendruck	5
2.3	Pressungen unter den Rädern	5
2.4	Vergleich mit BFZ 350.....	5
2.5	Vergleich mit Lastkurven des A 127	7
2.6	Chancen und Risiken des Diagramms D4 in A 127.....	7
3	A 340-500/-600 und A380	8
3.1	Einstufung in BFZ-Klassen.....	8
3.2	Geometrie der Fahrwerke.....	8
3.3	Erfassung über EDV	10
4	Zusammenfassung	10
5	Kontaktdaten	11
6	Schrifttum.....	11

1 Grundlagen und Einführung

1.1 Vorwort

Die Berücksichtigung von Lasten außerhalb der gängigen Standards stellt die Aufsteller statischer Berechnungen für erdüberdeckte Rohrleitungen, Schachtbauwerke und Tiefbaumaßnahmen vor Herausforderungen. Es wird untersucht, ob die im Jahr 1970 festgelegten Bemessungsflugzeuge (BFZ) die Belastungen aus aktuellen Passagiermaschinen (Boeing 747, Airbus A340, A380) abdecken.

1.2 Bisherige Betrachtungsweise

Die Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen (ADV) veröffentlichte im Jahr 1970 den Bericht „Tragfähigkeit von Flugbetriebsflächen - Bemessungsgrundsätze und Annahmen für zukünftige Flugzeuglasten“ [6] mit Ergänzungen im Jahr 1985. Bis heute (2012) bildet diese Untersuchung die Grundlage für die statische Bemessung von Tiefbauten an (deutschen) Flughäfen: Die von der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) herausgegebenen Arbeitsblätter A 127 für grabenverlegte Rohre [2] und der aktuelle Gelbdruck des A 161 für Vortriebsrohre [5] ziehen das Lastbild der ADV heran.

1.3 Offizielle Regelwerke

Im Rohr- und Schachtbau sind folgende Regelwerke besonders hervorzuheben:

1.3.1 ATV-DVWK-A 127

Das A 127 aus dem Jahr 2000 beinhaltet u. a. Regelungen für Verkehrslasten auf Basis von DIN 1072 (1985) und des Berichts der ADV (1970). Abschnitt 3.2.3 des A 127 behandelt Bemessungsflugzeuge BFZ 90 bis BFZ 750 mit Verweis auf die Belastungsbilder des ADV.

Weiter ist unter 5.2.2.3 (Flugzeugverkehrslasten) das Diagramm D4 für Überdeckungshöhen ≥ 1 m hinterlegt, welches den lasterhöhenden Stoßfaktor $\varphi = 1,5$ enthält. Ein dynamischer Nachweis ist für Rohre unter Flugzeugbetriebsflächen gemäß 9.7.4 immer zu führen.

1.3.2 DWA-A 161

Im Entwurf des A 161 aus dem Jahr 2010 wird auf das A 127 und damit auf den Bericht der ADV von 1970 verwiesen.

1.3.3 DIN-Fachbericht 101

Im Jahr 2003 ersetzt der DIN-FB 101 die DIN 1072; jedoch schließt der Fachbericht Flugzeuge ausdrücklich aus ([4], Abschnitt 2.3 (4)). Dies ist folgerichtig, da der der DIN-Fachbericht Brücken behandelt.

1.4 Vergleich einiger Flugzeugtypen

Der erste Airbus A340 wurde 1991 produziert; der A380 ist das größte Passagierflugzeug und läuft seit 2005 in Serie. Tabelle 1 zeigt Startgewichte gemäß Typenblatt.

