



7B – Thema: Klima

CO₂-Berechnungen

Arbeitsauftrag	<p>Die SuS eignen sich zuerst das Wissen an, was ein LTO-Zyklus ist und füllen auf dem Blatt 7B-1 im unteren Teil die Tabelle aus.</p> <p>Danach berechnen sie für die Flugzeuge auf Blatt 7B-2 den CO₂-Ausstoss pro Passagier. Die Ergebnisse tragen sie in 7B-3 auf.</p> <p>Es folgt die Selbstkontrolle mit den Lösungsblättern.</p> <p>In einer Diskussion mit dem Partner / der Partnerin sollen die Ergebnisse reflektiert und einige Gedanken dazu auf dem Blatt 7B-1 festgehalten werden.</p>
Ziele	<p>Es soll den SuS bewusst werden, dass Fliegen klimaschädliches CO₂ produziert. Aber auch, dass in den letzten Jahren enorme technische Fortschritte erzielt werden konnten, um diesem Problem entgegenzuwirken.</p> <p>Die SuS trainieren die rechnerischen Fertigkeiten (z.B. Grössenumwandlung kg – g).</p>
Material	<p>Arbeitsblätter 7B – 1, 2, 3</p> <p>evt. Taschenrechner</p> <p>Lösungsblätter</p>
Sozialform	<p>PA</p>
Zeit	<p>40 Minuten</p>

Anregungen

Die Diskussion nach Lösen dieser Aufgaben könnte auch als Klassengespräch geführt werden.

Dazu einige Bemerkungen:

Sowohl bei den kleineren Flugzeugen, die kürzere Strecken fliegen, als auch bei den grösseren Langstreckenflugzeugen konnte der CO₂-Ausstoss über die letzten 50 Jahre verringert werden. Die Technik ist erstaunlich, wenn man bedenkt, dass der neue Airbus A380 mit einer noch nie dagewesenen Grösse trotzdem einen geringeren CO₂-Ausstoss aufweist als manch anderes Flugzeug.

Eine Verringerung des CO₂-Ausstosses wäre zum Beispiel möglich durch weniger oft bzw. weniger weit fliegen. Oder durch Entwicklung eines neuen Treibstoffes, der nicht mehr das „Abfallprodukt“ CO₂ produziert (siehe folgenden Artikel des Tages-Anzeigers).

Umweltschutz am Flughafen

Informationen für Lehrpersonen



Artikel aus der «Süddeutschen Zeitung» vom 26.4.2023

Fliegen wird grüner, zumindest ein bisschen

Von Jens Flottau, Frankfurt

Bald müssen alle Flugzeuge in Europa eine feste Quote an nachhaltigem Treibstoff tanken. Für die Kunden dürfte es aber zunächst vor allem eins werden: teurer.

Wie soll es gelingen, die Klimafolgen der Luftfahrt zu reduzieren? Monatelang haben sich die Verhandlungen zu dieser Frage zwischen Mitgliedsländern, der Europäischen Kommission und dem Europaparlament gezogen. Industrie und Umweltverbände schwankten zwischen Hoffen und Bangen. Doch nun haben sich die drei Instanzen auf die wichtigsten Eckpunkte geeinigt - vor allem auf verbindliche Quoten für nachhaltige Kraftstoffe. Alle Seiten scheinend mit dem Ergebnis leben zu können, zumindest gemessen an den ersten Reaktionen. "Die EU ist startklar für eine nachhaltigere Zukunft der Luftfahrt", sagte Frans Timmermans, Vizepräsident der Europäischen Kommission und verantwortlich für den sogenannten "European Green Deal".

