

## „Große Arbeitsobjekte“ in Flugzeugbau und -wartung

Kurt LANDAU<sup>1</sup>, Sylvie NADEAU<sup>2</sup>, Hamed SALMANZADEH<sup>3</sup>, Bettina ABENDROTH<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Institut für Arbeitswissenschaft, TU Darmstadt  
Otto-Berndt-Straße 2, D-64287 Darmstadt*

<sup>2</sup> *Département de génie mécanique, École de technologie supérieure (ÉTS)  
1100 Rue Notre Dame O, Montréal, QC H3C 1K3, Canada*

<sup>3</sup> *Faculty of Industrial Engineering, K. N. Toosi University of Technology  
Mirdamad Blvd, No. 470, Tehran, Iran*

**Kurzfassung:** Im Flugzeugbau und auch in der Flugzeugwartung führen die durchweg großen Bauteile zu besonderen Herausforderungen bei Arbeitsbelastung, -beanspruchung und Arbeitssicherheit. Der Terminus „große Bauteile“ ist jedoch nicht hinreichend präzise definiert. Es wurde deshalb ein exploratives Expertenpanel (6 männliche und 6 weibliche Diplom-Ingenieure aus Forschung und Praxis) für insgesamt 22 vermutete Größenmerkmale anhand von 12 Bauteil-Abbildungen (7 Luftfahrtbereich, 5 verarbeitendes Gewerbe) durchgeführt.

Die Belastungen durch Zwangshaltungen, insbesondere Kniehaltungen und Überkopfarbeit, extensive Armreichweiten sowie sicherheitstechnische Gestaltung wurden bezüglich des Kriteriums „große Arbeitsobjekte“ höher eingestuft als die Vergleichsarbeitsplätze aus dem verarbeitenden Gewerbe. Bei den erforderlichen Aktionskräften und den resultierenden Umweltbelastungen unterscheiden sich die beiden Stichproben jedoch nicht. Auf die der Bauteilgröße angepassten Arbeitsgestaltungsvorschläge wird eingegangen. Eine Anwendung des graphischen Beurteilungsverfahrens Design Check auf fünf Arbeitsplätze des militärischen Flugzeugbaus erhärtet die Befunde des Expertenpanels.

**Schlüsselwörter:** Große Bauteile, Expertenpanel, Belastungsanalyse, Design Check, Gestaltungsvorschläge, Übungsgrad

### 1. Arbeitssysteme im Flugzeugbau

Es wäre vermessen, in umfassender Weise in einem einzigen Vortrag auf Arbeitssysteme im Flugzeugbau einzugehen. Wir beschränken uns daher auf die folgenden zwei Teilaspekte:

1. Welche Rolle spielen „große Arbeitsobjekte“ im Hinblick auf die durch sie auf die Arbeitspersonen einwirkenden „typischen“ Belastungen?
2. Wir befassen uns dabei ausschließlich mit der Ergonomie und diskutieren technische und organisatorische Einflussgrößen nur soweit, als sie für die Belastung der Arbeitspersonen relevant sind.

Abbildung 1 zeigt als Beispiel eines großen Arbeitsobjektes Arbeiten am Teil einer Flugzeugschale.

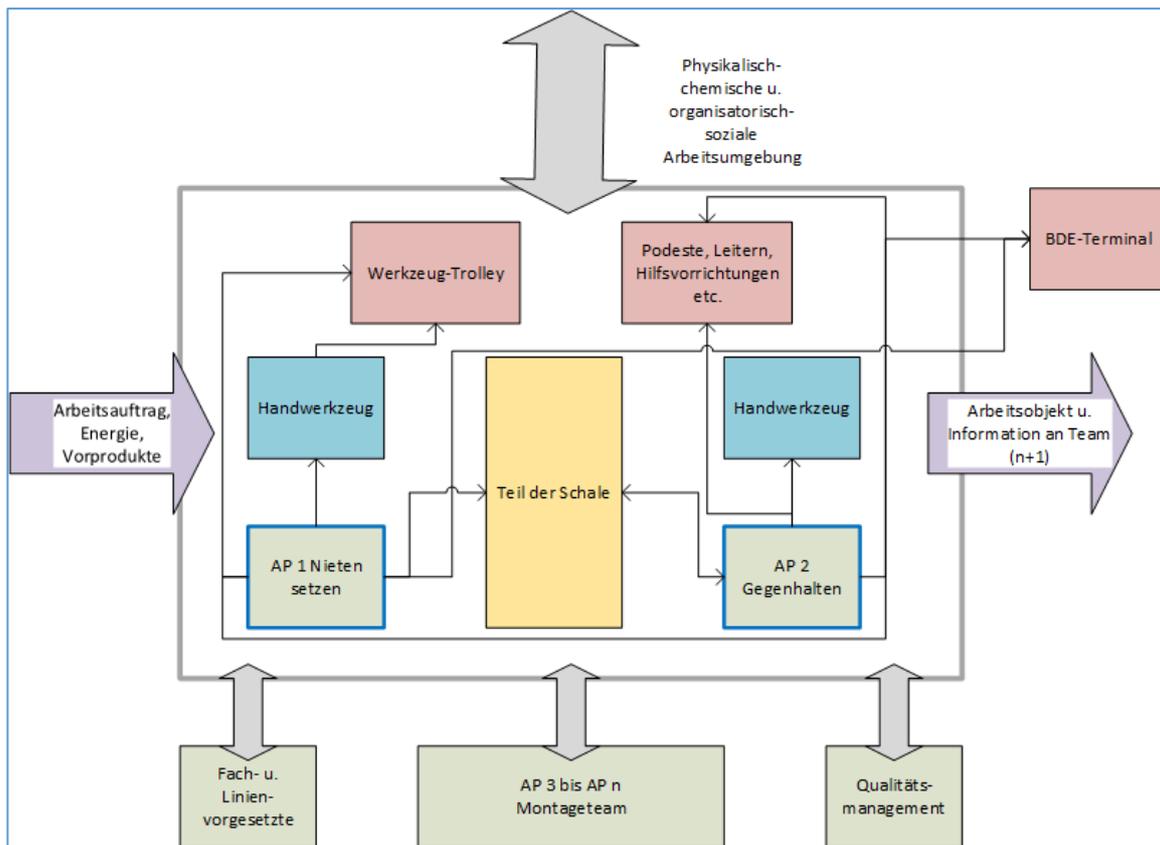


Abbildung 1: Beispiel eines großen Arbeitsobjekts in der Flugzeugmontage

Widmen wir uns zunächst den Arbeitssystemen im Flugzeugbau, ehe wir auf die Eigenschaft „groß“ näher eingehen.

Abbildung 2 zeigt eine stark vereinfachte Darstellung eines Arbeitssystems „Nieten und Gegenhalten“. Zwei Arbeitspersonen setzen Nieten und benutzen dafür bestimmte Handwerkzeuge, Podeste, Leitern, Vorrichtungen u. a. Sie holen und legen ihre Werkzeuge auf einem Trolley ab, sie kommunizieren mit anderen Personen ihres Montageteams, mit Vorgesetzten und dem Qualitätsmanagement. Sie benötigen Energie, Informationen und Vorprodukte und stellen selbst wiederum ein Vorprodukt im Stadium (n+1) her. Sie machen Eingaben in einem BDE-Terminal. Sie sind physikalisch-chemischen und organisatorisch-sozialen Umgebungseinflüsse ausgesetzt und produzieren selbst wiederum solche Umgebungseinflüsse.

Bei der Klärung des Arbeitsobjektes gibt es Widersprüche: Sind es die kleinen Nieten oder ist es das große Rumpfteil? Aus ergonomischer Sicht – also bei der Betrachtung der Belastungen und Beanspruchungen - ist es das Rumpfteil, die Nieten sind lediglich Hilfsmittel.



**Abbildung 2:** Beispiel eines Arbeitssystems im Flugzeugbau

Diese Arbeitssystem-Darstellung nimmt nur in zwei Fällen auf die Größe des Arbeitsobjektes Bezug: Zum einen ist es der Teil einer Flugzeugschale, zum anderen wird auf Podeste und Leitern hingewiesen, die wegen der räumlichen Ausdehnung des Arbeitsobjektes notwendig sind. Besondere Aspekte im Hinblick auf Körperhaltungen, Aktionskräfte, Lastenhandhabung, Sichtgeometrie, Arbeitssicherheit usw. bleiben bei der Arbeitssystemdarstellung aber im Dunkeln.

Anlässlich der Herbstkonferenz 2016 in Hamburg wurde umfassend über die Produktionsbedingungen im Flugzeugbau referiert (GfA 2016, z. B. auch Gröllich et al 2016), die damaligen Befunde sollen hier nicht wiederholt werden.

## 2. „Große Arbeitsobjekte“

In (1) stehen zwei Begriffe bewusst in Anführungszeichen: „große“ Arbeitsobjekte und „typische“ Belastungen. In beiden Fällen handelt es sich um mehrdeutige Ausdrücke, die im Weiteren präzisiert werden müssen. Der Jurist würde sagen, es handelt sich um unbestimmte Rechtsbegriffe, die der Auslegung bedürfen. Stellen wir uns z. B. einen Uhrmacher vor: Er würde eine Wanduhr als „großes Arbeitsobjekt“ bezeichnen. Diese Festlegung würde uns im Flugzeugbau aber gehörig in die Irre führen.