Flugzeug: Hersteller, Typ	Maximum ramp weight t	Reichweite* ¹⁾ km	Erstflug* ¹⁾ (Jahr)/Quelle
Boeing 747-400D	278* ²⁾	9.800-14.000	1969
Airbus A340-500/-600	381	10.900-16.100	1991
Airbus A380-800	571	10.400-15.200	2005
Antonow An-225* ³⁾	600	2.500-15.400	1988
BFZ 90	90	---	ADV-Untersuchung 1970/1985
BFZ 180	180		
BFZ 350	350		
BFZ 550	550		
BFZ 750	750		

Tabelle 1: Flugzeugdaten im Vergleich

*1) Quelle: Wikipedia.org, *2) Maximum design taxi weight, *3) Frachtflugzeug

In der Praxis wird in (maximum) ramp weight, maximum taxi weight, maximum take off weight (MTOW) und maximum allowable take off weight (MATOW) unterschieden. Für dieses Dokument spielen die Abweichungen eine untergeordnete Rolle, es wird das MTOW verwendet.

Als derzeit größtes Flugzeug gilt die Antonow An-225, eine Frachtmaschine, die trotz 600 t MTOW ein geringeres Gewicht aufweist als das BFZ 750.

1.5 Bewertung für die Praxis

Der obige Vergleich lässt folgende Schlüsse zu:

1. Aktuelle Passagierflugzeuge (A340, A380) können über die BFZ-Modelle erfasst werden.
2. Künftige Flugzeugtypen werden sich wahrscheinlich in eine der vorhandenen BFZ-Kategorien einordnen lassen.
3. Eine Bemessung nach BFZ-Typen führt zu sicheren, aber möglicherweise unwirtschaftlichen Ergebnissen.
4. Der Lastansatz der ADV'70/'85 liefert korrekte Werte für BFZ an der Oberfläche; die Richtigkeit der Spannungsverteilung über die Tiefe, wie sie im A 127 und A 161 vorgeschlagen ist, wird angezweifelt.

Aufsteller statischer Berechnungen müssen sich um diese Punkte dann keine Gedanken machen, wenn Lasten durch die Flughafenverwaltung angegeben werden. Dies kann durch Vorgabe eines Landing Gear Footprint ("Fußabdruck" eines Flugzeugs) erfolgen.

Die ADV äußert 1985, 15 Jahre nach Erstellung des ursprünglichen Berichts, folgende Kernaussagen (vgl. [7], S. 2):

„Die in der ADV-Veröffentlichung „Tragfähigkeit von Flugbetriebsflächen, 1970“ empfohlenen Bemessungslasten für Flugbetriebsflächen, definiert als 350 t, 550 t und 750 t Bemessungsflugzeuge, sind weiterhin gültig.

Auf internationalen Verkehrsflughäfen ist für Flugbetriebsflächen und –tiefbauten mit einer Lebensdauer bis zum Jahre 2005 das 550 t Bemessungsflugzeug als maßgebende Dimensionierungsvorgabe ausreichend.

Für Flugbetriebsflächen mit einer längeren Lebensdauer kann ggf. der Ansatz des 750 t Bemessungsflugzeuges sinnvoll sein.“

Vorausschauend wurden 1970 zukünftige, möglicherweise größere Flugzeuge in Betracht gezogen. Basierend auf den damals verfügbaren Statistiken wurde ein starker Anstieg von Startgewicht, Flugzeuggröße und Passagierzahl erwartet,

der in der Realität ausblieb. Vorhersagen von 1970 sind heute als zu optimistisch zu werten, da der Bedarf an Sitzplätzen schwächer gewachsen ist als angenommen ([6] Anlage 1).

2 BFZ: Einstufung am Beispiel der Boeing 747

Im Folgenden soll am Beispiel einer Boeing 747 („Jumbo-Jet“) untersucht werden, inwieweit reale Belastung und der Ansatz eines Bemessungsflugzeugs voneinander abweichen.

2.1 Einstufung in BFZ-Klasse

Aus Tabelle 1 lässt sich das MTOW für die Boeing 747 entnehmen. Die Einordnung erfolgt in die BFZ-Reihe:

BFZ 180: MTOW 180 t < Boeing 747: MTOW 278 t* < **BFZ 350**: MTOW 350 t

*) aus Landing Gear Footprint

2.2 Reifendruck

Dokument [8] enthält einen Landing Gear Footprint für den Jumbo; der Reifendruck des Hauptfahrwerks (Main Gear) bewegt sich – je nach Flugzeugtyp – in einem Bereich von 10,5 bis 16,2 kg/cm². Zur Verdeutlichung wird in Anlehnung an ADV'85 [7] ein Reifendruck von 15,9 kg/cm² angenommen, dies entspricht 159 N/cm². Der Stoßbeiwert $\varphi = 1,5$ ist enthalten.