Der Luftverkehr hat nach gängigen Berechnungen zwar nur einen Anteil von unter drei Prozent an den globalen Kohlendioxid-Emissionen. Doch mehrere Faktoren drohen dafür zu sorgen, dass die Industrie schon bald weit schlechtere Zahlen liefern wird. Nach den außergewöhnlichen Jahren der Corona-Pandemie, in denen der Flugverkehr drastisch reduziert war, steht nun wieder starkes Wachstum an. Und dieser scheint derzeit nur durch die weltweite Knappheit beim Fachpersonal und den Problemen der Lieferketten gehemmt zu werden. Neue, spritsparende Jets ersetzen nicht schnell genug die alten. Gleichzeitig gibt es nur wenige schnell verfügbare technologische Lösungen, durch die der Umwelteffekt bei einer neuen Generation von Maschinen eingedämmt werden kann. Es wird viele Jahrzehnte dauern, bis wirklich große Flugzeuge mit Wasserstoff betrieben werden können. Batterien sind, basierend auf dem heutigen Technologiestand, viel zu schwer. Das Meiste, was bei Autos, Schiffen oder Zügen funktionieren mag, kommt bei Flugzeugen also nicht infrage.

Die größten Hoffnungen der Branche selbst, der Politik und der großen Umweltverbände liegen daher bei den sogenannten Sustainable Aviation Fuels (SAF), also auf nachhaltigen Rohstoffen basierenden oder synthetisch hergestellten Treibstoffen, deren CO₂-Bilanz dramatisch besser ist als die von herkömmlichem Kerosin.

Die Einigung in den trilateralen Gesprächen kam nach einer Marathonsitzung am frühen Mittwochmorgen. Das wichtigste Element sind Beimischungsquoten: Ab 2025 müssen alle Flüge, die auf einem Airport in der Europäischen Union abheben, mindestens zwei Prozent SAF beimischen. 2030 liegt die Quote dann schon bei sechs Prozent und damit deutlich höher, als die Kommission ursprünglich gefordert hat. Bis zum Jahr 2050, für das auch die Luftfahrt Klimaneutralität versprochen hat, steigt die Quote dann auf 70 Prozent. Die

Umweltschutz am Flughafen

Informationen für Lehrpersonen



restlichen 30 Prozent sollen andere Faktoren beisteuern - also effizientere Flugzeuge und Flugsicherung und auch Offsets, durch die die Fluggesellschaften ihren verbleibenden Kohlendioxidausstoß kompensieren sollen.

Nachhaltige Kraftstoffe sind bislang kaum verfügbar

Die Luftverkehrsbranche hat nun zumindest auf der politischen Ebene Planungssicherheit. Sie weiß, was sie liefern muss. Eine ganz andere Frage ist allerdings, ob sie auch liefern kann. Denn die nachhaltigen Kraftstoffe sind zwar tatsächlich auf dem Papier eine vielversprechende, und mutmaßlich für lange Zeit die einzige realistische Lösung, die dem Luftverkehr in Sachen Klimawirkung weiterhilft. Allerdings sind sie bislang kaum verfügbar. Alle weltweit aktuell vorhandenen Kapazitäten reichen für ungefähr 0,1 Prozent des Treibstoffbedarfs. Sie sind sprichwörtlich ein Tropfen auf dem heißen Stein. Und SAF ist sehr teuer, rund fünfmal so teuer wie Kerosin. Damit die Transformation der Luftfahrtindustrie also wirklich gelingt, müssen Unmengen an Geld vor allem in den Aufbau der Produktion gesteckt werden.

Die Umweltorganisation Transport & Environment (T&E) hob hervor, dass die Einigung nicht nur SAF-Quoten vorschreibt, sondern auch für synthetischen Treibstoff. Dessen Produktion ist aus Sicht des Verbandes in industriellem Maße skalierbar, ohne unerwünschte Nebeneffekte wie bei Bio-Treibstoffen. Bis spätestens 2035 müssen zwei Prozent des in der EU getankten Sprits synthetisch hergestellt sein. T&E bezeichnete es gar als "historisch", dass auch die Nicht-CO₂-Effekte der Luftfahrt in dem Regelwerk berücksichtigt werden. Dazu gehören etwa die durch Flugzeuge verursachten Kondensstreifen. Die Organisation schätzt, dass diese zwei Drittel des Klimaeffektes der Luftfahrt ausmachen. Nun soll aber die chemische Zusammensetzung aller Treibstoffe reguliert werden. So sollen sich weniger Kondensstreifen bilden können.

Der Bundesverband der deutschen Luftverkehrswirtschaft (BDL) kritisierte, dass die Quoten sowohl innereuropäische Flüge als auch Langstreckenflüge verteuern, die von Drehkreuzen innerhalb der EU starten. "Dies führt zu erheblichen Wettbewerbsverzerrungen zwischen EU- und Nicht-EU-Fluggesellschaften", so der BDL.



