

Evaluation Produktionsbedingungen – Ergonomie A350

Daniel GRÖLLICH, Martin SCHMAUDER, Christiane KAMUSELLA

*Professur für Arbeitswissenschaft, Institut für Technische Logistik und
Arbeitssysteme, Fakultät Maschinenwesen, Technische Universität Dresden
Helmholtzstraße 10, D-01069 Dresden*

Kurzfassung: Viele Projekte setzen detaillierte Planungsaktivitäten weit vor ihren Realisierungsphasen voraus. Dies gilt insbesondere auch für die ergonomische Absicherung von Prozessen, Arbeitsplätzen und Betriebsmitteln. Im Flugzeugbau gestaltet sich die Einhaltung dieser Anforderung aufgrund der bauartbedingten Größe der Produkte erheblich schwieriger als in anderen Branchen. In diesem Zusammenhang hat die Arbeitsgruppe Ergonomie am Lehrstuhl für Arbeitswissenschaft der TU Dresden die Produktionsbedingungen des Airbus A350 XWB am Standort Hamburg im Rahmen eines gemeinsamen Forschungsprojektes evaluiert und darauf basierend Lösungskonzepte zur Reduzierung physischer Belastungen bei der Rumpfmontage entwickelt. Ziel war es, die künftigen Montagetätigkeiten bereits vor Serienanlauf der Produktion ergonomisch abzusichern.

Schlüsselwörter: Flugzeugmontage, physische Belastung, Ergonomiebewertung, Körperabstützung, Direktsicht-Wirkstellen-Entkopplung

1. Ausgangssituation

Nach dem Grundsatz Prävention statt Intervention ist es maßgeblich, bei der Gestaltung von Arbeitsprozessen so früh wie möglich arbeitswissenschaftliche Gesichtspunkte zu berücksichtigen. Seit längerer Zeit zeichnet sich ab, dass sich ein frühzeitig investierter Mehraufwand zur ergonomisch optimalen Gestaltung von Fertigungsprozessen und zugehörigen Arbeitsplätzen sowie Betriebsmitteln rasch in Form von Zeit- und Kostenersparnissen amortisiert. Eine derart an den arbeitenden Menschen angepasste Fertigung bietet nachhaltig und sozialverträglich geführten Unternehmen nicht nur monetäre Vorteile gegenüber Wettbewerbern, sondern ist für ein mitarbeiterorientiertes und erfolgreiches Bestehen in Zeiten weltweiter demographischer Veränderungen sogar essentiell.

Es ist jedoch auch festzustellen, dass oftmals die Verbesserung der ergonomischen Gestaltung des Arbeitssystems mit den Vorgaben nach Produktivitäts- und Qualitätssteigerung im Zielkonflikt steht (Landau et al. 2001). Die Airbus S.A.S. als größter europäischer Hersteller ziviler Transportflugzeuge, stellt sich dieser Herausforderung und setzt alles daran, den Themenschwerpunkt Ergonomie bereits Jahre vor dem Serienstart eines neuen Produkts in der Konzeptphase zu verankern. Diesem Ziel hat man sich auch am Airbus-Standort Hamburg-Finkenwerder bei der Planung der Produktionslinie des neuen Flugzeugtyps A350 XWB verschrieben.

Die Kernarbeitsgebiete des Hamburger Werkes sind die Strukturmontage, bei der die Strukturbauteile des A350 XWB zu Sektionen des vorderen und hinteren Rumpfes zusammengefügt werden und die Ausrüstungsmontage, bei der die Sektionen mit sämtlichen Systemen (Elektrik, Kraftstoff, Hydraulik, Klima, Sauerstoff, Wasser) ver-

sehen werden. Im Zuge der Vorbereitung zum Serienanlauf der A350-Fertigung war man bestrebt, über die gesetzlichen Mindestanforderungen hinaus den (internen) Kunden aus den Bereichen der Montage und Fertigung ergonomisch optimal gestaltete Arbeitsplätze übergeben zu können. Eine dazu im Vorfeld intern durchgeführte Untersuchung der künftigen Tätigkeiten mit dem unternehmenseigenen Screening-Verfahren „Ergonomie Merkmal Methode Airbus“ (EMMA), welches u.a. auf den Erkenntnissen der Leitmerkmalmethoden „Heben-Halten-Tragen“ (LMM-HHT) und „Ziehen-Schieben“ (LMM-ZS) aufbaut, ergab jedoch eine Vielzahl von augenscheinlich ergonomisch ungünstigen Montagevorgängen in mehreren prozesstechnischen Abläufen der einzelnen Bauphasen.

Darauf basierend wurde 2011 in Kooperation mit der Professur für Arbeitswissenschaft der TU Dresden ein gemeinsames Forschungsprojekt zur Evaluation der Produktionsbedingungen des A350 XWB mit einer knapp zweijährigen Laufzeit ins Leben gerufen. Hierin wurden Bauplätze der Struktur- und Ausrüstungsmontage im Sinne der kontinuierlichen Optimierung der Arbeitsbedingungen einer ergonomischen Analyse unterzogen und für spezielle Tätigkeiten entsprechende technische Gestaltungskonzepte zur Reduktion physischer Belastungen abgeleitet.

Zum Zeitpunkt der Untersuchungen waren die einzelnen Bauteile des A350 XWB bereits konstruiert und notwendige Montagetätigkeiten für die jeweiligen Bauphasen definiert und vorgegeben. Die Montagehalle sowie grundlegende Fertigungsmittel, die einen längeren Planungsvorlauf bedingen (z.B. Bühnen, Kräne etc.), waren ebenfalls installiert. Größere Veränderungen an den Bauplätzen konnten demnach nicht vorgenommen werden. Entsprechend lag der Fokus auf der Entwicklung technischer Lösungen, welche sich bestmöglich in die bestehende Infrastruktur integrieren lassen, ohne die prozessbedingt geplanten zeitlichen und organisatorischen Vorgaben zu beeinträchtigen.

2. Evaluation der Produktionsbedingungen vor Serienanlauf

In der Regel sind Tätigkeiten in der Flugzeugmontage an bestimmte Bauplätze gebunden und weisen, anders als bspw. in der Automobilbranche, eine Vielzahl komplexer und teilweise lang andauernder Tätigkeiten auf. Im Rahmen des Forschungsvorhabens zur Evaluation der Produktionsbedingungen beim A350 XWB wurde ein Airbus-spezifisch angepasstes Vorgehen zur wissenschaftlichen Analyse und Bewertung ergonomischer Belange bei der Flugzeugmontage unter Einbeziehung verschiedener Expertenverfahren angewendet.

2.1 Datenbasis

Zunächst erfolgte eine Sichtung der vorliegenden Ergebnisse der EMMA-Analysen. Diese wurden auf Grundlage von groben Planungsdaten durch Airbus erarbeitet. Im Zuge der prospektiven Beurteilung wurden alle geplanten Arbeitsaufgaben bzw. Montagetätigkeiten in der Struktur- und Ausrüstungsmontage des A350 XWB betrachtet.

Die Gesamtzahl der Analysen belief sich auf 130, davon 101 in der Strukturmontage und 29 Montagetätigkeiten in der Ausrüstungsmontage. Das Bewertungsergebnis des EMMA-Verfahrens gliedert sich nach dem bekannten Ampelschema in die Stufen grün, gelb und rot. Dabei stellt grün ein geringes Risiko, gelb ein mittleres Risiko und rot ein großes Risiko einer Gesundheitsgefährdung des Beschäftigten auf-

grund der vorliegenden physischen Belastungen dar. Für die Ableitung einer Notwendigkeit für Maßnahmen zur Reduzierung der physischen Belastung bedeutet dies, dass sowohl gelbe als auch rote Analysen Handlungsbedarf anzeigen, wobei nach dem Verfahren rote Bewertungsergebnisse zwingend Gestaltungsmaßnahmen respektive Handlungsbedarf erfordern. Abbildung 1 zeigt die damaligen Ergebnisse der analysierten EMMA-Daten für die Bereiche Struktur- und Ausrüstungsmontage.