Wörterbücher definieren „groß“ folgendermaßen: *in Ausdehnung [nach irgendeiner Richtung] oder Umfang den Durchschnitt oder einen Vergleichswert übertreffend.* Diese Definition bezieht sich also auf den Durchschnitt oder einen Vergleichswert. Man könnte in Bezug auf die körperliche Ausdehnung einen Durchschnittswert z. B. im verarbeitenden Gewerbe bilden und die Arbeitsobjekte im Flugzeugbau dazu in

Beziehung setzen. Für einen Ergonomen wäre diese Vorgehensweise aber wenig befriedigend. Wir haben deshalb ein exploratives Expertenpanel aus dem verarbeitenden Gewerbe bzw. Technischen Universitäten gebildet und dieses um (schriftliche) ergonomische Wahrscheinlichkeitsaussagen (0...1) gebeten. Die Stichprobe bestand aus 6 weiblichen und 6 männlichen Probanden. Das durchschnittliche Alter betrug 38,1 Jahre ( $s = 15,03$ ). Es handelte sich um 6 Diplom-Ingenieure mit langjähriger Industrieerfahrung und 6 wissenschaftliche Mitarbeiter zweier Technischen Universitäten, ebenfalls aus dem Ingenieurbereich.

Tabelle 1 listet 22 Kriterien – unterteilt nach Kriteriengruppen - auf, die zugleich auch als Arbeitshypothesen zur Präzisierung des Größenmerkmals aufgefasst werden können.

**Tabelle 1:** Vermutete Größenmerkmale, zugleich auch Arbeitshypothesen

Zuordnung	Kriterium
Fabrik-Layout + Betriebsmittel	Kann nur mit Kran bewegt werden
	Normaler Gabelstapler reicht zum Transport nicht aus
	Bearbeitung erfordert Leiter, Podest oder Trittstufe
	Arbeitsobjekt kann nicht auf Arbeitstisch abgelegt werden
	Häufig Hilfsvorrichtungen erforderlich
Organisation	Arbeitswechselkonzepte der Arbeitspersonen sind typisch
	Lange Auftragszeiten durch umfangreiche Hol- und Bringvorgänge von Werkzeugen und Hilfsmitteln
	Große Abweichungen zwischen $t_{\text{plan}}$ und $t_{\text{ist}}$
	Eher niedrige Übungsgrade der Arbeitspersonen bedingt durch kleine Stückzahlen
Körperliche Belastung	Sitzende Arbeitsweise nicht möglich
	Häufige Knie- und Hockhaltungen
	Erschwerte Kniehaltungen auf unebenen Unterlagen
	Hohe Aktionskräfte
	Länger andauerndes Halten eines Arbeitsgegenstandes od. Werkzeuges
	Lange Arbeitswege innerhalb des Werkes
	Hohe Arbeitsenergieumsätze
	Häufige Arbeit oberhalb des Herzens
	Überstreckte Kopfhaltungen
	Arbeiten an den Grenzen der Armreichweite
	Mangelhafte Sichtgeometrie
	Aus Bearbeitung des Arbeitsobjekts resultieren unmittelbar physikalisch-chemische Belastungen (z. B. Lärm, Vibrationen, Schadstoffe)
	Beschwerden und Erkrankungen

Wir haben dem Panel 12 verschiedene Arbeitssituationen (fotogestützt) – aus Gründen der Eichung nicht nur aus Flugzeugbau und -wartung - präsentiert und um Wahrscheinlichkeitsaussagen (0,0 = trifft überhaupt nicht zu; .....1,0 trifft vollständig zu) gebeten. Dezimale Wahrscheinlichkeitsannahmen erschienen uns sinnvoll, um die Experten auf die Unsicherheit allein fotogestützter Größenbewertungen hinzuweisen und deutlich zu machen, dass eine spätere Verallgemeinerung der Ergebnisse auf „die“ großen Arbeitsobjekte nicht zulässig sein wird. Auf die begrenzte Verallgemeinerungsfähigkeit einer explorativen Befragung sei also ausdrücklich hingewiesen.

Folgende Arbeitssystembeispiele wurden dem Panel vorgelegt (Tabelle 2):

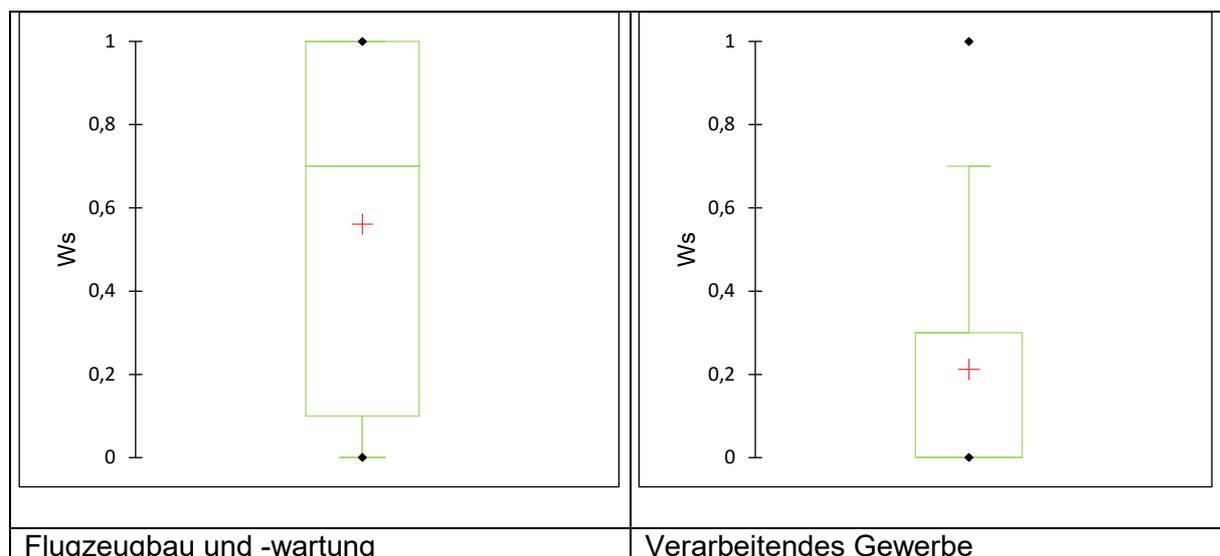
**Tabelle 2:** Arbeitssysteme der Fotodokumentation für Expertenpanel

Flugzeugbau und -wartung	Verarbeitendes Gewerbe
1 Instandhaltung Flugzeugtriebwerk	4 Tiefgezogene Lebensmitteldosen aus Magazin nehmen und in Karton einlegen
2 Vormontage-Arbeitsplatz bei Flugzeughersteller	5 Montage Küchenschränke bei Küchenhersteller
3 Entsorgung auf Doha-Airport	6 Auspuff montieren bei PKW-Hersteller
8 Flugzeugbeladung – Koffer in niedrigem Laderaum verstauen	7 Schweißarbeiten am Maschinengestell
9 Flugzeug enteisen	10 Gussgehäuse umsetzen
11 Lack, Dicht- und Reinigungsarbeiten, Entgraten Flap track bei Flugzeughersteller	
12 Bohren, Nieten u.a an Flugzeug-Unterschale bei Flugzeughersteller	

Wir haben versucht, mit dieser Stichprobe eine Bandbreite der Arbeitsobjekte abzubilden (z. B. beim verarbeitenden Gewerbe von den kleinen Lebensmitteldosen bis zu schweren Gussgehäusen). Selbstverständlich wird mit der Auswahl dieser 12 Arbeitssysteme keinerlei Repräsentanz für die beiden Grundgesamtheiten beansprucht. Wie die Nummerierung in Tabelle 2 zeigt, wurden die Arbeitssysteme dem Panel in vermischter Weise präsentiert.