Zum Vergleich: Ein für PKW gängiger Reifendruck liegt bei ca. 2,5 bar, also 25 N/cm²; damit ist der Reifendruck einer Passagiermaschine um das Vier- bis Sechsfache höher.

2.3 Pressungen unter den Rädern

Kontaktflächenformen von Flugzeugreifen sind unterschiedlich festgelegt (ADV 1985 [7], Tabelle B-1): Verschiedene Untersuchungen geben Rechtecke, Rechtecke mit Halbkreisen und Ellipsen an.

Das Fahrwerk einer B 747 besteht aus insgesamt vier Hauptfahrwerksbeinen und einem Bugfahrwerk; letzteres bleibt für die weiteren Betrachtungen außer Acht. Jedes Bein hält vier Räder; zum einfacheren Vergleich mit BFZ-Werten wird das Flugzeug aus Symmetriegründen entlang seiner Längsachse geteilt.

Zu betrachten sind demnach zwei Hauptfahrwerksbeine mit je vier Rädern; diese werden dem BFZ-Lastansatz gegenübergestellt.

Der Hersteller [8] gibt die Maximallast **je Fahrwerk** mit 66-97 t an. Diese Angabe enthält noch keinen dimensionslosen Stoßbeiwert; mit $\varphi = 1,5$ läge die Maximallast je Fahrwerk in einem Bereich von 99-146 t. Ein durchschnittlicher Wert von 123,4 t bzw. 1.234 kN wird für dieses Beispiel gewählt.

Für ein einzelnes Rad lassen sich die Abmessungen der Kontaktfläche zwischen Reifen und Flugbetriebsfläche über geschlossene Formeln ermitteln, siehe ADV'85:

- Last je Fahrwerk: $123,4 \text{ t} \cong 1.234 \text{ kN}$
- Last je Rad: $G = 1234/4 = 308,5 \text{ kN}$
- Reifendruck: $p = 159 \text{ N/cm}^2$
- Fläche: $A = G/p = 308,5 \cdot 1000/159 = 1.940 \text{ cm}^2$
- Breite: $b = (0,91 \cdot A)^{0,5} = (0,91 \cdot 1.940)^{0,5} = 42 \text{ cm}$
- Länge: $a = A/b = 1.940/42 = 46,2 \text{ cm}$

2.4 Vergleich mit BFZ 350

Das maximale Startgewicht (MTOW) in t versteht sich ohne Stoßbeiwert und damit je Fahrwerk: $123,4/1,5 = 82,3 \text{ t}$. Das Gesamtgewicht beträgt $4 \cdot 82,3 = 329,2 \text{ t}$.

Die zugrunde gelegten Lastbilder nach ADV-Bericht [2] und DWA-Merkblatt [7] unterscheiden sich. Das ATV-DVWK-A 127 verwendet vereinfachend:

- gleichmäßige Abstände von 4,0 m, unabhängig von der BFZ-Klasse

- abweichende Kantenlängen der Lastaufstandsflächen

Abbildung 1 zeigt die Auswirkungen: (Blaue) Ellipsen sind dem Landing Gear Footprint entnommen; die kleinere (rote) Fläche darunter stellt die Abmessungen nach ADV'70/'85 dar. Im Hintergrund findet sich die (graue) Fläche nach ATV mit einem lichten Abstand von 4,0 m zwischen den beiden Teilflächen.