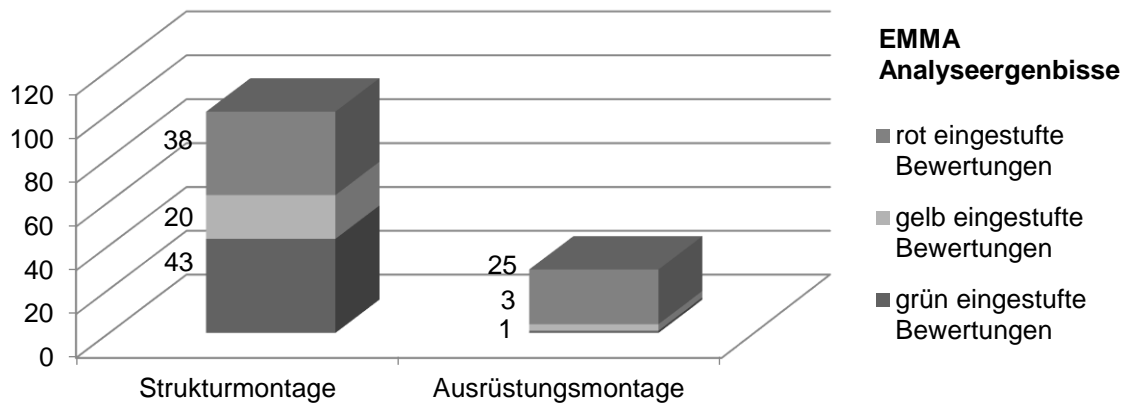


Abbildung 1: Auswertung der Anzahl der EMMA-Analyse nach Bewertungsergebnis

Insgesamt lagen 86 EMMA-Analysen vor, davon 23 gelbe und 63 rote, die die Notwendigkeit einer Reduzierung von Belastungen anzeigten. Aufgrund der begrenzten Projektlaufzeit konnten nicht alle 86 Montagetätigkeiten im Detail betrachtet werden. Im weiteren Verlauf erfolgte daher eine Einschränkung auf Analysen mit dem Gesamtergebnis Rot, da diese zwingend Gestaltungsmaßnahmen erforderten.

Weiterhin erfolgte eine Eingrenzung der zu betrachtenden Analysen auf Basis der Einzelmerkmale. Die Einzelmerkmale in EMMA gliedern sich in Last, Körperhaltung, Sichtverhältnisse, Ausführungsbedingungen und Häufigkeit. Für die ersten vier der fünf genannten Einzelkriterien zeigt EMMA Ampelergebnisse als Bewertung an. Unter Berücksichtigung rot bewerteter Einzelmerkmale ergab sich folgendes in Abbildung 2 dargestellte Bild.

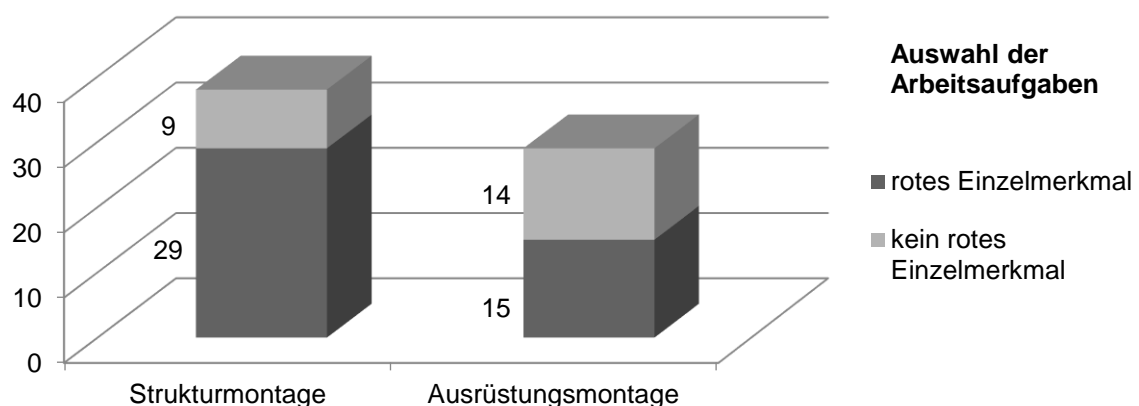


Abbildung 2: Rote EMMA-Analysen nach Einzelmerkmalen

Es lagen demnach 29 rot-rote Analysen in der Struktur- und 15 rot-rote Analysen in der Ausrüstungsmontage mit weiterem Auswertungsbedarf vor. Es ergab sich die in Abbildung 3 dargestellte Vorgehensweise der Auswahl untersuchungsrelevanter Tätigkeiten aus den vorliegenden EMMA-Analysen zur weiteren Projektbearbeitung.

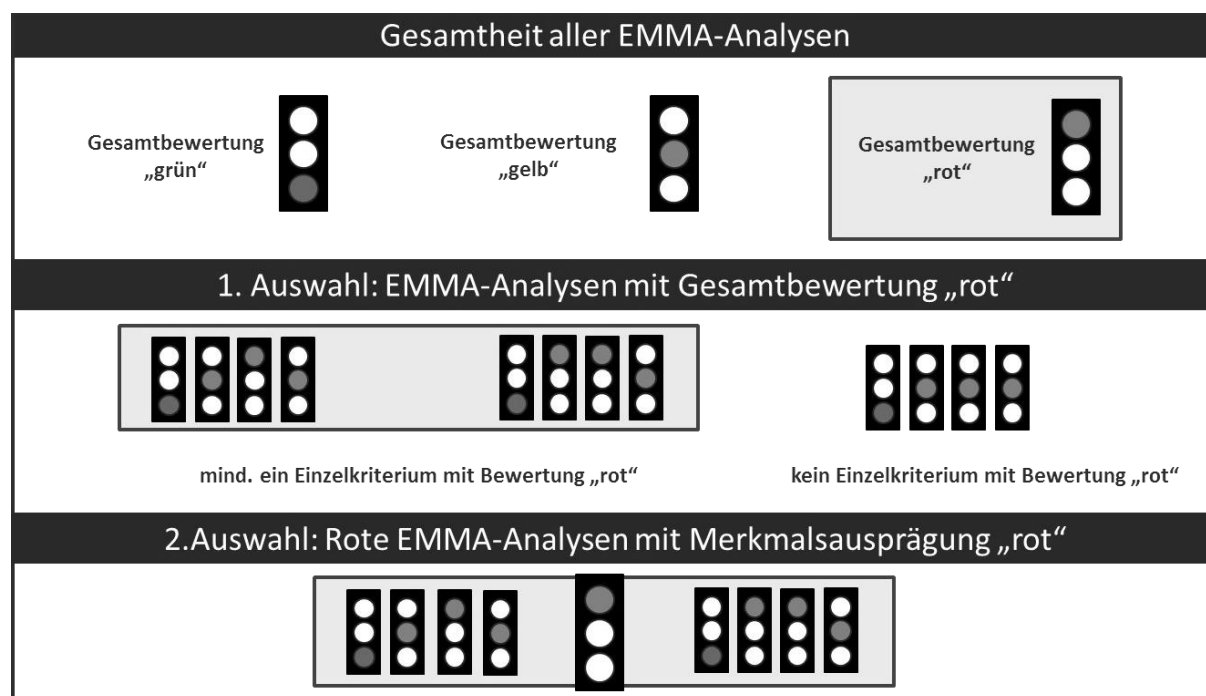


Abbildung 3: Systematik der Auswahl der Montagetätigkeiten

2.2 Auswertung

Die ausgewählten EMMA-Analysen wurden einer vertiefenden Auswertung unterzogen. Zunächst erfolgte eine Untersuchung roter Einzelkriterien, um Bereiche mit Hauptbelastungen der Tätigkeiten zu identifizieren. Dabei zeigte sich, dass alle rot eingestuftten EMMA-Analysen (Auswahlstufe 1) auf schlechte Körperhaltungen (Merkmalsausprägung „rot“) zurückzuführen waren (Abbildung 4).