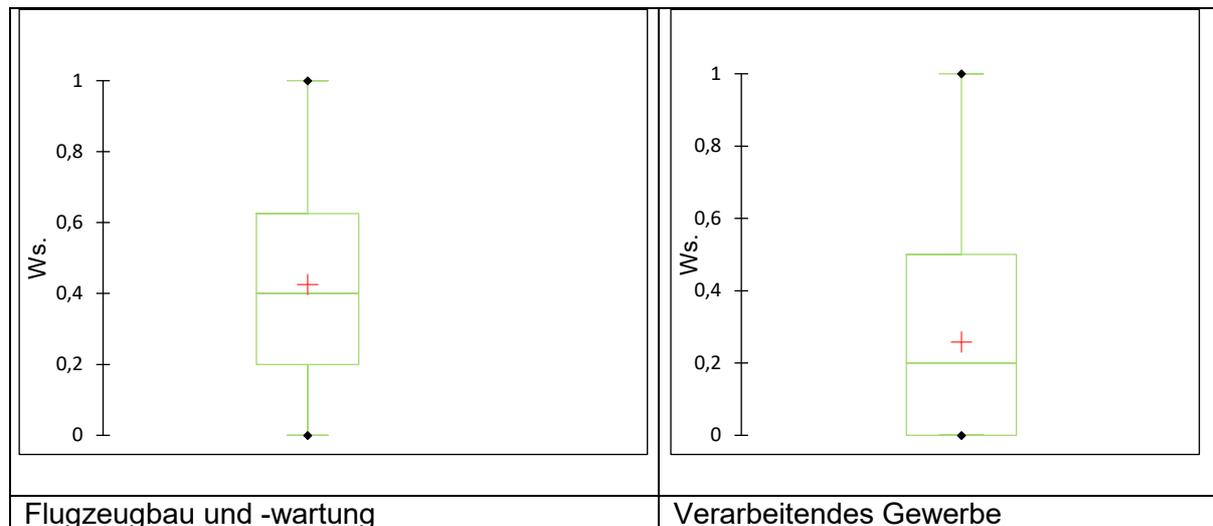
Da die erhobenen Beurteilungsdaten des Panels erwartungsgemäß keiner Normalverteilung folgen, wurden die Streuungen der Befragungswerte nicht als Varianz, sondern als Box plots dargestellt.

Abbildung 3 macht die Unterschiede in der Werteverteilung bezüglich Fabrik-Layout und Betriebsmittel deutlich. Die Arbeitsobjektgröße wird für die Arbeitssysteme in Flugzeugbau und -wartung mit erheblich höherer Relevanz eingestuft als bei den Arbeitssystembeispielen aus dem verarbeitenden Gewerbe.



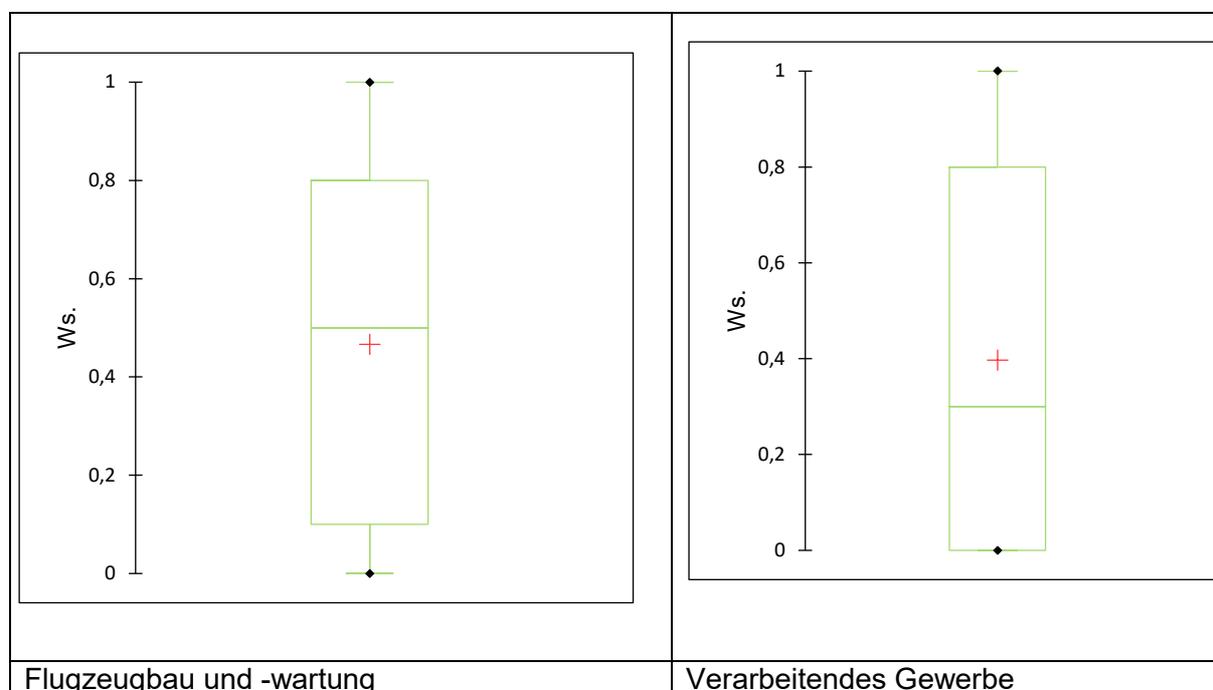
**Abbildung 3:** Box plots für fünf Merkmale (s. Tabelle 1) zu Fabrik-Layout und Betriebsmittel (jeweils 12 Beurteiler)

Auch die Betrachtung der Arbeitsorganisations-Merkmale zeigt die Verschiebung der Arbeitsobjektgrößenmerkmale hin zu höheren Beurteilungswahrscheinlichkeiten in Flugzeugbau und -wartung (Abbildung 4).



**Abbildung 4:** Box plots für vier Merkmale (s. Tabelle 1) zur Arbeitsorganisation (jeweils 12 Beurteiler)

Der Belastungsvergleich für die eigentlichen Ergonomie-Merkmale (s. Tabelle 1, körperliche Belastungen) zeigt zwar einen nicht so deutlichen Unterschied zwischen den Einstufungen wie bei den vorangegangenen Wertungen des Expertenpanels (Abbildung 5). Der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test ( $p < 0,0001$ ;  $\alpha = 0,05$ ) führt zur Ablehnung der Hypothese auf Gleichheit der beiden Stichproben aus Flugzeugbau/-wartung und dem verarbeitenden Gewerbe.



**Abbildung 5:** Box plots für 12 Merkmale (s. Tabelle 1) zur physischen Belastung (jeweils 12 Beurteiler)

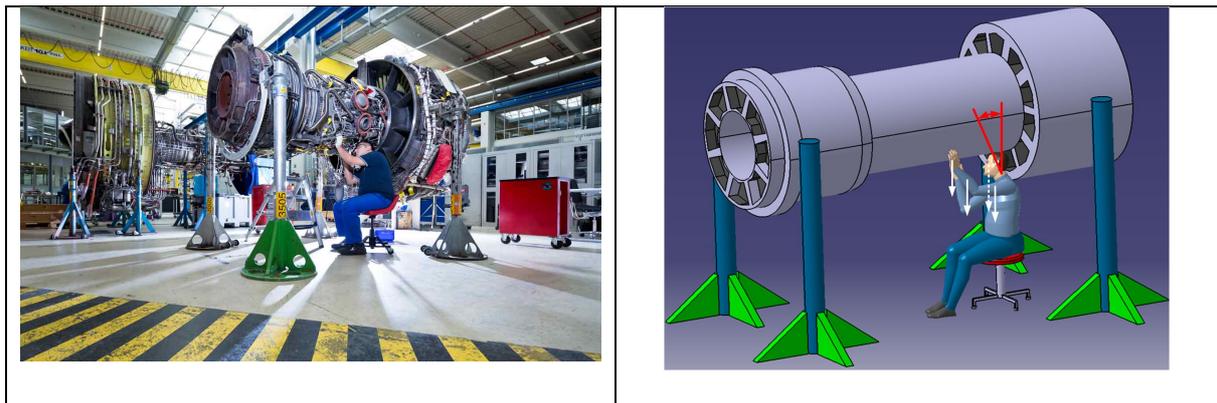
Die Auswertung des Expertenpanels ergibt – von wenigen Ausnahmen abgesehen - eine deutliche Assoziation zwischen den (vermuteten) Merkmalen zur Arbeitsobjektgröße und den Gegebenheiten in Flugzeugbau und -wartung bezüglich Layout, Betriebsmittel, Arbeitsorganisation und Belastung.

Im Folgenden gehen wir exemplarisch auf ausgewählte Merkmale ein:

### 3. Überkopfarbeit

Die Ergebnisse der Panelbefragung weisen auf die Assoziation großer Bauteile mit Überkopfarbeit hin. Ein Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test ( $p=0,016$ ,  $\alpha=0,05$ ) führt zur Ablehnung der Hypothese auf zwei gleiche Verteilungen. Das heißt, dass das Expertenpanel bei Flugzeugbau und -wartung mit einem höheren Anteil von Überkopfarbeit als bei den Beispiel-Arbeitssystemen des verarbeitenden Gewerbes rechnet.