7B Klima –CO₂-Berechnungen

Zyklus 2	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	40 min
----------	---	--------

Material	Arbeitsblätter 7B – 1, 2, 3 evt. Taschenrechner Lösungsblätter
Ziel	Du lernst, dass mit neuen Technologien der CO ₂ -Ausstoss bei Flugzeugen reduziert werden kann.
Arbeitsauftrag	<p>Lies den Text auf dem Arbeitsblatt 7B-1. Darin wird der LTO-Zyklus erklärt. Es folgt eine Grafik, welche den LTO-Zyklus darstellt. Du solltest nun in der Lage sein, die in der Tabelle fehlenden deutschen Wörter zu ergänzen.</p> <p>Auf dem Arbeitsblatt 7B-2 sind Flugzeuge unterschiedlichen Alters abgebildet. In der Tabelle findest du die Anzahl Sitzplätze und den CO₂-Ausstoss während des LTO-Zyklus für jedes Flugzeug. Berechne nun für jedes Flugzeug wie viel CO₂ ein Passagier (Sitz) verbraucht. Du darfst dafür einen Taschenrechner zu Hilfe nehmen. Wenn du fertig gerechnet hast, kontrolliere deine Ergebnisse mit dem Lösungsblatt.</p> <p>Trage nun die CO₂-Mengen für jedes Flugzeug im Arbeitsblatt 7B-3 ein. Kontrolliere wiederum mit dem Lösungsblatt.</p> <p>Wenn du die Blätter fertig gelöst hast, diskutierst du mit deinem Partner / deiner Partnerin die Ergebnisse. Stellt euch dazu folgende Fragen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Was hat sich in Bezug auf den CO₂-Ausstoss in den letzten 50 Jahren verändert? Vergleiche die Flugzeuggröße und das Jahr der Inverkehrsetzung. • Wie könnte man, eurer Meinung nach, den CO₂-Ausstoss weiter verringern? Und warum wäre dies wichtig? <p>Notiere auf dem Arbeitsblatt 7B-1 einige deiner Gedanken.</p>

Umweltschutz am Flughafen

Arbeitsmaterial



Die Flugzeug-, bzw. Triebwerkhersteller haben in den letzten Jahrzehnten **riesige technische Fortschritte** erzielt. Die Motoren wurden **leistungsfähiger** und **sparen** erst noch **Treibstoff**. Zudem wurden sie **leiser** und sie produzieren gleichzeitig **weniger CO₂**. Dies wird auf den nachfolgenden Arbeitsblättern gezeigt.

Als erstes wird der CO₂-Ausstoss diverser Flugzeugtypen während des LTO-Zyklus gezeigt. Der „**Landing and Take-Off Zyklus**“ beschreibt den **Schadstoffausstoss** ab einer Höhe von 900 m.ü.M. im Landeanflug (AP), während dem Rollen auf dem Flugfeld (ID), dem Start (TO) und dem Steigflug (CL) bis die Flughöhe von 900 m.ü.M. wieder erreicht ist.

Für jedes Triebwerk wird der CO₂-Ausstoss während dieses Zyklus berechnet. Dieses Modell des LTO-Zyklus macht die Flugzeuge **vergleichbar**. Es entspricht jedoch nicht ganz der Realität: Die Flugzeuge **starten heutzutage selten mit voller Leistung**. Das heisst, neuere Flugzeuge sind noch effizienter als die nachfolgenden Berechnungen aufzeigen.