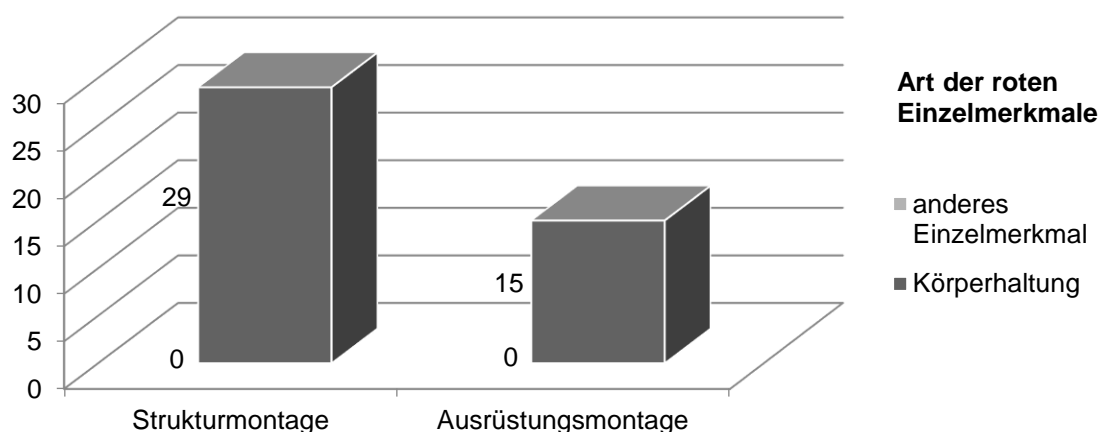


Abbildung 4: Untersuchung der rot-roten EMMA-Analysen auf Art des roten Einzelmerkmals

Daraufhin wurden nochmals alle EMMA-Ergebnisse, einschließlich grün und gelb bewerteter Analysen, auf den gleichen Sachverhalt hin untersucht. Auch diese wiesen die Körperhaltung als ausschlaggebendes rotes Einzelmerkmal aus. Damit ergaben sich erste Hinweise auf konkrete Stellschrauben.

Als weiterer Belastungsfall wurde die Lastenhandhabung „Halten“ in Verbindung mit langer Expositionsdauer identifiziert. Abbildung 5 zeigt die aus den Planungsdaten abgeleitete Verteilung der Belastungsdauern.

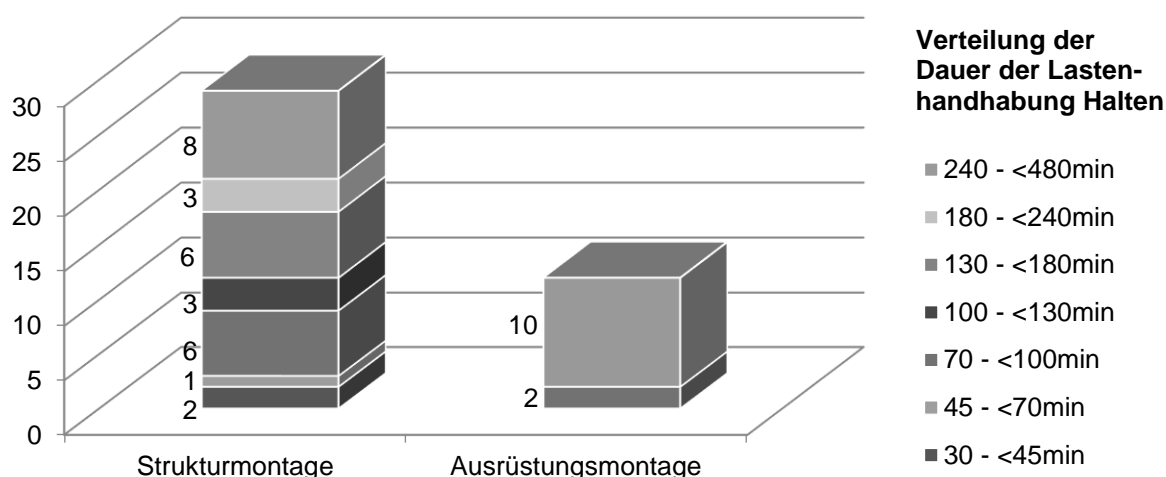


Abbildung 5: Verteilung der Dauer der Lastenhandhabung Halten in den EMMA-Analysen

Von 44 rot-roten Analysen lagen 30 über 130 min Haltedauer. 18 Analysen ergaben Haltedauern von mehr als 240 min, also mindestens 4h pro Tag.

Die zusätzlich in die Auswertung einbezogene wirksame Last führt zu der in Abbildung 6 gezeigten Verteilung. Zu erkennen ist, dass mehr als die Hälfte der Lastfälle in einem Lastbereich unter 5kg lagen. Die restlichen analysierten Arbeitsplätze wiesen ein moderates wirksames Lastgewicht im Bereich von 5 bis 10kg auf.

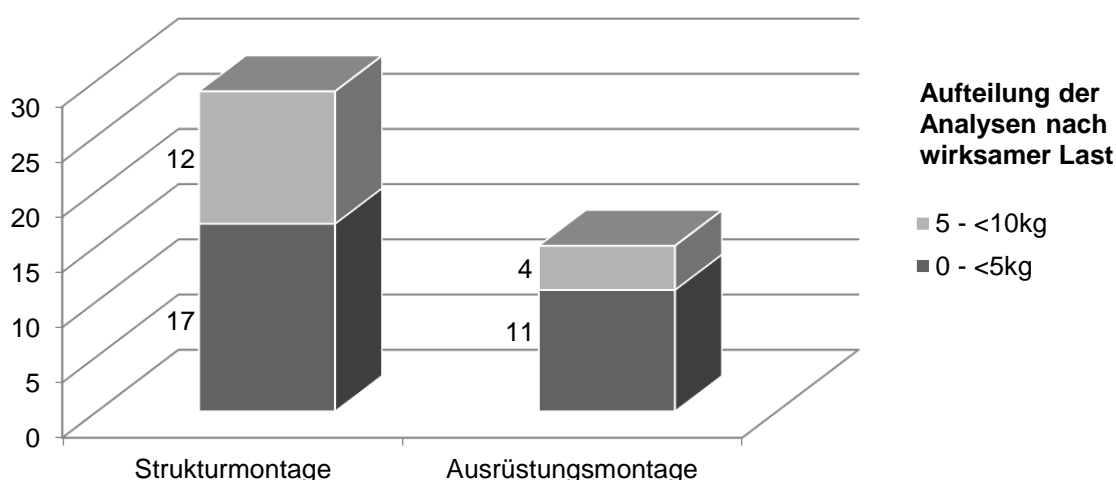


Abbildung 6: Anzahl der EMMA-Analysen nach wirksamem Lastgewicht

Neben den beschriebenen Belastungsarten wurden für die Bauplätze weitere Risikofaktoren, wie Belastung durch statische Körperhaltungen oder Aktionskräfte in die Untersuchungen einbezogen, welche mit geeigneten Ergonomiebewertungsmethoden erhoben wurden (vgl. Kapitel 2.4).