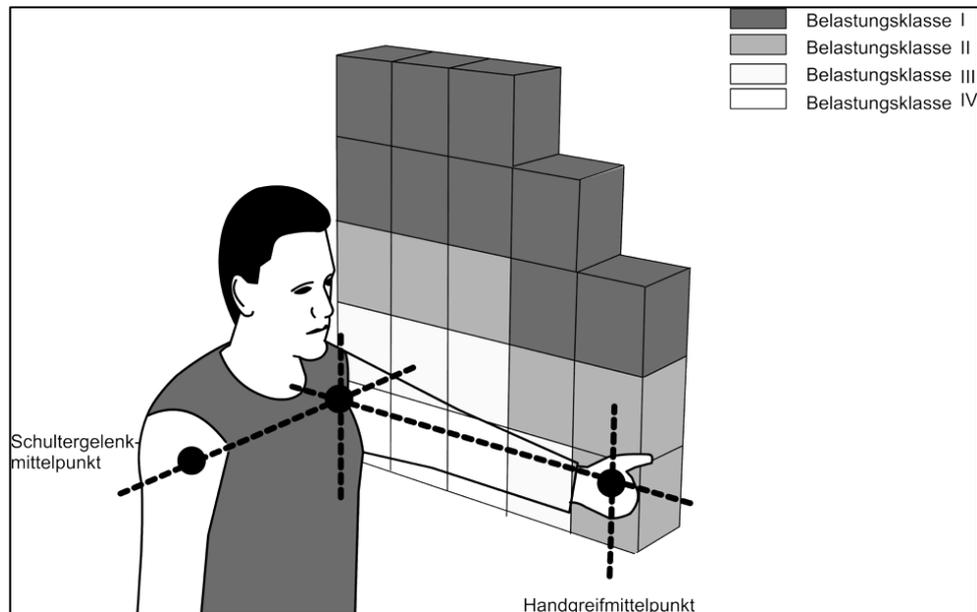
Abbildung 6 zeigt als Beispiel Instandhaltungsarbeiten an einem Flugzeugtriebwerk. Neben der Arbeit des Hand-Arm-Systems oberhalb des Herzens spielt die seitliche Neigung des Oberkörpers sowie die seitlich geneigte und tordierte, gelegentlich auch überstreckte Kopfhaltung eine Rolle. Die Gewichtskräfte von Kopf, Armen, von Teilen des Rumpfes und des Werkzeugs sind zu übernehmen.



**Abbildung 6:** Instandhaltung Flugzeugtriebwerk (Foto links: Weinzierl 2021/MTU)

Überkopfarbeit wurde bereits in einem früheren GfA-Vortrag von Weidner et al. (2016) thematisiert. Weiterhin sei auf die Konferenz zu technischen Unterstützungssystemen bei Überkopfarbeit hingewiesen (Weidner 2016).

„Große Arbeitsobjekte“ bedeutet häufig „Anpassung des Menschen an die Arbeit“ – nicht umgekehrt, wie es unser Ziel in der Ergonomie ist. Das äußert sich vor allem in einer an das Arbeitsobjekt angepassten Körperhaltung – im Regelfall eine Zwangshaltung, wie aus dem obigen Bild ersichtlich. Die Haltungsbewertung nach Bier (1991) zeigt, dass die Arbeitsperson im ungünstigsten Sektor mit der Belastungsklasse I arbeitet.



**Abbildung 7:** Belastungsklassen bei der Arbeit oberhalb des Herzens (Bier 1991)

Wenden wir alternativ z. B. das Haltungsbewertungs-Werkzeug REBA (Hignett, McAtamney 2000) auf diese Position an, so kommen wir im Arbeitssystem von Abbildung 6 auf einen Summenwert von mindestens 12 – also einen Wert in der höchsten Risikostufe. Arbeitsgestaltungsmaßnahmen wären hier zwingend. Das Repertoire der Gestaltungsmaßnahmen ist jedoch gering. Ein Kippen der Turbine um 90° würde die Situation nicht nennenswert verbessern. Manipulatoren, wie sie von unseren Dresdner Kollegen bereits labormäßig erprobt wurden (Grölllich et al 2016), kommen wegen der Komplexität der Prüf- und Justagevorgänge kaum in Betracht. Es bleibt lediglich der Einsatz eines Exoskeletts zur Unterstützung der Arbeitspersonen bei ihrer statischen Halte- und Haltungsarbeit.

#### 4. Hand-Arm-Schwingungen und Ankoppelungskräfte

Das Setzen von Nieten in großer Stückzahl an einer Flugzeugschale führt zu beachtlichen Hand-Arm-Schwingungen und hohen Ankoppelungskräften (s. a. Abbildung 1). Die Einwirkungsdosis hängt von der Einwirkrichtung, Amplitude, Frequenz und Stoßhaltigkeit sowie der Expositionsdauer ab. es gibt mehrere mitwirkende Belastungsfaktoren, insbesondere die jeweilige Körperhaltung und die Ankoppelungskraft. Die Ankoppelungskraft summiert sich aus Greifkraft und Andruckkraft. Messungen von Kaulbars (2010) kommen für herkömmliche, ungedämpfte Niethämmer zu folgenden Ergebnissen:

- Frequenzbewertete Beschleunigung: 5,4 bis 11,5 m/s<sup>2</sup>
- Die Tagesdosis (Auslösewert) von 2,5 m/s<sup>2</sup> wird ab 530 Nietvorgängen überschritten
- Der Expositionsgrenzwert von 5 m/s<sup>2</sup> wird nach 2010 Nietvorgängen erreicht.

Die höheren Belastungen treten beim Gegenhalter auf. Sind die Platzverhältnisse gegeben, können vibrationsgedämpfte Gegenhalter eingesetzt werden. Blindnietpistolen können die Vibrationsbelastung erheblich senken. Soweit platzmäßig und

technisch durchführbar können kollaborierende Roboter zum Nieten eingesetzt werden (s. (8)).

Ein Vergleich der beiden Stichproben bezüglich der Aktionskräfte weist daraufhin, dass sich die beiden Stichproben nicht unterscheiden (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test  $p=0,239$ ,  $\alpha=0,05$ ). Es können demnach für Flugzeugbau und -wartung anhand der Expertenmeinungen keine höheren Aktionskräfte als bei den Beispielen aus dem verarbeitenden Gewerbe unterstellt werden. Bei den resultierenden Umweltbelastungen (z. B. Hand-Arm-Schwingungen) unterscheiden sich die beiden Stichproben ebenfalls nicht (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test  $p=0,866$ ,  $\alpha=0,05$ ).

## 5. Übungsgrad und Lernkurven

Haben „große Arbeitsobjekte“ einen negativen oder positiven Einfluss auf den Übungsgrad der Arbeitspersonen? Der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test ( $p= 0,047$ ,  $\alpha=0,05$ ) weist auf unterschiedliche Verteilungen der beiden Experten-Stichproben hin. In Flugzeugbau und -wartung kann man also mit anderen (niedrigeren) Übungsgraden bzw. Lernraten rechnen.

Seit den 1930er Jahren hat man sich – vor allem im Flugzeugbau – mit Lernkurven beschäftigt. Insbesondere Wright (1936), Crawford (1944) und de Jong (1960) haben Potenzfunktionen in Abhängigkeit von der produzierten Stückzahl abgeleitet. Liebau (2002) hat deren Ergebnisse aufbereitet und mit überaus zahlreichen Beispielen aus der Flugzeugindustrie illustriert.

Die Lernkurve beschreibt den degressiven Verlauf des Fertigungsaufwands bei ständiger Wiederholung gleicher oder ähnlicher Fertigungsvorgänge innerhalb einer kontinuierlichen Fertigung:

Lernkurve = f (Planung, Fertigungsorganisation, manuelle Fertigkeiten der Arbeitspersonen)

Der direkte Fertigungsaufwand (Kosten, Zeiten und Materialeinsatz) sinkt im Zeitablauf mit zunehmender Anzahl produzierter Bauteile (Liebau, 2002, S. 2 u. 6):

$$y = a \cdot x^{-b}$$

Mit

y = Fertigungsstunden

a = Fertigungszeit für das erste Bauteil

x = Anzahl Bauteile

b = Degressionsfaktor

Zu Beginn einer Fertigung ist der Arbeitsaufwand pro gefertigtes Bauteil hoch. Ursachen sind mangelnde Fertigkeiten der Arbeitspersonen, fehlerhafte oder unzureichende Fertigungsunterlagen, stockende Zulieferungen oder unvollständige Betriebsmittel. Erst mit einem stetigen Hochlauf der Fertigung werden diese Mängel geringer, weil dann organisatorische, konstruktive und fertigungstechnische Verbesserungen vorgenommen werden. Vereinfacht dargestellt gilt, dass sich bei Verdoppelung der Stückzahl x der Fertigungszeitaufwand y um eine konstante Rate verringert (Liebau 2002, S. 35):

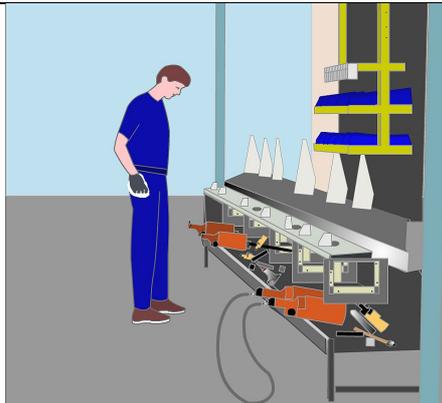
$$\text{Lernrate } L = \frac{a \cdot (2x)^b}{a \cdot x^b}$$

Die Größen der Bauteile gehen in diese Gleichung nicht ein. Maßgeblich ist dagegen, neben den oben genannten Einflussgrößen, die Seriengröße. Die Flugzeugmontage zeichnet sich – im Vergleich zu anderen Bereichen des verarbeitenden Gewerbes – durch kleine und mittlere Serien aus. Bei einzelnen Tätigkeiten, z. B. Löcher bohren oder Nieten setzen an der Flugzeugschale, gibt es jedoch sehr hohe Wiederholungsgrade. An einem Airbus der Baureihe 320 werden beispielsweise bis zu 3,5 Mio. Nieten verbaut. Hierfür sind uns jedoch keine Lernraten bekannt. Es liegen lediglich Werte für die gesamte Endmontage vor. Die Lernrate bei der Endmontage im Vergleich zu allen anderen Tätigkeiten ist in der Flugzeugzellenindustrie am niedrigsten, nämlich 80 %. Die Lernraten liegen sonst zwischen 87 % für die Einzelteilfertigung und 98 % für die Oberflächen- und Wärmebehandlung (Liebau 2002).