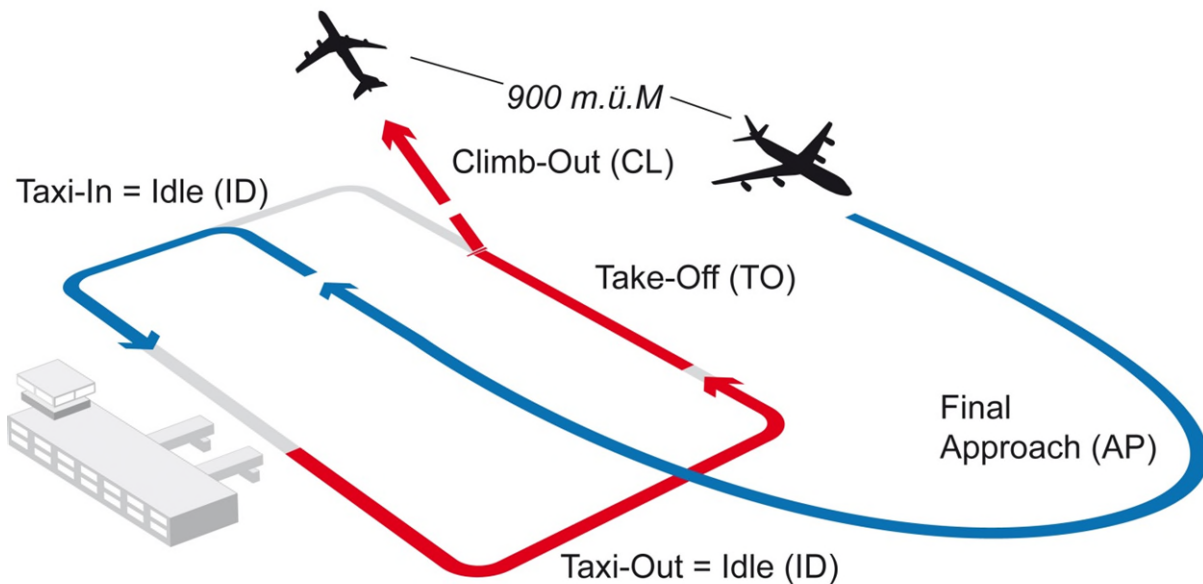


Tabelle mit Modellannahmen für den LTO-Zyklus

Operating Mode (e)	Betriebsart (d)	Schubkraft (F ₀₀)	Zeit pro Betriebsart (in min)
Take-Off		100%	0,7
Climb		85%	2,2
Approach		30%	4,0
Taxi / Idle		7%	26,0

Umweltschutz am Flughafen

Arbeitsmaterial



Berechne mit Hilfe eines Taschenrechners für jeden Flugzeugtyp den CO₂-Ausstoss pro Sitzplatz.
CO₂-Ausstoss im LTO-Zyklus : Anzahl Sitzplätze = CO₂ / Sitz.

Setze das Ergebnis in die letzte Spalte dieses Blattes ein.

Trage anschliessend auf dem 3. Blatt das Resultat in die Grafik des jeweiligen Flugzeugs ein.

	Flugzeugtyp	1. Inverkehrsetzung	CO ₂ -Ausstoss im LTO-Zyklus	Anzahl Sitzplätze	CO ₂ / Sitz*
	Boeing 747-200 „Jumbo-Jet“	1971	10'004 kg	366 kg
	Douglas DC-8	1959	5'872 kg	117 kg
	Boeing 747-400 neuerer "Jumbo-Jet"	1989	10'445 kg	412 kg
	Fokker F28	1968	1'972 kg	60 kg
	Boeing 777-300	1990	8'127 kg	364 kg
	BAe 146-300 Avro RJ100	1983	2'041 kg	100 kg
	Airbus A319	1996	2'180 kg	124 kg
	Ilyushin IL-18D	1960	7'560 kg	122 kg
	Airbus A380-800	2007	11'756 kg	525 kg

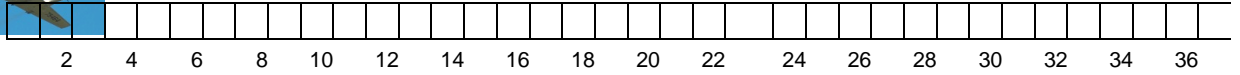
* ohne Einberechnung der Fracht und der Flugstrecke