2.3 Zwischenfazit

Airbus beurteilt mit EMMA sogenannte Arbeitsaufgaben. Dabei sind diese Arbeitsaufgaben einzelnen Bauplätzen zugeordnet. An diesen Bauplätzen arbeiten in der Regel homogen zusammengesetzte Teams. Dabei ist es möglich, dass die einzelnen Teammitglieder untereinander ihre Arbeitsaufgaben wechseln. Üblicherweise bleibt ein Team jedoch in gleicher Zusammensetzung am Bauplatz.

Die Arbeitsaufgaben können bestimmten Bauabschnitten am Bauplatz zugeordnet werden. Im Sinne der Abschnittsgliederung nach REFA (Abbildung 7) ist die Analyseebene des EMMA-Verfahrens auf den Stufen des Teilvorganges bzw. des Vorganges einzuordnen. Die Beschäftigten werden auf Ebene der Ablaufstufe eingesetzt und organisieren dort die Einteilung der Tätigkeiten selbst.

REFA Arbeitsablaufabschnitt													Beispiel					
Gesamtablauf													Rumpfmontage A350 XWB					
Teilablauf													Strukturmontage Rumpf					
Ablaufstufe														Sektion 19 fertigstellen				
Vorgang				entsprechen der Ebene bewerteter Tätigkeiten in EMMA										Trimmspindel einbauen				
Teilvorgang												Trimmspindel befestigen						
Vorgangsstufe															Befestigungsbolzen kitten			
Vorgangselement																Zum Kittpinsel greifen		

Abbildung 7: Arbeitsablaufabschnitte nach REFA

Das EMMA-Verfahren beurteilt damit das für den Mitarbeiter auftretende Risiko auf den Vorgangsstufen für einzelne Arbeitsaufgaben. Es bildet jedoch keine ganzheitliche mitarbeiterbezogene Ganztagesbelastung und ihre Folgen ab. Abbildung 8 soll das Prinzip verdeutlichen.

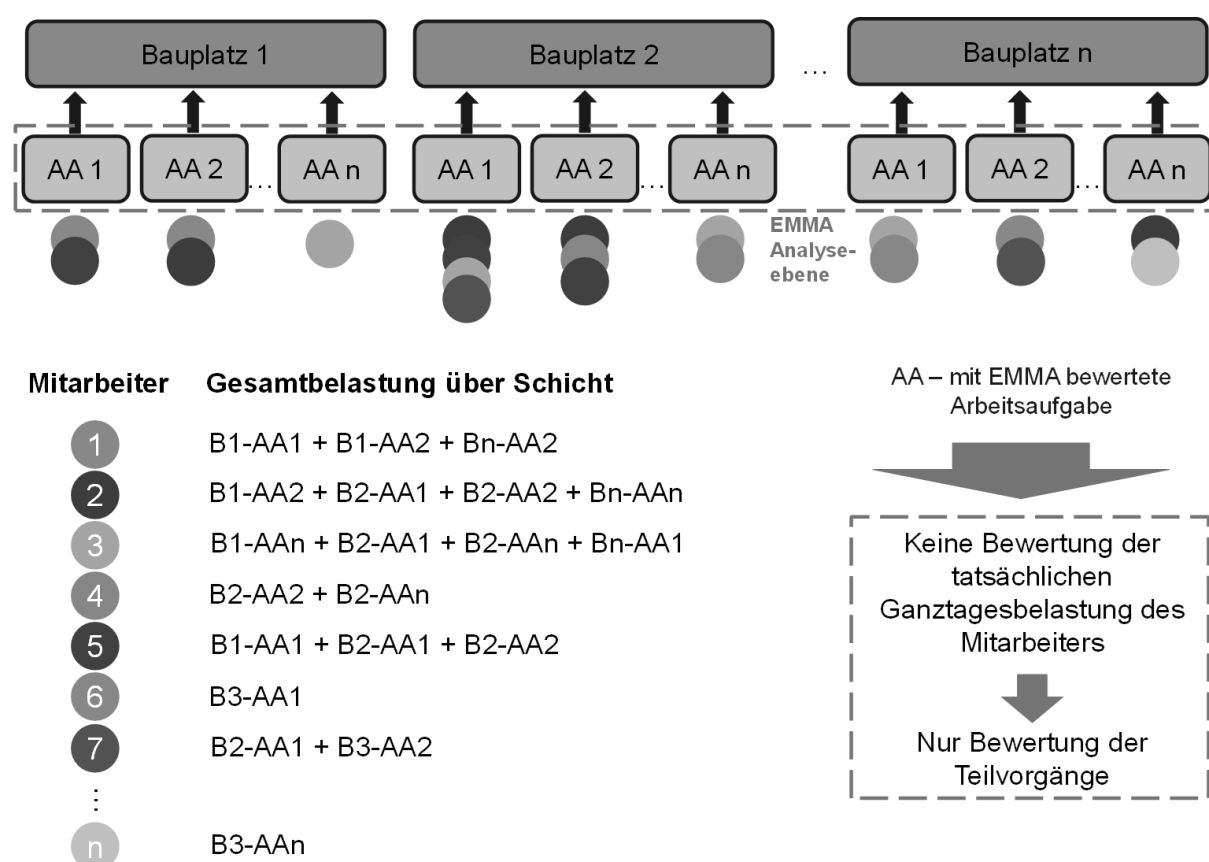


Abbildung 8: Analyseebene EMMA vs. Beurteilung der Ganztagesbelastung

Für eine wissenschaftlich korrekte und möglichst detaillierte Analyse wurde dementsprechend ein Vorgehen entwickelt, welches eine kumulative Beurteilung der Belastungen der einzelnen Teilvorgänge bzw. Arbeitsaufgaben ermöglicht.

Eine Einzelbeurteilung der Teilvorgänge erfolgte dennoch zusätzlich, um die Vergleichbarkeit mit den ursprünglichen EMMA-Analysen gewährleisten sowie besonders belastende Teilvorgänge identifizieren zu können und um ggf. auf dieser Ablaufstufe Maßnahmen zur Reduzierung der Belastung identifizieren zu können.

2.4 Erweiterte Untersuchungsmethodik

Im Rahmen der Evaluation der Produktionsbedingungen des A350 XWB aus ergonomischer Sicht wurde das in Abbildung 9 dargestellte stufenweise Vorgehen erarbeitet und angewendet.