## 6. Arbeitsgestaltung und Fertigungssteuerung im Militär-Flugzeugbau

Höhere Beanspruchungen des Muskel-Skelett-Systems kommen durch die Größe der Bauteile und die Montageart zustande – das wurde bereits weiter oben gezeigt. Aber die niedrige Seriengröße kann sich ebenfalls negativ auf muskulo-skelettale Belastungen und Beanspruchungen auswirken. Man konnte das bereits aus der Besprechung von Übungsgrad und Lernkurven vermuten. Die Ablaufplanung und Fertigungssteuerung sind eher wenig ausgefeilt. Es kann zu sehr vielen unproduktiven Hol- und Bringvorgängen von Werkzeugen und Bauteilen kommen. Wir zeigen dies an einem Beispiel der Montage und Vormontage von Militärflugzeugen. Betrachtet wurden die folgenden Arbeitssysteme (Tabelle 3):

**Tabelle 3:** Überblick zu den Arbeitssystemen für die Design Check-Einstufung

Nr.	Arbeitssystem	Darstellung	Design Check Punktzahl
1	Flap Track FQT C 58		180

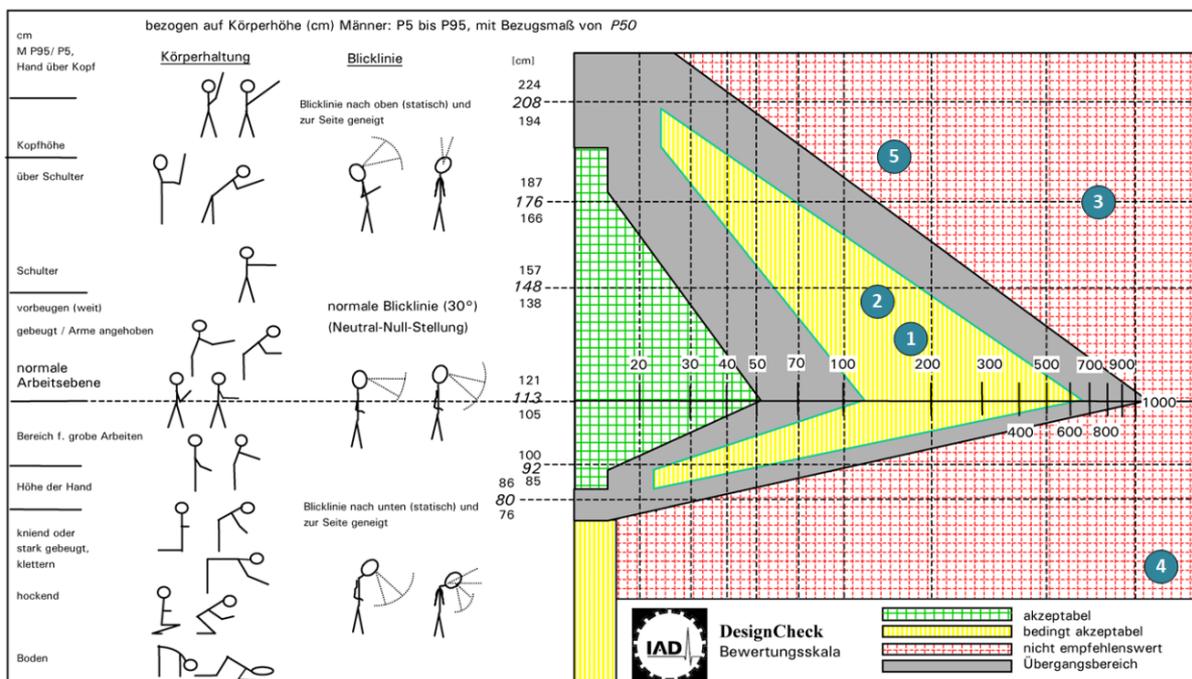
2	Flap Track Ausrüstung FT 2		148
3	Unterschale Section 16 Schubbleche (aufrecht)		768
4	Unterschale Section 16 (knieend)		952
5	Kabelbrettmontage		152

Wir verwenden zur Belastungsbeurteilung das einfache System *Design Check* (Schaub et al. 1999). Der Vorteil dieses Systems liegt in der graphischen Ergebnisdarstellung nach dem Ampelsystem. In der Vertikalen wird die Körperhaltung der Arbeitspersonen aufgetragen und bewertet, in der Horizontalen sind die übrigen

wesentlichen muskulo-skelettalen Belastungen als Punktwert dargestellt. Wie bei allen summarischen Verfahren können sich bei den Belastungspunkten positive und negative Bewertungen ausgleichen. Dies ist ein Nachteil von Design Check.

Liegt ein Arbeitssystem zum Beispiel im roten Bereich, so ist die Frage zu beantworten, was Arbeitsplaner und Arbeitsgestalter tun müssen, um mit einer Modifikation der Körperhaltung und/oder der übrigen Belastungspunkte in den grünen Bereich zu kommen. Ebenso wird damit auch die Verhaltensergonomie der Arbeitspersonen angesprochen. Design Check eignet sich deshalb sehr gut, in Brainstorming-Sitzungen mit Planern, Gestaltern und betroffenen Arbeitspersonen Alternativlösungen zu erarbeiten. Die Vorgehensweise ähnelt derjenigen, wie wir sie aus der Wertanalyse und Wertgestaltung kennen.

Abbildung 8 zeigt das zusammengefasste Ergebnis der Design Check-Anwendung. Die beiden Arbeitssystem Nr. 1 und Nr. 2 sind Steharbeitsplätze im gelben Ampelbereich. Die Körperhaltungen sind aufrecht, mit geneigtem, teilweise tordiertem Kopf. Die Belastungspunkte kommen im Wesentlichen durch die physikalischen Umgebungsbedingungen zustande: Lärm und Anschaltmomente der Werkzeuge. Die Präsentation des umfangreichen Werkzeugsortiments könnte deutlich verbessert werden (mangelhafte Werkzeugordnung in Tabelle 3, Bild Nr. 1 vs. Abbildung 9).



**Abbildung 8:** Lokalisation der untersuchten Arbeitssysteme im Design Check-Tableau



**Abbildung 9:** Geordnete Darbietung der notwendigen Fügwerkzeuge (Bild: Bokranz, Landau 2012)

Mit der Verbesserung dieser Kritikpunkte wäre es möglich, die Arbeitssysteme in den grauen Übergangsbereich zwischen gelb und grün zu verschieben. Bei den Arbeitssystemen Nr. 3 und Nr. 4 handelt es sich wirklich um „große Arbeitsobjekte“. Hol- und Bringvorgänge von Werkzeugen und Hilfsmittel sind hier typisch. Arbeitssystem Nr. 3 liegt im tiefroten Bereich. Dies hat eine Fülle von Ursachen, die von der unsicheren Stehhaltung (z. T. auch Arme oberhalb des Herzens), über verbesserungswürdige Arbeitssicherheit bis zu den Rückschlagkräften beim Nieten setzen reichen. Verbesserungen könnte man nur durch den Einsatz kollaborativer Roboter (s. (8)) erzielen. Arbeitssystem Nr. 4 ist von den untersuchten Arbeitssystemen am kritischsten zu bewerten. Schwenken der Schale würde keine wesentlichen Verbesserungen bringen. Auch hier bietet sich eventuell einen automatisierten Werkzeugeinsatz an, letztlich bleibt aber nur das (verbindliche) Tragen eines Knieschutzes. Arbeitssystem Nr. 5 ist am leichtesten zu verbessern. Die Arbeit oberhalb des Herzens kann v. a. für Frauen von P5 bis P50 mit einem einfachen Rollpodest vermieden werden. Zudem ist der Anstellwinkel des Bestückungsrahmens zu erhöhen, um das Arbeiten an den Grenzen der Armreichweite zu vermeiden. Das würde auch die Sichtgeometrie verbessern.