Umweltschutz am Flughafen

Arbeitsmaterial



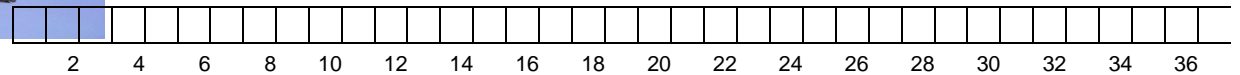
Ilyushin
IL-18D



_____ g pro Sitzplatz



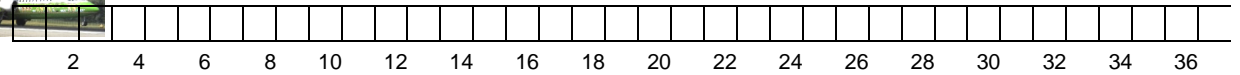
Fokker
F28



_____ g pro Sitzplatz



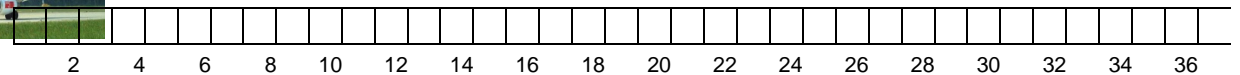
BAe
146-300
Avro
RJ100



_____ g pro Sitzplatz



Airbus
A319



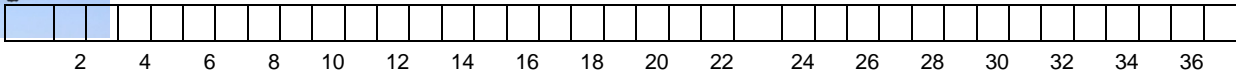
_____ g pro Sitzplatz

Umweltschutz am Flughafen

Arbeitsmaterial



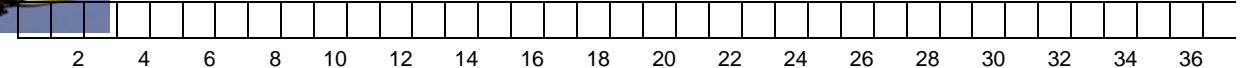
Douglas DC-8



_____ g pro Sitzplatz



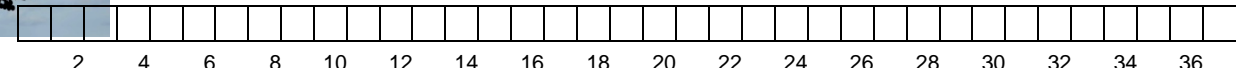
Boeing 747-200 „Jumbo-Jet“



_____ g pro Sitzplatz



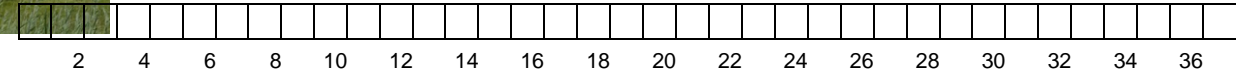
Boeing 747-400 neuerer "Jumbo-Jet"