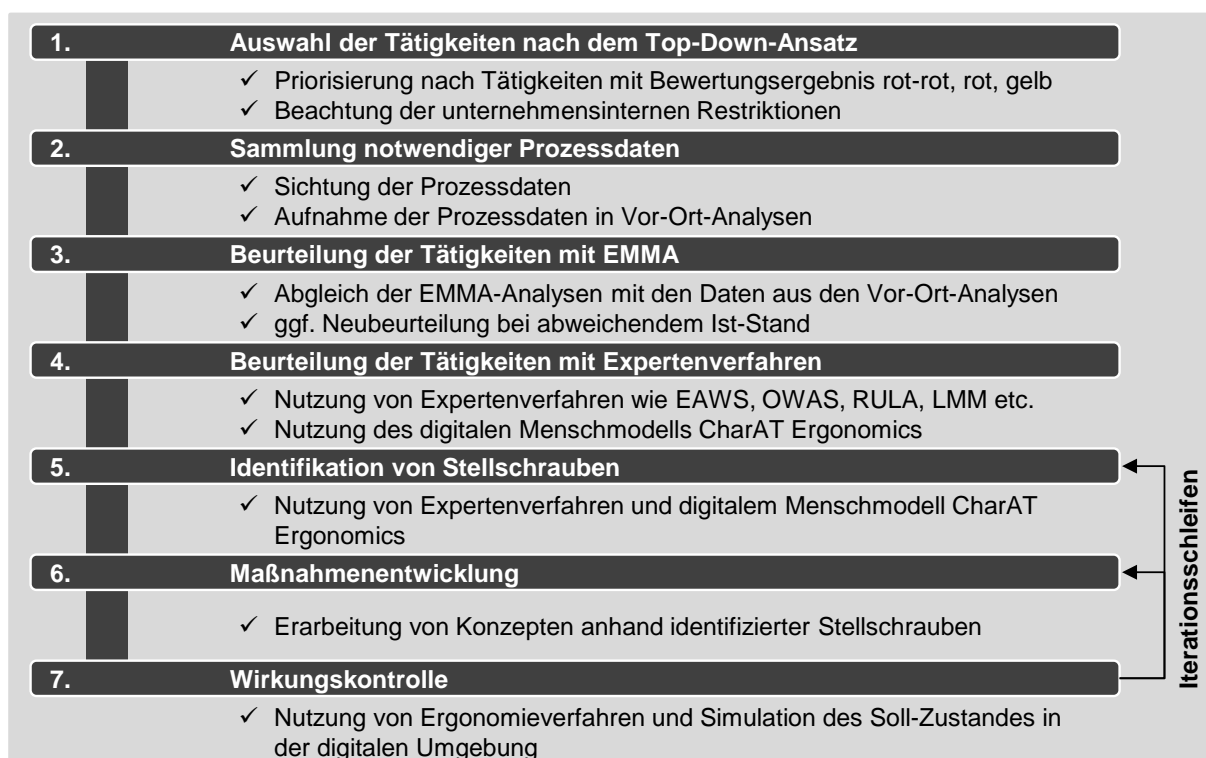


Abbildung 9: Vorgehen bei der erweiterten Untersuchungsmethodik

Die prinzipielle Vorgehensweise innerhalb der in Abbildung 9 dargestellten Ablaufstufen wird im Folgenden erläutert.

2.4.1 Priorisierung der Tätigkeiten nach dem Top-Down-Ansatz (Schritt 1)

Die Vorauswahl kritischer und damit untersuchungsrelevanter Arbeitsaufgaben erfolgte für die nach oben beschriebenen Vorgehen ausgewählten Tätigkeiten auf Basis der existenten EMMA-Analysen.

2.4.2 Sammlung notwendiger Prozessdaten (Schritt 2)

Für die in Schritt 1 identifizierten Arbeitsaufgaben wurden sämtliche prozessrelevanten Daten gesichtet. Es erfolgte eine Analyse der notwendigen Arbeitsabläufe

und die Untergliederung in einzelne Prozessschritte. Zur Erfassung und Dokumentation der Abläufe wurden Vor-Ort-Analysen an Referenzarbeitsplätzen durchgeführt. Ein aus den Daten abgeleiteter Strukturgraph diente zur anschließenden Identifikation von technisch / technologisch sowie organisatorisch begründeten Verbindlichkeiten von Vorgängen und im weiteren Verlauf als Input zur Ermittlung von Wirkungszusammenhängen und Gestaltungsanforderungen.

Aufbauend auf den ermittelten Daten wurden für die einzelnen Bauplätze Vorgänge und Teilvorgänge sowie prozessspezifische Vorgangszeiten erfasst. Die Beurteilungszeiträume erstreckten sich dabei jeweils auf eine komplette Schicht.

2.4.3 Fallweise Neubeurteilung mit EMMA (Schritt 3)

Die durchgeführten Vor-Ort-Analysen der betroffenen Prozesse wiesen teilweise Abweichungen zum Serienprozess in Reihenfolge und Durchführung der Montagetätigkeiten auf. Es wurden bspw. veränderte Ausführungsdauern bestimmter Montagetätigkeiten im Vergleich zum ursprünglich vorgesehenen Serienprozess festgestellt. Zudem erfolgte stellenweise die Nutzung anderer Betriebs- und Fertigungsmittel als in den Planungsdaten vorgesehen. Weiterhin wich die Anzahl der Mitarbeiter bei einzelnen Montagetätigkeiten von den Vorgaben ab. Durch Mitarbeiterbefragungen konnten unklare Sachverhalte diesbezüglich zwar geklärt werden, dennoch erfolgte eine Neu-Beurteilung der Tätigkeiten anhand der Prozessaufnahmen mit EMMA für Tätigkeiten, die besonders hohe Abweichungen zum Planungsstatus aufwiesen. Diese wurden erneut dem in Abbildung 3 dargestellten Prüfschema zugeführt. Auf dieser Basis erfolgte eine weitere Eingrenzung der zu betrachtenden Arbeitsaufgaben hinsichtlich auftretender physischer Belastungen.

2.4.4 Aufgabenspezifische Expertenanalyse (Schritt 4)

Physische Belastungen beanspruchen den Menschen. Inwieweit für den Beschäftigten durch physische Belastungen bei der Arbeit positive oder negative Beanspruchungsfolgen hervorgerufen werden, hängt dabei von drei Faktoren ab:

- der Höhe der Belastung,
- der Intensität der Belastung
- sowie den individuellen Leistungsvoraussetzungen des Menschen.

Das grundsätzliche Risiko durch physische Belastungen lässt sich durch die ersten beiden Faktoren bestimmen. Die menschlichen Leistungsvoraussetzungen unterteilen sich hingegen in die Aspekte Leistungsfähigkeit und Leistungsbereitschaft, die sowohl eine physische als auch eine psychische Komponente aufweisen (Schmauder & Spanner-Ulmer 2014). Bei der individuellen Beurteilung des hier auftretenden Risikos für einen Beschäftigten müssen daher zusätzlich Gesundheit, Alter, Geschlecht, Trainiertheit und Arbeitstechnik berücksichtigt werden.

Zur Ableitung wirksamer Gestaltungsanforderungen und konkreter Maßnahmen für rot eingestufte EMMA-Merkmale war somit die Kenntnis über diese Einflussparameter notwendig. Für Arbeitsabläufe, bei denen die Belastungssituation nicht eindeutig aus den Ergebnissen der EMMA-Analysen hervorging, wurden weitere darüber hinausgehende Detail- und Expertenverfahren zur Bestimmung physischer Belastungen eingesetzt.

Allerdings stellt die Anwendung der meisten gängigen Ergonomieverfahren in diesem Industriefeld eine große Herausforderung dar, da sie, wie bspw. das EAWS-Verfahren (Ergonomic Assessment Worksheet) auf eher kurzzyklisch taktgebundene Tätigkeiten ausgelegt sind. Deren Einsatz ermöglichte jedoch eine detailliertere Identifikation von Stellschrauben, als es allein mit der EMMA-Methode möglich gewesen wäre.

Zunächst wurden in einer eigenständigen Untersuchung die Leistungsmerkmale verschiedener Verfahren gegenübergestellt. Ein Augenmerk lag dabei auch auf Verfahren zur ganzheitlichen Beurteilung von Tätigkeiten. Wo notwendig, erfolgte eine Adaption an die Airbus-Spezifika (Köhler 2012). Zum Einsatz kamen je nach Untersuchungsschwerpunkt die in Abbildung 10 dargestellten Methoden.