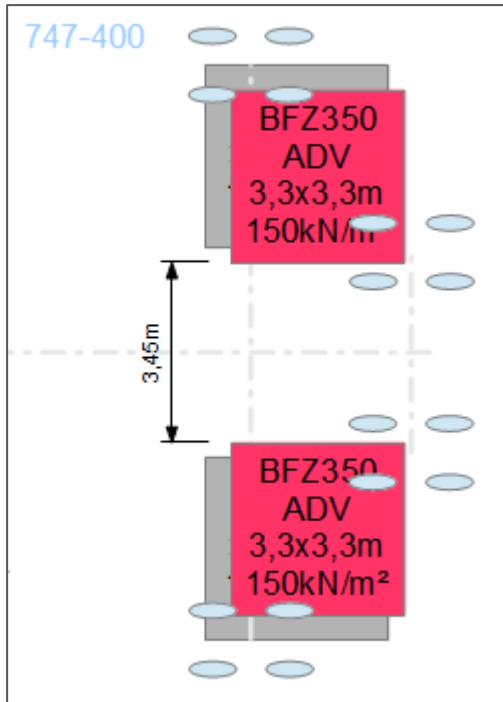


Abbildung 1: Aufstandsflächen im Vergleich

Einzelne Räder befinden sich außerhalb der Aufstandsfläche nach ADV. Dieser Umstand wird in der Theorie toleriert und in der Praxis durch die Flugbetriebsfläche wettgemacht, welcher pauschal eine lastverteilende Wirkung zugesprochen wird.

Die Belastung von 15 t/m² bzw. 150 kN/m² für jede der beiden Aufstandsflächen ist in ADV'85 und ATV-A 127 einheitlich. Es entstehen unterschiedliche Gesamtlasten:

Grundlage	Rechengang	Gesamtgewicht t	Quelle
Boeing 747	Maximum Design Taxi Weight	278	Boeing Typenblatt
BFZ nach ADV	15 t/m ² * 3,3 m * 3,3 m * 2	327	Flächenlast * Fläche
Boeing 747	nach ADV	329	Aufsummierung der Einzelräder
<i>BFZ 350</i>	<i>nach ADV oder DWA</i>	<i>350</i>	<i>Startgewicht, zum Vergleich*)</i>
BFZ nach DWA	15 t/m ² * 3,5 m * 3,5 m * 2	368	Flächenlast * Fläche

Tabelle 2: Abweichende Gesamtlasten des BFZ 350

*) Streng genommen weicht das angegebene Startgewicht (ADV/DWA) von der Ermittlung aus *Flächenlast * Fläche* ab.

Abweichungen lassen sich durch Zuschläge auf die maximale Belastung je Fahrwerk begründen, durch die ungleichmäßiges Aufsetzen und Gewichtsverlagerungen beim Beschleunigen oder Bremsen des Flugzeugs berücksichtigt werden. Die Summe der maximalen Fahrwerkslasten ist immer größer als das MTOW.

Im DVWK-ATV-A 127 (DWA) wird dieser Umstand durch einen ausreichend hohen Stoßbeiwert φ als Zuschlag für Tiefbauten erfasst: $329 \text{ t}/278 \text{ t} = 1,18 < 1,5 = \varphi$.

Insgesamt sind die Ergebnisse plausibel, der Ansatz des BFZ ist gerechtfertigt.

2.5 Vergleich mit Lastkurven des A 127

Das Diagramm D4 des A 127 (DWA) „Bodenspannung p_v infolge von Flugzeugverkehrslasten“ liefert einen Wert von 136 kN/m^2 bei einer Tiefe von $1,0 \text{ m}$ unter Fahrbahn-Niveau, an der Oberfläche liegen 225 kN/m^2 ($150 \cdot \varphi$) an. Stoßbeiwert und lastverteilende Wirkung der Flugbetriebsfläche sind bereits in das Diagramm eingeschlossen, vgl. A 127 [2] Abschnitt 5.2.2.3.