_____ g pro Sitzplatz



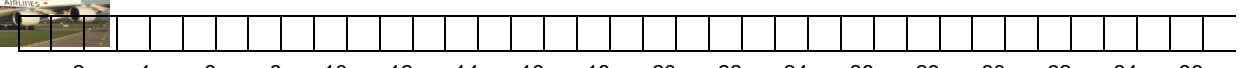
Boeing 777-300



_____ g pro Sitzplatz



Airbus A380-800



_____ g pro Sitzplatz

Umweltschutz am Flughafen

Lösungsvorschlag



Anregung, wie die Aufgabe gelöst werden könnte

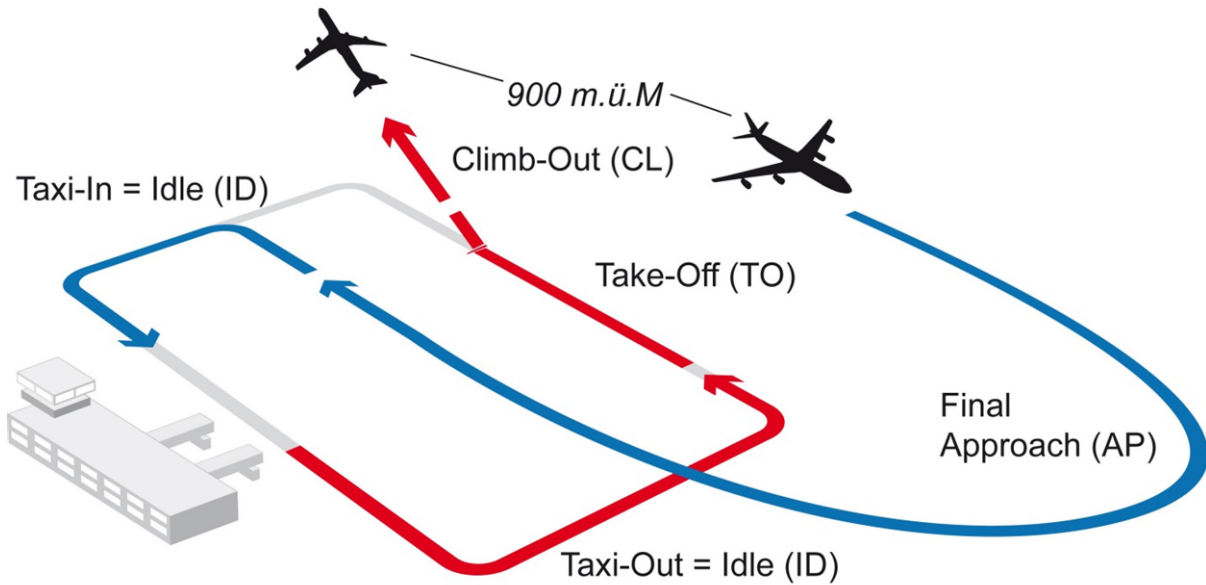


Tabelle mit Modellannahmen für den LTO-Zyklus

Operating Mode (e)	Betriebsart (d)	Schubkraft (F_{00})	Zeit pro Betriebsart (in min)
Take-Off	Start	100%	0,7
Climb	Steigflug	85%	2,2
Approach	Landeanflug	30%	4,0
Taxi / Idle	Rollen (auf dem Flugfeld)	7%	26,0

Umweltschutz am Flughafen

Lösungsvorschlag



Berechne mit Hilfe eines Taschenrechners für jeden Flugzeugtyp den CO₂-Ausstoss pro Sitzplatz. **CO₂-Ausstoss im LTO-Zyklus : Anzahl Sitzplätze = CO₂ / Sitz.** Setze das Ergebnis in die letzte Spalte dieses Blattes ein. Trage anschliessend auf dem 3. Blatt das Resultat in die Grafik des jeweiligen Flugzeugs ein.

Flugzeugtyp	1. Inverkehrsetzung	CO ₂ -Ausstoss im LTO-Zyklus	Anzahl Sitzplätze	CO ₂ / Sitz*
 Boeing 747-200 „Jumbo-Jet“	1971	10,004 kg	366	27,33 kg
 Douglas DC-8	1959	5,872 kg	117	50,19 kg
 Boeing 747-400 neuerer "Jumbo-Jet"	1989	10,445 kg	412	25,35 kg
 Fokker F28	1968	1,972 kg	60	32,87 kg
 Boeing 777-300	1998	9'734 kg	364	26,74 kg
 BAe 146-300 Avro RJ100	1983	2,041 kg	100	20,41 kg
 Airbus A319	1996	2,180 kg	124	17,58 kg
 Ilyushin IL-18D	1960	7,560 kg	122	61,97 kg
 Airbus A380-800	2007	11,756 kg	525	22,39 kg

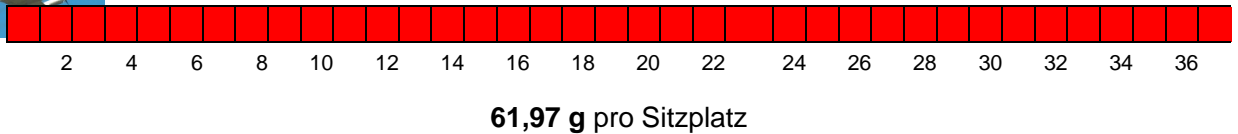
* ohne Einberechnung der Fracht und der Flugstrecke