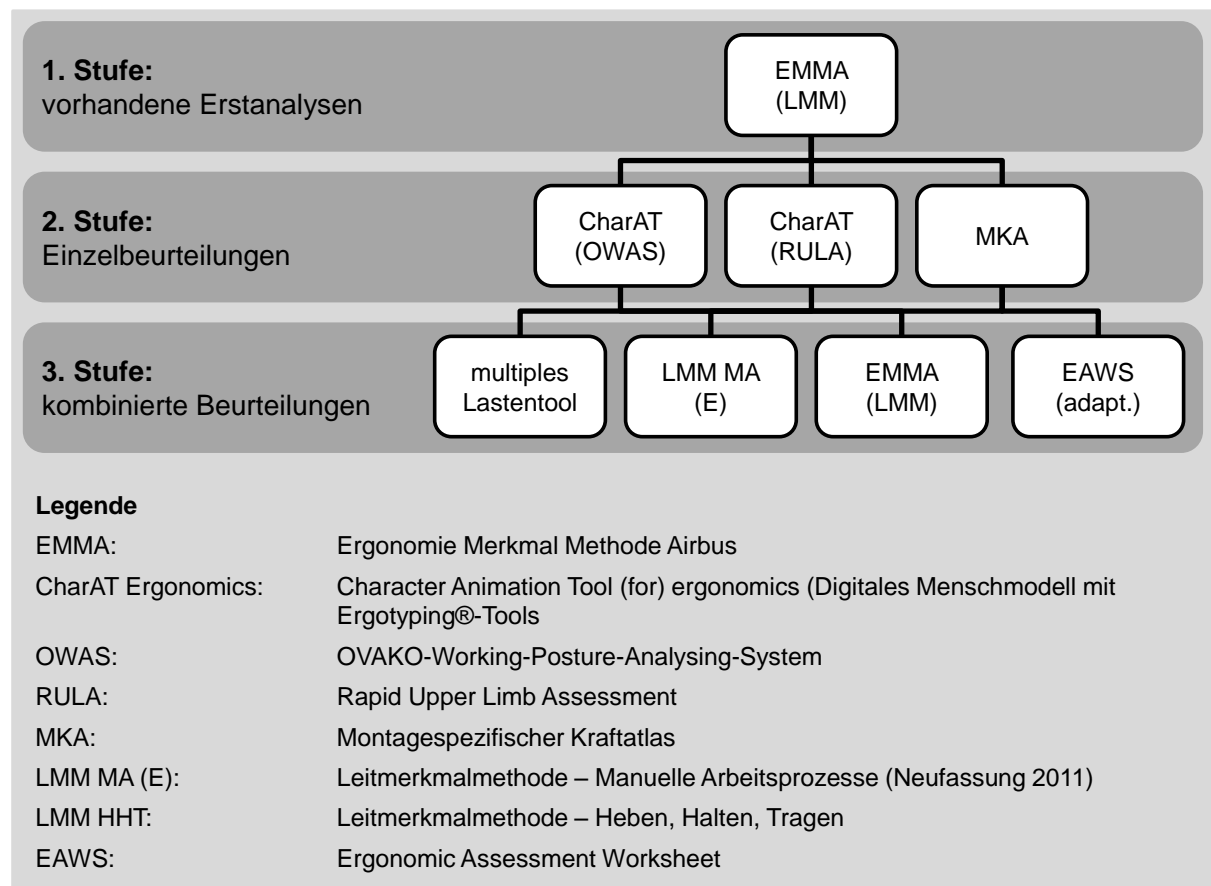






Abbildung 10: Stufenweiser Einsatz der im Projekt verwendeten Verfahren

Durch die kombinierte Anwendung mehrerer Bewertungsmethoden konnten u. a. differenziertere Aussagen zu allen in der Fertigung zu erwartenden Belastungsarten (Aufbringen von Körperkräften, Manuelle Handhabung von Lasten, Belastung durch repetitive Tätigkeiten und Belastung durch Körperzwangshaltung) getroffen werden.

Ein Auszug einer nach dem oben beschriebenen Vorgehen erstellten Kombinationsanalyse ist in Tabelle 1 abgebildet. Zur Identifikation der Belastungsmerkmale der Arbeitsaufgabe „Montage Buttstrap“ wurde der Gesamtablauf in einzelne Teilvorgänge aufgeschlüsselt.

Tabelle 1: Analyseauszug für Teilvorgänge einer Arbeitsaufgabe am Beispiel „Montage Buttstrap“

Montage Buttstrap (BS) Sektion 19 (Auszug)				
Belastungsarten	Teilvorgänge (repräsentative Körperhaltungen)			
	BS auf Endmaß bohren	Kupplungen (KP) positionieren	BS montieren & KP auf Endmaß bohren	BS und KP nieten
				
Risiko				
Körperhaltung	1,0	13,5	10,5	6,5
Aktionskräfte	0,0	1,5	0,0	0,0
Manuelle Lastenhandhabung	23,5	0,0	29,5	17,5
Zusätzliche Belastungen	10,0	15,0	12,0	10,5
Gesamtrisiko (pro Teiltätigkeit)	34,5 Gelb	30,5 Gelb	52,0 ROT	34,5 Gelb
Notwendige Reduzierung in Punkten zur Minimierung der Belastung				
Notwendig für Risikobereich Gelb	-	-	2,5 Pkt.	-
Notwendig für Risikobereich Grün	10,5 Pkt.	5,5 Pkt.	27,0 Pkt.	9,5 Pkt.
Identifizierung von Stellschrauben				

Für jeden dieser Teilvorgänge wurden wiederum die spezifisch auftretenden Belastungsarten ermittelt und mit Hilfe der entsprechenden (adaptierten) Expertenverfahren der Risikobewertung zugeführt (Abbildung 11).


Gesamtpunktwert	Risiko	Potentiale für Stellschrauben	
Körperhaltung	10,5	Belastende Einzeltätigkeit: T-Profile bohren und Hefter setzen Stehen + Gehen = 1,2 Pkt. + Stehen gebeugt = 7,0 Pkt. + Reichweite = 2,0 Pkt. + Gesamtrisiko = 10,5 Pkt.	
Aktionskräfte	0,0		
Lastenhandhabung	29,5		
Zusätzliche Belastungen	12,0		
Gesamtrisiko (Schicht)	52,0 ROT	Belastende Einzeltätigkeit: Umsetzen des ADU zum Bohren der Kupplungen Anzahl = 6,6 Pkt. x (Lastgewicht = 1,4 Pkt. + Körperhaltung = 3,0 Pkt. +) Gesamtrisiko = 29,5 Pkt.	
Belastende Einzeltätigkeit: Gesamte Bohrtätigkeiten, T-Profile von Innen bohren Arbeiten unter Atemschutz = 10,0 Pkt. Stehen auf Innenkante = 2,0 Pkt.			

Abbildung 11: Detaillierte Bewertung der Belastungsarten am Beispiel des Teilvorganges „Buttstrap montieren und Kupplungen auf Endmaß bohren“ (vgl. auch Tabelle 1)

Darauf basierend wurde das Potential für mögliche Stellschrauben und die notwendige Reduzierung in Punkten zur Minimierung der Belastung abgeleitet. Die arbeitswissenschaftliche Beurteilung der Tätigkeiten erfolgte für alle in EMMA rot bewerteten Arbeitsaufgaben. Durch Einbeziehung vor- und nachgelagerter Aufgaben konnten zudem Effekte der physischen Superposition durch multiple Belastungen im Kontext der detaillierten Untersuchungen berücksichtigt werden.
Stellschraubenkonzept (Schritt 5)

Eine Veränderung vorhandener Belastungssituationen kann grundlegend über die Beeinflussung der Ausprägung eines oder mehrerer Belastungsmerkmale erfolgen. Diese sind eng mit unterschiedlichen Parametern verknüpft. Ändert man diese als Stellschrauben verkörpert Parameter, können sowohl Merkmalsausprägungen als auch Gesamtbewertungen positiv beeinflusst werden (Abbildung 12).