## 7. Flugzeugwartung am Beispiel Enteisung

Stellvertretend für die mannigfaltigen Wartungsvorgänge an Flugzeugen haben wir die Flugzeugenteisung näher betrachtet. Die Flugzeugenteisung am Boden ist ein entscheidender luftfahrttechnischer Wartungsschritt in der Flugvorbereitung, um eine Verschlechterung der aerodynamischen Eigenschaften des Flugzeugs und dessen Absturz zu vermeiden. Das Stichwort ist hier: "clean aircraft concept". Es handelt sich hier um das wirklich größte Arbeitsobjekt, nämlich um das gesamte Flugzeug.

Beim Enteisen müssen mehrere Akteure ihre Aktivitäten unter starken zeitlichen Einschränkungen (Günebak et al. 2015), diktiert durch die geplanten Abflüge des Flughafens (Nadeau et al. 2019), in Tages- und Abendschichten koordinieren.

Die Enteisung erfolgt in offenen Gondeln, die in der Höhe eingesetzt werden, oder auf dem schneegeräumten Boden in der Nähe der laufenden Flugzeugtriebwerke (Plonka et al. 2014, Mounet et al. 2013, Terrace et al. 2006). In Enteisungsbuchten herrscht Fahrzeugverkehr, obwohl jedes Enteisungsfahrzeug während der Enteisung eine bestimmte Position hat (Landau et al. 2017).

Die Flugzeugenteisung wird im Regelfall unter extremen Witterungsbedingungen durchgeführt. Hinzu kommt eine starke Lärmbelastung, teilweise Ganzkörperschwingungen sowie Gefahrstoffbelastung.

Die Enteisung von Flugzeugen wird hauptsächlich durch das Versprühen von in Wasser verdünnten Glykolverbindungen durchgeführt (Morinière et al. 2014).

Die am häufigsten verwendeten sind Propylenglykol (PG) (Propan-1,2-Diol, Nomenklatur der International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)) und Ethylenglykol (EG) (Ethan-1,2-Diol, IUPAC-Nomenklatur). Obwohl sie oft als nicht toxisch für den Menschen angesehen werden, haben Studien über Haut (Ödeme und Erytheme), Augen- und Atemwegsreizungen für PG (ATSDR 1997; Wieslander et al. 2001) und Augen- und Atemwegsreizungen für EG (Wills et al. 1974; LaKind et al. 1999) berichtet. Es ist daher wichtig, den direkten Kontakt zwischen Enteisungschemikalien und der Haut der Arbeitspersonen zu minimieren.

Die Enteisung ist mit einem erheblichen Sicherheitsrisiko verbunden: Es kann zu Abstürzen aus dem Korb kommen, Zusammenstöße mit anderen Körben sind möglich, ebenso der Kontakt mit Propellern.

Die Körperhaltungen, die von den Bedienern während der Enteisung eingenommen werden, sind oft nicht sehr ergonomisch (Nadeau et al. 2019, Torres Medina et al. 2016). Dennoch hat unsere Arbeit gezeigt, dass ein Risiko für muskuloskeletale Beschwerden und Erkrankungen eher gering ist (Nadeau et al. 2019). Die Körperhaltungen während der Inspektion der Flugzeugoberfläche beinhalten allerdings oft eine starke sagittale Flexion beim Bewegen des Korbes (Landau und Nadeau 2020). Zu bedenken ist auch das Eigengewicht der Sprühpistole sowie der beim Sprühen entstehende Gegendruck.

Wir haben an anderer Stelle (Landau, Nadeau 2020) die Herz-Kreislauf-Beanspruchung der betroffenen Beschäftigten untersucht. Zeit- und Bewegungsstudien von Flugzeugenteisungsarbeiten wurden in (Landau et al. 2017) berichtet. Dort werden auch die Daten der Versuchspersonen und Form und Ablauf der physiologischen Messungen dokumentiert. Der Energieumsatz für die einzelnen Aufgaben wurde gemessen (Landau et al. 2017) und schwankte - neben einigen Spitzenwerten bis zu 21 kJ/min - zwischen 4 und 13 kJ/min.

Aus den Rohdaten der Herzschlagfrequenz wurden drei verschiedene Bewertungsmaße ermittelt: WHR, HRR und ACC (Ergonomics Guide 1971; Frimat et al 1989; Müller, 1961). Verglichen wurden die arithmetischen Mittelwerte dieser Maße, sowie die Grenzkriterien der Arbeitsherzschlagfrequenz; Working Heart Rate (WHR) > 35 bpm, Heart Rate Reserve (HRR) > 33 % und Absolute Cardiac Cost (ACC) "eher schwer ...intensiv".

Die Arbeitsherzschlagfrequenz betrug im Mittel 28,95 bpm  $\pm$  12,28 bpm. Dieser Wert entspricht auch dem ACC-Mittelwert. Der Mittelwert für die HRR wurde mit  $0,372 \pm 0,16$  berechnet.

Die Grenzwerte für die HRR und die ACC-Langzeitbelastung werden in etwa 43 % aller Fälle überschritten. Im Gegensatz dazu liegen bei der WHR nur 30,6 % Überschreitungen vor. Wie erwartet, gibt es starke Unterschiede zwischen den Arbeitspersonen. Sie sind auf unterschiedliche kardio-vaskuläre Kapazitäten zurückzuführen, aber noch mehr auf die unterschiedlichen Arbeitsbelastungen und

physikalischen Umgebungssituationen. Hier spielen u. a. die Art und das Volumen des Flugverkehrs, das Wetter, die Zusammensetzung der Schichtbesetzungen und die individuelle Arbeitsweise eine Rolle. Zu den Schichtverläufen der Herzschlagfrequenz und den sich daraus ergebenden Schlussfolgerungen für die Arbeitsermüdung wird auf Landau und Nadeau (2020) verwiesen.

## 8. Ausgewählte technische Lösungen für die Handhabung großer Bauteile bei der Flugzeugzellenfertigung

### 8.1 Sauggreifer

Greifer mit beweglich angeordneten Saugnäpfen können geometrisch verschiedene Flugzeugteile, z. B. schalenförmige Teile mit unterschiedlichen Krümmungen, aufnehmen (MM Maschinenmarkt 2011).



**Abbildung 10:** Roboter mit Sauggreifer können geometrisch unterschiedliche große Bauteile positionieren (Bild: Kraus/MM Maschinenmarkt 2011)

Die schalenförmigen Bauteile haben Toleranzen von mehreren Millimetern. Wenn sie manuell verbaut werden, kann durch Stauchung oder Biegung am Ende eine 0,2 mm Toleranz eingehalten werden. Manches spricht also für die manuelle Handhabung großer Bauteile auch in der Zukunft.

### 8.2 Kollaborative Roboter

Je beweglicher Roboter sind, umso eher können sie auch in enge Partien des Flugzeugrumpfes kommen, um dort vor allem hoch-repetitive Arbeiten zu übernehmen (Steinke 2020; Aerotelegraph 2019). Die Verbindung der Längsstreben (Stringer) einzelner Segmente des Rumpfes erfordert beim Setzen von Vollstanznieten eine erhebliche Presskraft. Hier kann ein Mensch/Robotersystem mit einem Hydraulikzylinder zur Entlastung der Arbeitsperson eingesetzt werden (Abbildung 11). An den Körper-Zwangshaltungen der Beschäftigten ändert dies jedoch nichts.

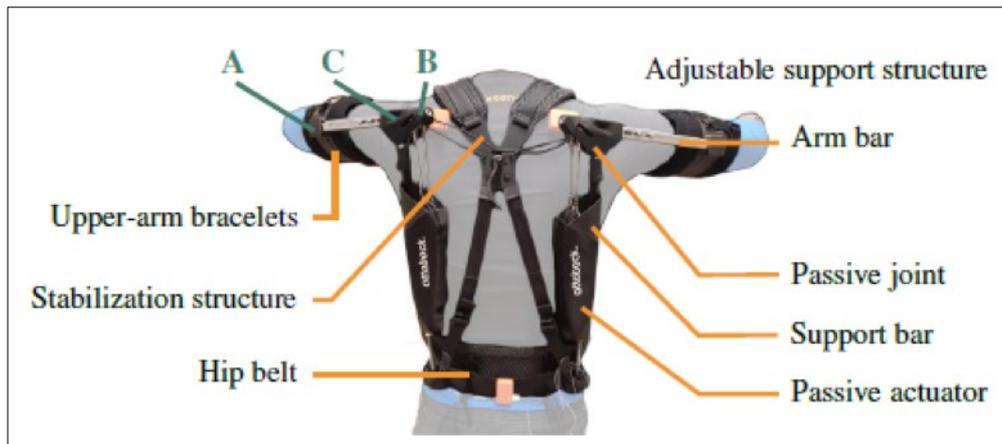


**Abbildung 11:** Montage einer Stringer-Kupplung mithilfe eines kollaborativen Roboters im Flugzeugrumpf (Bild: Tox Pressotechnik/ Industrial Production)

### 8.3 Exoskelette

Mit Exoskeletten können besonders beanspruchende Körperhaltungen (elektro-)mechanisch unterstützt und manuelles Handhaben von Lasten erleichtert werden. Sie können insbesondere bei ermüdenden, über längere Zeiträume auszuführenden Tätigkeiten den Beschäftigten helfen, der Arbeitsermüdung vorzubeugen, Beschwerden und Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems zu vermeiden und gleichzeitig Arbeitsqualität und Produktivität zu erhalten.