Eigene Vergleichsrechnungen für das BFZ 350 zeigen, dass das Diagramm durchgängig mit einer angenommenen Lastausbreitung von 2:1 erstellt wurde. Grundlage ist der Ansatz eines Pyramidenstumpfes, dessen Grundfläche mit steigender Tiefe anwächst, siehe hierzu [9]. Die in ihrer Ausdehnung begrenzte Last verteilt sich nach unten auf eine stetig größer werdende Fläche, sodass die resultierende Spannung abnimmt.

2.6 Chancen und Risiken des Diagramms D4 in A 127

Das Diagramm erlaubt die schnelle Ermittlung anliegender Spannungen in einer bestimmten Tiefe für BFZ und hat sich in der (Rohrleitungs-)Praxis bewährt. Allerdings birgt dieser Ansatz Gefahren:

1. Es erfolgt keine Überlagerung der beiden Fahrwerke (Lastausbreitungskegel) links und rechts der Längsachse des Flugzeugs.
2. Kleinere Rohrdurchmesser, die in geringer Tiefe verlegt sind, nehmen die Last als „unendlich ausgedehnt“ wahr (Beispiel: DN 100 unter einer Fläche mit 5 m Kantenlänge; Stichwort: Boussinesq). Für solche Rohre liegt eine lineare, pyramidenförmige Ausbreitung und die damit verbundene Lastreduzierung auf der unsicheren Seite.

Die Diagramme D2a bis D2d für Straßenverkehrslasten nach A 127 berücksichtigen den Einfluss des Rohrdurchmessers.

Gemäß A 127 beträgt der lichte Abstand zwischen den Aufstandsflächen aller Bemessungsflugzeuge immer $4,0 \text{ m}$. Bei einer Lastausbreitung unter 2:1 treffen sich die beiden Kegel bei $4,0 \text{ m}$ Tiefe. Würde eine Überschneidung der Pyramidenstümpfe angesetzt, so ergäbe sich ab dieser Tiefe der doppelte Wert.

Abbildung 2 veranschaulicht dies beim Sprung von 4,0 auf 4,01 m Tiefe: Hier wird das Diagramm D4 des A 127 um eine Kurve ergänzt, die die Verdoppelung der Spannungen aufzeigt.