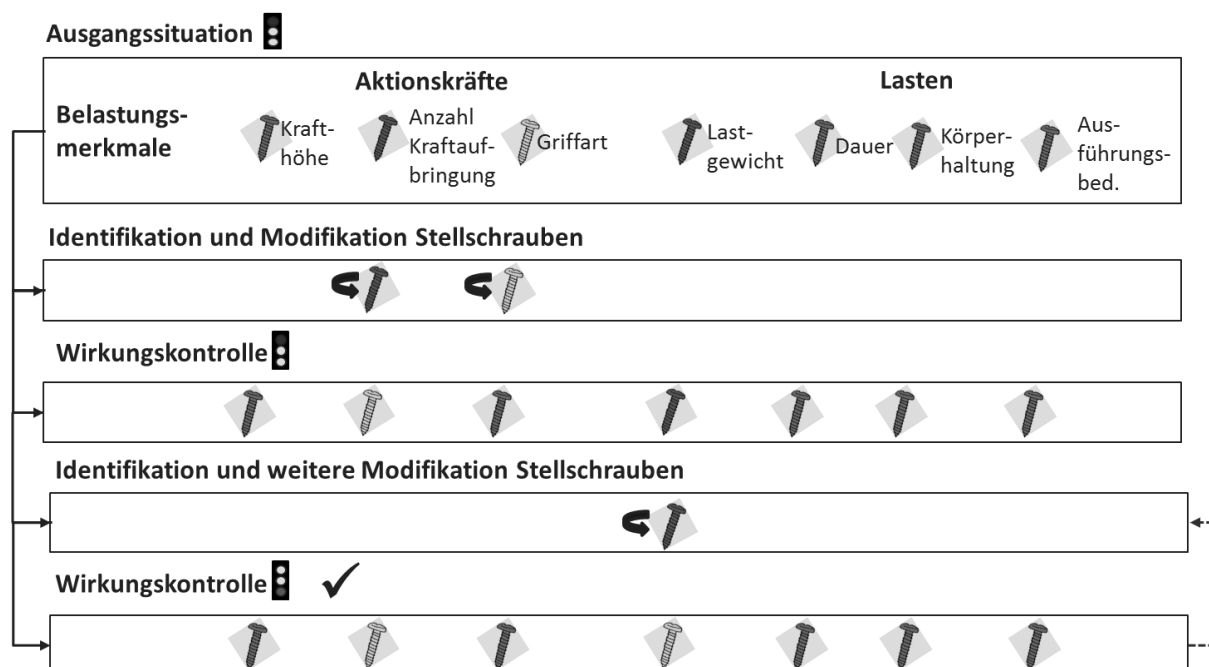


Abbildung 12: Konzept zur Identifikation von Stellschrauben

Die Ausgangssituation wird mit Hilfe der Verfahren, wie im Abschnitt zuvor erläutert, beurteilt. Als Ergebnis liegen Stellschrauben vor, die Auskunft über Belastungsschwerpunkte geben. Durch das „Drehen“ an den Stellschrauben, das heißt der Modifikation des Belastungsmerkmals, z.B. Dauer der Lastenhandhabung, wird eine Reduzierung der Belastung und damit des Risikos erreicht. In einer anschließenden Wirkungskontrolle wird geprüft, ob die Modifikation der Stellschraube ausreichend war, also ob das „Drehen“ an der Stellschraube die Belastung (Punkte) auf ein akzeptables Risiko reduzieren kann. Ist dies der Fall, können technische Lösungskonzepte zur entsprechenden Modifikation erarbeitet werden. Konnte keine genügende Minimierung der Belastung erreicht werden, so mussten weitere identifizierte Stellschrauben „gedreht“ werden, bis das Risiko auf das gewünschte Niveau reduziert wurde. Als Zwischenschritte erfolgen dabei stets Wirkungskontrollen.

Zur genaueren Identifikation der Belastungsmerkmale wurde unter anderem auf Video- und Fotoaufzeichnungen aus den Vor-Ort-Analysen zurückgegriffen. Ergänzend hierzu erfolgte die Analyse der jeweils vorgefundenen IST-Zustände mit Hilfe des digitalen Menschmodells CharAT Ergonomics (vgl. Beispiel Abbildung 13). Das digitale Menschmodell verkörpert ein Modell des Menschen, welches die jeweils im Gestaltungsprozess erforderlichen menschlichen Eigenschaften softwaretechnisch umsetzt und Simulationsalgorithmen beinhaltet (Kamusella 2015).



Abbildung 13: Simulation, Bewertung, Modifikation und Wirkungskontrolle von Stellschraubenkonzepten am Beispiel der Arbeitsaufgabe „Bohrschablonen montieren und Kupplungen auf Endmaß bohren“

Neben dem Einsatz der darin enthaltenen Ergotyping®-Tools „Posture Analysis“, „Body Forces“ und „Visibility“ (Kamusella 2013) diente der Einsatz des digitalen Menschmodells vor allem der Simulation unterschiedlicher Nutzerkollektive in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht, Perzentil und Somatotyp sowie zur Wirkungskontrolle nach der Modifikation von Stellschrauben.

2.4.5 Ableitung konkreter Gestaltungskonzepte und Wirkungskontrolle (Schritt 6/7)

Im 6. Schritt wurden anhand der identifizierten und gewählten Stellschrauben konkrete technische Lösungskonzepte mit dem Ziel einer Reduzierung der Belastungen auf ein akzeptables Niveau entworfen. Die Lösungskonzepte zur Gestaltung ergonomischer Arbeitssysteme folgten, soweit möglich, der in der Arbeitswissenschaft gängigen Maßnahmenhierarchie (TOP-Prinzip).

Abschließend erfolgte eine Kontrolle zur Überprüfung der Wirksamkeit der vorgeschlagenen Maßnahmen. Die Auswirkungen wurden in großen Teilen virtuell mit Hilfe der oben angeführten Ergotyping®-Tools unter Nutzung von CharAT Ergonomics simuliert. Weiterhin wurden die Arbeitsaufgaben unter Berücksichtigung der neuen Randbedingungen erneut der Expertenbeurteilung (Schritt 4) zugeführt.

Im Idealfall konnte eine ausreichende Reduzierung der Belastung auf ein vertretbares Risiko festgestellt werden. Wenn nicht, erfolgte eine Iterationsschleife zur Identifikation weiterer Stellschrauben (Schritt 5) bzw. die Anpassung der technischen Lösungskonzepte, bis in einer erneuten Wirkungskontrolle die ausreichende Risikosenkung nachgewiesen werden konnte. Zum direkten Vergleich mit den ursprünglichen Analysen fand zusätzlich eine weitere Wirkungskontrolle mit dem EMMA-Verfahren statt. Für ausgewählte Lösungskonzepte wurden zudem prototypische Aufbauten angefertigt und in Form von Laborstudien getestet (vgl. auch Kapitel 5).

3. Ausgewählte technische Lösungskonzepte

Im Folgenden sind drei ausgewählte technische Lösungskonzepte dargestellt, die im Rahmen des Vorhabens gemeinsam entwickelt wurden. Bei deren Umsetzung würde sich ein besonders hohes Verbesserungspotential ergeben.