Passive Exoskelette sind rein mechanische Hilfsmittel, die während einer Bewegung die Rückstellkräfte von Federn oder Stoßdämpfern nutzen, um mechanische Energie zu speichern und dann zur Unterstützung der Bewegung zurückzugeben. Abbildung 12 zeigt ein Beispiel eines passiven Exoskeletts. Ein Teil des Gewichtes der Arme wird über einen Gurt an der Hüfte auf das Becken übertragen. Die Bewegungsenergie wird gespeichert und bei Arbeiten oberhalb der Schultern wieder abgegeben. Die Konstruktion besteht aus einer rückengerechten Tragestab und einem Stab an den Armen, die durch ein Scharniergelenk verbunden sind. Dieses Gelenk ist mit einer beweglichen Schlinge entlang des Rückens verbunden; die beiden Schlingen können sich unabhängig voneinander bewegen und ermöglichen so die freie Bewegung von Unterarm und Rücken (Maurice et al. 2020). Die passive Betätigung wird aus einer Feder im Tragstab erzeugt, die mit einem Kabel zum Gelenk verbunden ist. Die Arme werden von verstellbaren Armbändern gehalten, die über eine Stange mit dem Gelenk verbunden sind. Die Feder erzeugt ein Drehmoment in Abhängigkeit eines einstellbaren Hebelarms (BC). Das Exoskelett wird wie ein Rucksack getragen. Es besteht ein voller Bewegungsumfang bei Arbeiten oberhalb der Schulter.



**Abbildung 12:** Beispiel eines passiven Exoskeletts (Bild: Maurice et al.. 2020)

Exoskelette sind nicht nur positiv zu beurteilen. Sie erhöhen die Verletzungsgefahr bei Stolper-, Sturz- und Rutschunfällen. Nur konstruktiv sichere Exoskelette sollten eingesetzt werden (CE-Kennzeichnung). Eine standardisierte Gefährdungsbeurteilung für Exoskelette liegt noch nicht vor. So sind auch Langzeiteffekte noch nicht untersucht.

## 9. Diskussion

Die Auswertung des *Expertenpanels* ergibt eine deutliche Assoziation zwischen den (vermuteten) Merkmalen zur Arbeitsobjektgröße und den Gegebenheiten in Flugzeugbau und -wartung bezüglich Layout, Betriebsmittel, Arbeitsorganisation und Belastung. Die Vergleichsstichprobe aus dem verarbeitenden Gewerbe unterscheidet sich deutlich von Flugzeugbau und -wartung bezüglich dieser Merkmalsgruppen.

Bei der Betrachtung einzelner Merkmale sind die Einstufungsergebnisse des Expertenpanels allerdings ambivalent: Die Hypothese auf unterschiedliche Verteilungen in Flugzeugbau und -wartungen gegenüber den Beispielen aus dem verarbeitenden Gewerbe muss bei der Betrachtung der Aktionskräfte und der aus dem Arbeitsobjekt resultierenden Umgebungsbelastungen abgelehnt werden. Hier ist also der Schluss von den „großen Arbeitsobjekten“ in Flugzeugbau und -wartung auf „automatisch“ sich daraus ergebende hohe physische Belastungen nicht zulässig.

Ähnliche Verhältnisse wie in der Flugzeugfertigung kann man für den Waggonbau, die Lkw-Montage oder für den Schiffsbau postulieren (exemplarisch belegt z. B. durch DGUV 2018). „Große Arbeitsobjekte“ bedeutet häufig „Anpassung des Menschen an die Arbeit“ – nicht umgekehrt, wie es unser Ziel in der Ergonomie ist. Das äußert sich vor allem in einer an das Arbeitsobjekt angepassten Körperhaltung – im Regelfall eine Zwangshaltung. Typisch sind Defizite im Bereich der Sichtgeometrie oder den Armreichweiten. Lange Arbeitswege, verknüpft mit wenig effizienten Hol- und Bringvorgängen sind charakteristisch. Nicht nur die Bauteilgröße mit den entsprechenden Hallenvolumina, sondern auch die kleinen und mittleren Seriengrößen und die daraus resultierenden geringeren Übungsgrade und die niedrigen Lernraten der Beschäftigten sind dafür verantwortlich.

Ebenso erhärtet die Fallstudie *Militär-Flugzeugbau* bei allen fünf untersuchten Arbeitssystemen unsere Arbeitshypothesen zu Fabrik-Layout, Betriebsmittel und Fertigungsplanung und -steuerung. „Große Arbeitsobjekte“ sind mit der Verwendung spezieller Transportmittel, Leitern, Podesten und weiteren Hilfsvorrichtungen

verknüpft. Besonders hervorzuheben sind die umfangreichen Hol- und Bringvorgänge von Werkzeugen und Hilfsmitteln, die durch Klein- und Mittelserien mit Defiziten in der Fertigungsplanung und -steuerung und daraus folgend auch niedrigen Lernraten verbunden sind. Der Platzbedarf der Arbeitsobjekte ist häufig auch mit langen Arbeitswegen innerhalb des Werkes verbunden. Positiv zu vermerken sind Arbeitswechselkonzepte bei vielen Montage- und Prüfvorgängen, allerdings weniger bei langandauernden Bohr- und Nietarbeiten. Insbesondere bei Arbeiten an der Flugzeugschale ist mit gravierenden Erschwernissen bei der statischen Haltungs- und Haltearbeit zu rechnen. Häufige und langandauernde Knie- und Hockhaltungen, Arbeit oberhalb des Herzens, Arbeiten an den Grenzen der Armreichweiten, mangelhafte Sichtgeometrie u. a. sind üblich.

Die im Expertenrating vermuteten Abhängigkeiten zwischen „großen Arbeitsobjekten“ und den physischen Belastungen (Arbeit oberhalb des Herzens, Grenzen der Armreichweite, physikalisch-chemische Umgebungsbelastungen (Lärm, Schadstoffe, Witterungseinflüsse u. a.)) werden in unserer *Enteisungsstudie* bestätigt. Die Interdependenzen zwischen „großen Arbeitsobjekten“ und den Merkmalen für Layout, Betriebsmittel und Organisation dagegen nicht: Die Arbeitssysteme z. B. in der Flugzeugenteisung weichen in ihrer Charakteristik zu stark von den üblichen Arbeitsbedingungen in einer Fabrik ab. Deutlich wird allerdings die aus dem Arbeitsobjekt und der Enteisung herrührenden physikalisch-chemischen Belastungen – wie weiter oben in der Hypothesenbildung auch vermutet.

## 10. Schlussfolgerungen

„Große Arbeitsobjekte“ in Flugzeugbau und -wartung sind häufig mit Defiziten in Fertigungsplanung und -steuerung verknüpft. Wegen kleiner und mittlerer Seriengrößen kann man nicht ausgefeilte Arbeitssystem- und Organisationsgestaltung erwarten. Von Bohren- und Nietvorgängen abgesehen, sind die Wiederholungsgrade der Arbeit gering, die Arbeitsumfänge mit den damit verbundenen mentalen und motorischen Anforderungen sind oft beachtlich. Um Hol- und Bringvorgänge zu minimieren, bieten sich Gestaltungslösungen mit einer geordneten, prioritätsgestützten Werkzeugdarbietung an, wie sie auch bei einigen Flugzeugherstellern und Zulieferern seit einigen Jahren angewendet werden. Arbeiten an der Flugzeugschale sowie viele Wartungs- und Beladungsvorgänge sind – bedingt durch die Arbeitsobjektgröße - durch hohe physische Belastungen, insbesondere Zwangshaltungen, hohe Energieumsätze, schlechte Sichtgeometrie u. a. gekennzeichnet. Kollaborierende Roboterlösungen können hier in der Zukunft Erleichterungen bringen. Für den gegenwärtigen Zeitraum bleiben allerdings nur die Verwendung von Exoskeletten sowie verhaltensergonomisches Training, wie z. B. Rückenschulen.

## 11. Literatur

Aerotelegraph (2019): (<https://www.aerotelegraph.com/en/airbus-is-testing-the-factory-of-the-future-in-hamburg>); (25.06.2021)

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR, 1997): Toxicological profile for ethylene glycol and propylene glycol. Atlanta, Ga.

Bier, M. (1991): Ergonomie der Überkopparbeit. Düsseldorf: VDI-Verlag

Bokranz, R.; Landau, K. (2012): Handbuch Industrial Engineering. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.

Herbstkonferenz 2021, Friedrichshafen:  
„Zeitbezug und Transformation – Ergonomie im Wandel des Fortschritts“  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V., Dortmund (Hrsg.)