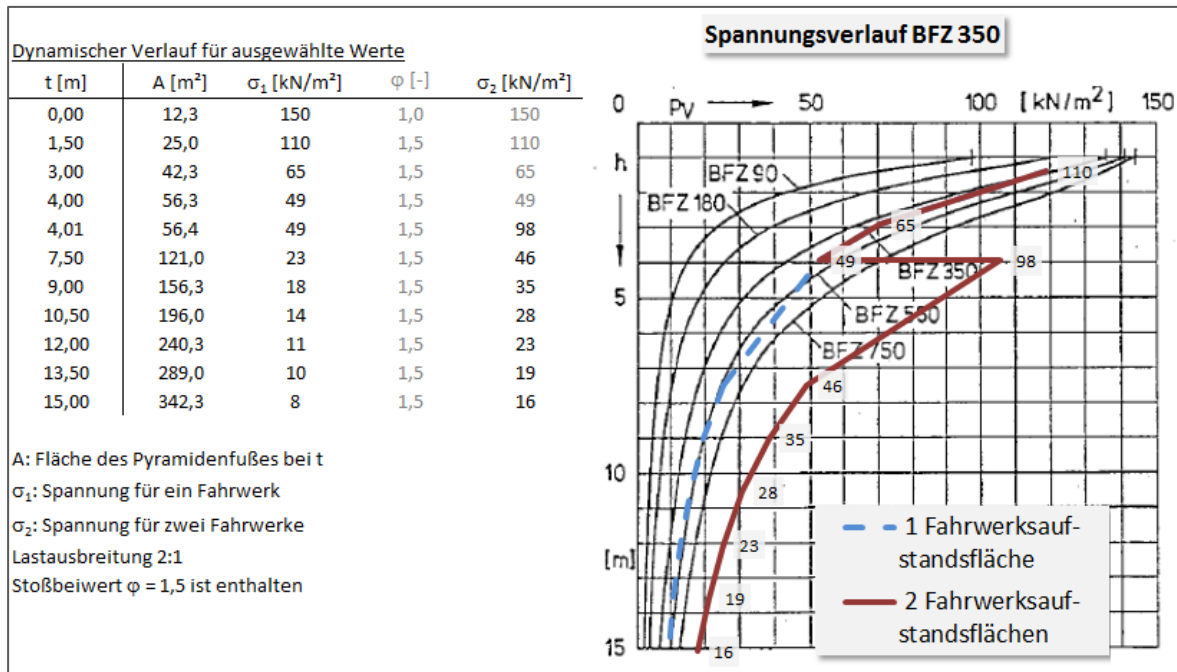


Abbildung 2: Diagramm D4 des A127 – Überlagerung aus zwei Fahrwerken für das BFZ 350

Überdeckungshöhen, die geringer als 1 m sind, erfordern gesonderte Betrachtungen.

3 A 340-500/-600 und A380

3.1 Einstufung in BFZ-Klassen

In Tabelle 1 (siehe oben) sind gängige Startgewichte gegenübergestellt. Die Einordnung in die BFZ-Reihe erfolgt wieder anhand des MOTW:

BFZ 350: MTOW 350 t < A340: MTOW 381 t^{*)} < **BFZ 550: MTOW 550 t**
 BFZ 550: MTOW 550 t < A380: MTOW 571 t^{*)} < **BFZ 750: MTOW 750 t**

^{*)} aus Landing Gear Footprint

Airbus A340 und A380 sind „schwerer“ als ihr prominenter Bruder des Mitbewerbers Boeing.

3.2 Geometrie der Fahrwerke

Abbildung 3 stellt die drei Flugzeuge 747 (links, 4x4 Räder in blaugrau), A340 (rechts, 3x4 Räder in türkis) und A380 (mittig, 2x4 und 2x6 Räder in rot) nebeneinander dar. Für das Bild wurde das Vorderrad an der gleichen Stelle links außerhalb der Abbildung platziert.

Klar zu erkennen ist die größere Länge der beiden Airbusse. Die grauen Flächen im Hintergrund sind die Bemessungsflächen nach A 127 mit $5\text{ m} \times 5\text{ m} = 25\text{ m}^2$ im Abstand von 4 m untereinander, welche minimal von der Vorgabe der ADV'70/'85 abweichen. Bemerkenswert ist das zentrale Fahrwerk des A340, das keinerlei Berührungspunkte mit der Bemessungsfläche aufweist. Für den BFZ-getreuen Vergleich der Boeing 747 wird auf Abbildung 1 verwiesen.