Umweltschutz am Flughafen

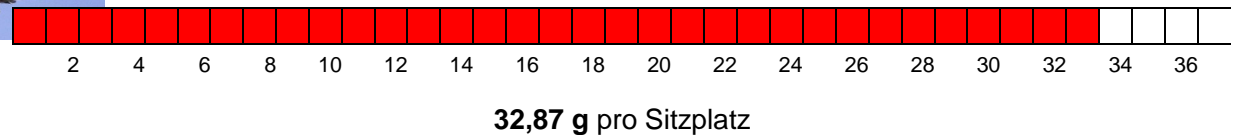
Lösungsvorschlag



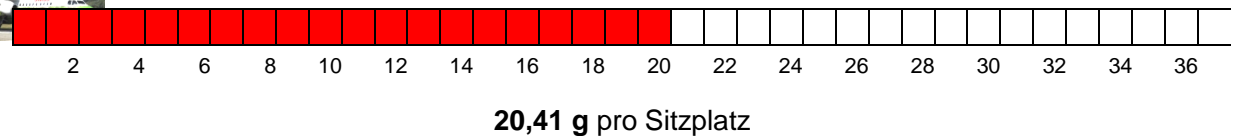
Ilyushin
IL-18D



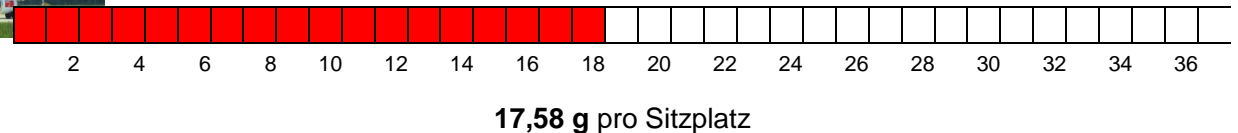
Fokker
F28



BAe
146-300
Avro
RJ100



Airbus
A319

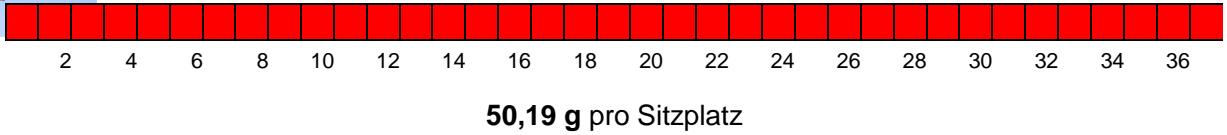


Umweltschutz am Flughafen

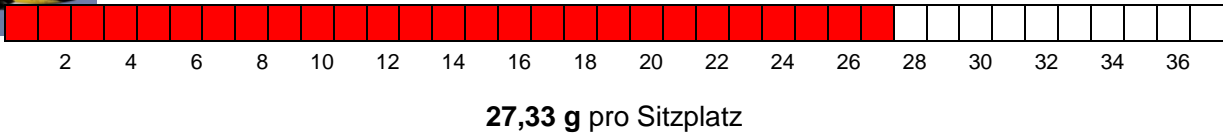
Lösungsvorschlag



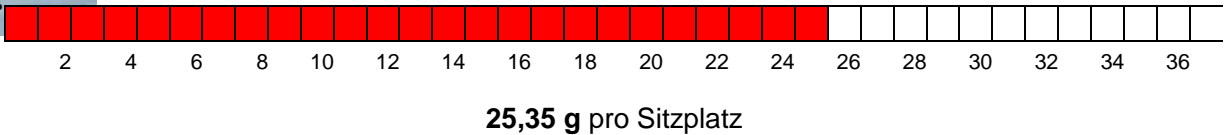
Douglas
DC-8



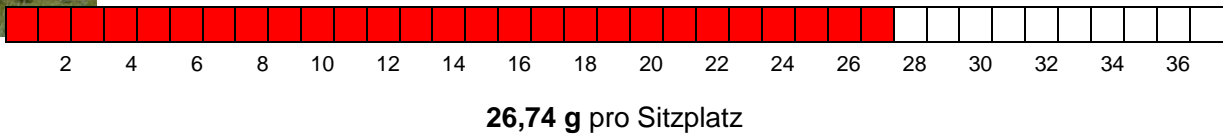
Boeing
747-200
„Jumbo-
Jet“



Boeing
747-400
neuerer
"Jumbo-
Jet"



Boeing
777-300



Airbus
A380-
800