- Crawford, J.R. (1944): Estimating, budgeting and scheduling. Lockheed Aircraft corp.
- De Jong, J. (1960): Fertigkeit, Stückzahl und benötigte Zeit. Sonderheft der REFA-Nachrichten, 2. überarb. Aufl., Darmstadt.
- DGUV (2018): DGUV Regel 109-603, Branche Schiffbau, 11/2018
- Ergonomics Guide to Assessment of Metabolic and Cardiac Costs of Physical Work (1971), American Industrial Hygiene Association Journal, 32, 8, 560-564, doi: [10.1080/0002889718506506](https://doi.org/10.1080/0002889718506506).
- Frimat P., Chamoux A., De Gaudemaris R., Cantinaux A., Amphoux M. (1989). Heart rate and work. What use? What criteria? I.N.R.S Archives des maladies professionnelles 50 (4) :357-360.
- Grölllich, D.; Schmauder, M.; Kamusella, Chr. (2016): Evaluation Produktionsbedingungen – Ergonomie A350. Herbstkonferenz 2016, Hamburg, GfA – Beitrag B. 1.
- Günebak, S.; Nadeau, S.; Morency, F.; Sträter, O.(2015): Towards a Safer and More Efficient Communication Process for Aircraft Ground De-icing: Review of Human Factors and Team Communication Literature. AERO 2015: 62nd CASI Aeronautics Conference and 3rd GARDN Conference, 19 au 20 mai 2015, Montréal, Canada.
- Hignett S.; McAtamney L. (2000): Rapid entire body assessment (REBA). Appl. Ergon. 31, 2, 201-205.
- Industrial Production (2021.): Cobot zur Flugzeug-Endmontage (<https://www.industrial-production.de/mrk---cobots/der-kollaborative-kollege-schraubt-am-flugzeug-rumpf.htm>; 23.06.2021)
- Kaulbars, U. (2010): Gefährdungsbeurteilung der Hand-Arm-vibrationen im Flugzeugbau: Auswahl und Anwendung von Schutzmaßnahmen. VDI\_Bericht Nr. 2097.
- Kraus, J.-M. (2011): CFK-Greifer soll Flugzeugmontage im Robotertakt ermöglichen. <https://www.maschinenmarkt.vogel.de/cfk-greifer-soll-flugzeugmontage-im-robotertakt-ermoeglichen-a-337083/> (03.08.2021)
- LaKind, J.S.; McKenna, E.A.; Hubner, R.P.; Tardiff, R.G. (1999): A review of the comparative mammalian toxicity of ethylene glycol and propylene glycol. Critical Reviews in Toxicology 29, 4, 331-365.
- Landau K.; Nadeau S.; Floch TL.; Morency F. (2017): Ergonomic Time and Motion Studies of Aircraft De-icing Work. J Ergonomics 7, 204. doi:10.4182/2165-7556.1000204.
- Landau, K.; Nadeau, S. (2020): Comparison of different parameters of heartrate frequency of tasks performed during aircraft open-basket ground deicing activities. Ergonomics Int. J., 4, 6.
- Liebau, H. (2002): Die Lernkurvenmethode. Stuttgart: Ergonomia.
- Maschinenmarkt (2011) CFK-Greifer soll Flugzeugmontage im Robotertakt ermöglichen (<https://www.maschinenmarkt.vogel.de/cfk-greifer-soll-flugzeugmontage-im-robotertakt-ermoeglichen-a-337083/>; 25.06.2021)
- Maurice, P., Ivaldi, S., Babic, J., Camernik, J., Gorjan, D., Schirrmeister, B., Bornmann, J., Tagliapietra, L., Latella, C., Pucci, D., Fritzsche, L. (2020): Objective and Subjective Effects of a Passive Exoskeleton on Overhead Work. IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng. 28, 152–164. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2019.2945368>.
- Morinière, E.; Morency, F.; Nadeau, S. (2014): Ethylene Glycol and Workers: A Study of Documented Exposures. Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, 12 - 14 März 2014, München, 584-586.
- Mounet, M.; Morency, F.; Nadeau, S. (2013): Integration of Human Factors in Deicing Operations in Prospect of Occupational Health and Safety of Aircraft Deicing Workers. Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, du 27 février au 1er mars 2013, Krefeld, Allemagne, 291-294.
- Müller, E.A. (1961). Die physische Ermüdung. In: Baader, W.E. (Ed), Handbuch der gesamten Arbeitsmedizin. Vol. 1, Berlin: Urban & Schwarzenberg, 405-441.
- Nadeau, S.; Salmanzadeh, H.; Ahmadi, M.; Landau, K. (2019): Aviation Deicing Workers, Global Risk Assessment of Musculoskeletal Injuries. International Journal of Industrial Ergonomics, 71, 8-13.
- Plonka, J., Fobasso, E., Tchoupou, M., Zeouaoui, A., Oussou, T., Nadeau, S., Morency, F. (2014): Safe Aircraft De-icing Zone. Institute of Industrial Engineers Annual Conference, 2014, du 31 mai au 3 juin, Montréal, Québec.
- Schaub, K.; Winter, G.; Landau, K. (1999): *Design Check - A Pilot Study for the Evaluation of Assembly Tasks in Automotive Industrie*. In: International Conference on Computer- Aided Ergonomics and Safety, 19. - 21. Mai 1999.
- Steinke, S. (2020): Strukturmontage bei Airbus – die Zukunft des Flugzeugbaus. Flugrevue 2.2.2020 (<https://www.flugrevue.de/zivil/strukturmontage-bei-airbus-die-zukunft-des-flugzeugbaus/>; 01.07.2021)
- Terrace, S.M., Bender, K.D., Sierra, E.A., Marcil, I., D'Avirro, J., Pugacz, E., Eyre, F. (2006). Comparison of Human Ice Detection Capabilities and Ground Ice Detection System Performance Under Post Deicing Conditions. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 50th Annual Meeting, 2051-2055.

Herbstkonferenz 2021, Friedrichshafen:

„Zeitbezug und Transformation – Ergonomie im Wandel des Fortschritts“  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V., Dortmund (Hrsg.)

Torres Medina, Y.; Nadeau, S.; Morency, F. (2016): A Preliminary Study of Fatigue and Workload Among Aircraft De-icing Technicians. Occupational Ergonomics, 13, 2, 79-90.

Tox Pressotechnik (2020.): Der kollaborative Kollege schraubt am Flugzeug-Rumpf. Industrial Production, <https://www.industrial-production.de/mrk---cobots/der-kollaborative-kollege-schraubt-am-flugzeug-rumpf.htm> (03.08.2021)

Weidner, R. (Hrsg., 2016): Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen.2. transdisziplinäre Konferenz. Helmut Schmidt Universität, Hamburg.

Weidner R.; Argubi-Wollesen A.; Berger C.; Otten B.; Yao Z.; Wulfsberg: J. P. (2016): “Unterstützungssysteme für Tätigkeiten in und über Kopfhöhe.” 62.-GfA-Frühjahrskongress –Arbeit in komplexen Systemen – Digital, vernetzt, human?!, 1 – 6.

Weinzierl, St. (2021): So funktioniert die Instandhaltung von Flugzeugtriebwerken. Instandhaltung, 03/2021 (<https://www.instandhaltung.de/praxisanwendung/so-funktioniert-die-instandhaltung-von-flugzeugtriebwerken-115.html>); 24.06.2021)

Wieslander, G.; Norbäck, D.; Lindgren, T. (2001): Experimental exposure to propylene glycol mist in aviation emergency training : acute ocular and respiratory effects. Occupational and Environmental Medicine 58, 649-655.

Wills, J.H. et al. (1974). Inhalation of aerosolized ethylene glycol by man. Journal of Toxicology : Clinical Toxicology 7, 5, 463-476.

Wright, T. P. (1936): Factors affecting the cost of airplanes. J. Aeronautical Science, 3, 2.

**Danksagung:** Ein ganz besonderer Dank gilt Herrn Dr. J. Wakula und Herrn K. Berg (stellvertretend für alle Mitglieder des Panels) für die konstruktive Zusammenarbeit.

Danke auch an MTU Maintenance Hannover GmbH, Tox Pressotechnik GmbH & Co., Weingarten, KG sowie Vogel Communications Group GmbH & Co. KG (MM Maschinenmarkt) Würzburg für die Bereitstellung von Arbeitsplatzfotos.



Gesellschaft für  
Arbeitswissenschaft e.V.

## **Zeitbezug und Transformation – Ergonomie im Wandel des Fortschritts**

Herbstkonferenz der  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Ergonomie Kompetenz Netzwerk

23. und 24. September 2021

---

## **GfA-Press**

---

**Dokumentation der Herbstkonferenz der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.  
vom 23. und 24. September 2021, Friedrichshafen**

**Ergonomie Kompetenz Netzwerk**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Dortmund: GfA-Press, 2021

ISBN 978-3-936804-30-0

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Konferenzband

Als Manuskript zusammengestellt. Dieser Konferenzband ist nur in der Geschäftsstelle erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Sankt Augustin**

**Schriftleitung: Rolf Ellegast**

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet:

- den Konferenzband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,

- den Konferenzband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

**Screendesign und Umsetzung**

© 2021 fröse multimedia, Frank Fröse

[office@internetkundenservice.de](mailto:office@internetkundenservice.de) · [www.internetkundenservice.de](http://www.internetkundenservice.de)