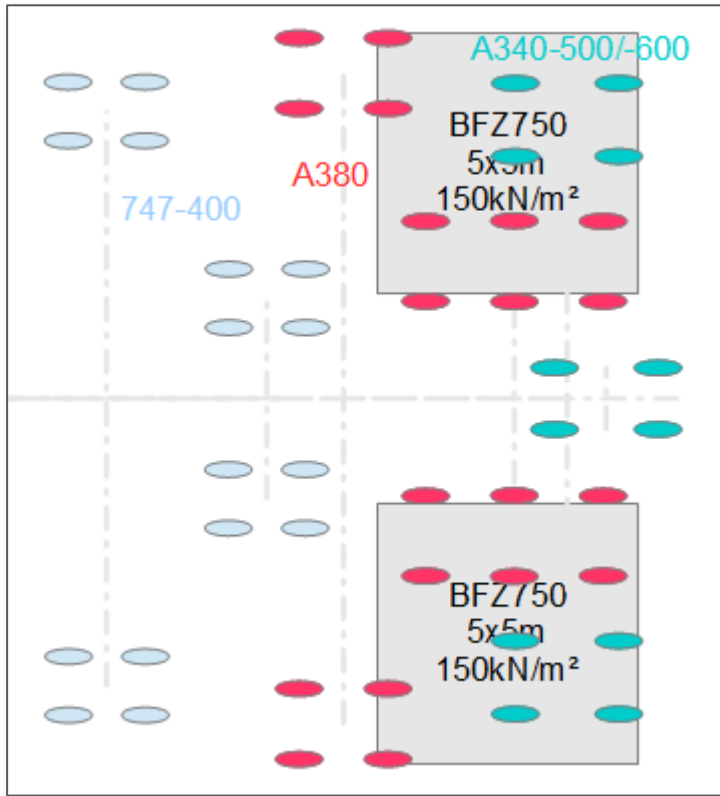


Abbildung 3: Footprints von 747, A340 und A380 im Vergleich

3.3 Erfassung über EDV

Oben gezeigte Tabellen und Diagramme sowie die grafische Überlagerung der Footprints verlangen nach Unterstützung durch geeignete Software. Der praktische Ingenieur mag sich mittels Tabellenkalkulation eine Arbeitshilfe für spezielle Anforderungen schaffen. Wenn es – wie häufig im Büro-Alltag – schnell gehen muss, bietet IngSoft im Rahmen der Software IngSoft EasyPipe für die Bemessung erdverlegter Rohrleitungen demnächst einen allgemeinen „Lasteditor“ an, der die oben angesprochenen Überlagerungen komfortabel ermittelt (Abbildung 4).

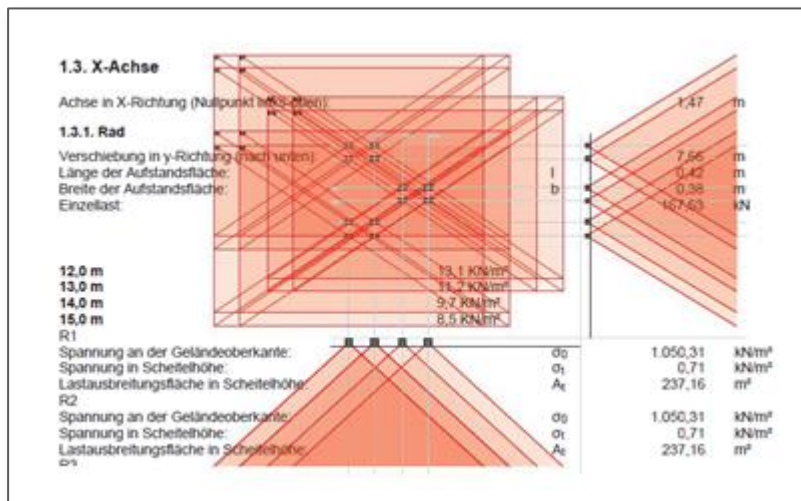


Abbildung 4: Ausgabe des Lasteditors von IngSoft EasyPipe, Bild und Text überlagert

Aufsteller statischer Berechnungen von Rohrleitungen können auf diese Weise zügig Geometrie und Belastung realitätsnah abbilden. Über die Eingabe von Achsen lassen sich auch Sonderfahrzeuge, Stapler, Reach-Stacker, Tandem-Systeme und zukünftige Flugzeuge erfassen.

4 Zusammenfassung

In den vorhergehenden Ausführungen werden statische Zusammenhänge zwischen Bemessungsflugzeugen und gängigen Großraum-Passagierflugzeugen wie Boeing 747 und Airbus A340/380 erläutert.

Bezüglich der Last bestehen Reserven nach oben: Selbst die große A380 mit maximal 571 t kann, was das Gewicht betrifft, in eine BFZ-Klasse eingeordnet werden (vgl. Kapitel 2.5). Basis ist das MTOW. Hierbei liefern die Diagramme des A 127 und des A 161 der DWA unsichere Ergebnisse in der Tiefe, da keine Überlagerung stattfindet; die dafür zugrunde liegenden Werte an der Oberfläche nach ADV sind stimmig.

Die Überschneidung von Fahrwerken kann, wie Abbildung 2 anschaulich zeigt, maßgebend werden. Das A 127 ist mittlerweile zwölf Jahre alt; eine aktuelle Untersuchung wird vorgeschlagen, zumal die Bemessungsflächen 2010 in das A 161 einzogen.

5 Kontaktdaten

Dipl.-Ing. (FH) Frederik Müller

IngSoft GmbH, Nürnberg

+49 911 430879-27

frederik.mueller@ingsoft.de

6 Schrifttum

- [1] DIN 1072: Straßen- und Wegbrücken; Lastannahmen, Dezember 1985
- [2] Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127: Statische Berechnung von Abwasserkanälen und –leitungen, August 2000
- [3] DIN 1055-100: Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln, März 2001
- [4] DIN-Fachbericht 101: Einwirkungen auf Brücken, März 2009
- [5] Arbeitsblatt DWA-A 161: Statische Berechnung von Vortriebsrohren, September 2010
- [6] Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen 7023 Stuttgart-Flughafen (ADV): Tragfähigkeit von Flugbetriebsflächen - Bemessungsgrundsätze und Annahmen für zukünftige Flugzeuglasten. Bericht einer ADV-Arbeitsgruppe, 1968-1970
- [7] Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen 70624 Stuttgart (ADV): ADV-Leitsätze – Bemessungslasten für Flugbetriebsflächen, 1985
- [8] D6-58326-1: Boeing 747 Landing Gear Footprint (<http://www.boeing.com/commercial/airports/acaps/7474sec7.pdf>) Dezember 2002
- [9] Frederik Müller: Bodenpressungen und Lastausbreitung unter Tandemfahrzeug LM 1. 3R Ausgabe 3-4/2012, S. 298-301, Vulkan-Verlag, Essen
- [10] Airbus: Landing Gear Footprint - A340-500/-600 Airplane Characteristics (AC_A340_500_600_Footprint_A.pdf) Januar 2010
- [11] Airbus: A340-200/300 – Airplane Characteristics for Airport Planning (Airbus-AC_A340-200_300_Dec11.pdf) Januar 2012
- [12] Airbus: A380 – Airplane Characteristics for Airport Planning (Airbus-AC-A380-20111101.pdf) November 2011

Abbildung 1: Aufstandsflächen im Vergleich.....	6
Abbildung 2: Diagramm D4 des A127 – Überlagerung aus zwei Fahrwerken für das BFZ 350	8
Abbildung 3: Footprints von 747, A340 und A380 im Vergleich.....	9
Abbildung 4: Ausgabe des Lasteditors von IngSoft EasyPipe, Bild und Text überlagert.....	10
Tabelle 1: Flugzeugdaten im Vergleich	4
Tabelle 2: Abweichende Gesamtlasten des BFZ 350	6

Zeichen: 15363

Dieser Artikel wurde in der Zeitschrift „Kanal- und Rohrleitungsbau: Bau und Sanierung“ als Ernst & Sohn Special 2012 veröffentlicht. Der Sonderdruck erschien im Dezember 2012 unter der Nummer A61029. Unser Fachbeitrag ist dort ab S. 33 abgedruckt.

1.1. Spezialfahrzeug

Bezeichnung:
 Lastausbreitung x/1:
 Schichthöhe Lastverteilende Schicht:
 Lastausbreitung Lastverteilende Schicht x/1:

1.1.1. X-Achse

Achse in X-Richtung (Nullpunkt links-oben):

1.1.1.1. Rad

Verschiebung in y-Richtung (nach unten):
 Länge der Aufstandsfläche:
 Breite der Aufstandsfläche:
 Einzellast:

747-200 ADV	2,00	[-]
	0,00	m
	0,50	[-]
	0,00	m
	0,00	m
l	0,46	m
b	0,42	m
	308,40	kN

2. Tabelle Bodenpressung

Tiefe	Flächenpressung
0,0 m	1589,4 KN/m ²
1,0 m	297,1 KN/m ²
2,0 m	207,0 KN/m ²
3,0 m	130,2 KN/m ²
4,0 m	93,8 KN/m ²
5,0 m	83,3 KN/m ²

3. Skizze Lastausbreitung