Die Prinzipien eignen sich auch für den produktionslinienübergreifenden Einsatz und könnten daher als „Best-Practice“-Beispiele dienen.

3.1 ERGO-Stuhl zur Vermeidung starker Rumpfbeugung bei körperfernen Arbeiten

Bei der Montage der Rumpfsegmente muss eine große Anzahl an Bohrungen an verschiedensten Bauteilen vorgenommen werden, um sie anschließend über Nieten miteinander verbinden zu können. Diese Arbeitsaufgaben erstrecken sich über einen langen Zeitraum. Insbesondere gilt dies auch für die Erstellung der Längsnaht am oberen Rumpfsegment (Dauer: mehrere Arbeitsschichten pro Flugzeug).

Bei der Erstellung der Bohrungen muss im Stehen bzw. mit starker Vorneigung des Oberkörpers oder im Hocken gearbeitet werden, da die Rumpfstruktur nicht belastet werden darf. Das Bohren auf Endmaß erfolgt mit einer automatischen Bohreinheit (*automatic drilling unit*, kurz: ADU), die inklusive Absaugschläuchen ein Gewicht von bis zu 5 kg aufweist. Damit ergeben sich belastende Einzeltätigkeiten durch Umsetzen der ADU in Verbindung mit Körperzwangshaltungen.

Zur Reduzierung dieser Belastungen lag bereits zu Projektbeginn eine erste prototypische Lösung seitens Airbus vor (vgl. Abbildung 14). Dabei handelte es sich um einen Stuhlaufbau zur Durchführung der Arbeit im Sitzen bei gleichzeitiger Abstützung des Oberkörpers, welcher entlang des Rumpfsegmentes verfahren werden kann. Damit lässt sich zwar die Belastung durch Zwangshaltungen verringern, nicht jedoch das erhöhte Risiko durch Lastenhandhabung (Bohren mit ADU). Hierfür wurde zunächst eine Vorrichtung zur Aufnahme der ADU konzipiert, welche sich durch eine kleine und modulare Bauweise auszeichnet und rein mechanisch, jedoch ohne Kraftanstrengung verfahren werden kann. Ziel war es eine Lösung zu entwickeln, die auch in Kombination mit dem Stuhlkonzept genutzt werden kann.

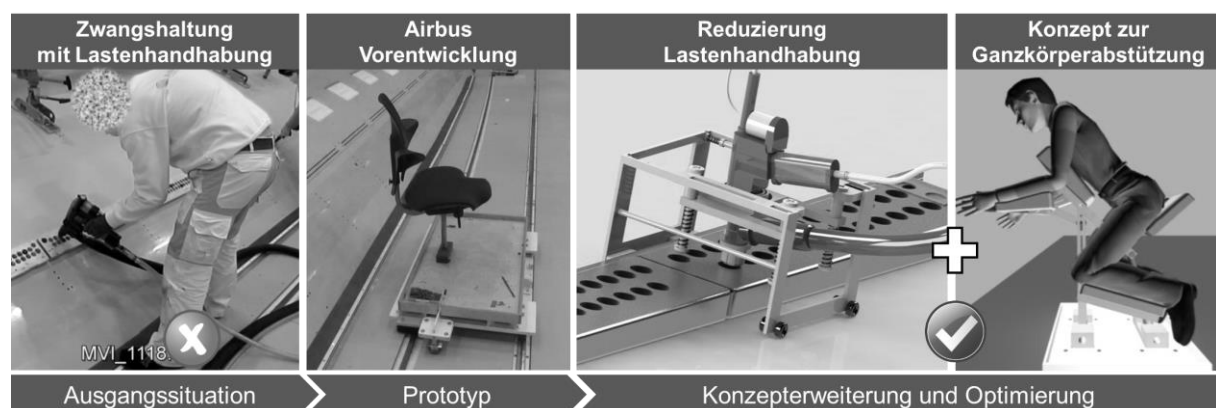
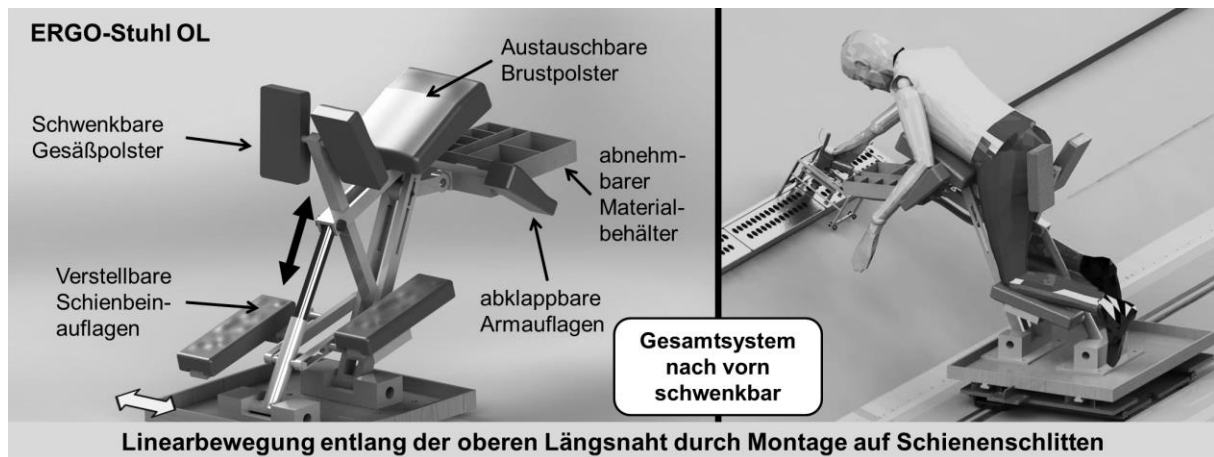


Abbildung 14: Ausgangssituation bei der Erstellung der oberen Längsnaht am Flugzeugrumpf, erste prototypische Lösung und Konzept zur Optimierung des Lösungsprinzips

In einem weiteren Schritt wurde auf Basis durchgeführter Untersuchungen und Befragung der Mitarbeiter eine Weiterentwicklung des Stuhlkonzeptes vorgenommen. Dieses zeichnet sich durch eine geschlechtsspezifisch anpassbare Abstützung der (vorgeneigten) Brust, der variablen Einstellung der Neigung und der individuellen Einstellbarkeit der Funktionsflächen für alle Nutzertypen (Frau 5. Perzentil bis Mann, 95. Perzentil) aus (Abbildung 15). Optional können Armauflageflächen und Ablageflächen angebracht werden. Alle Einstellmöglichkeiten beruhen auf einem rein mechanischen Konzept. So lässt sich die Arbeitsposition allein durch Verlagerung des Körperschwerpunktes nach vorn oder hinten ändern.



Durch die Kombination der beiden vorgeschlagenen Lösungsprinzipien ist ein erheblich höheres Verbesserungspotential zu erwarten, als durch die jeweiligen Einzelösungen. Das Kombinationsprinzip ist in Abbildung 15 (rechts) dargestellt.

3.2 System zur Entkopplung der Direktsicht zur Wirkstelle bei Überkopf-Arbeit

Ein hoher Anteil der bei der Flugzeugrumpfmontage identifizierten ungünstigen Körperhaltungen resultiert aus bauteilbedingten Überkopfarbeiten, die eine Direktsicht an der Wirkstelle voraussetzen. So auch bei der Erstellung der unteren Längsnaht. Hierzu müssen entlang des unteren Rumpfsegmentes zunächst Löcher von innen nach außen vorgebohrt werden. Anschließend müssen per Hand an der Außenhaut Bohrschablonen (Gewicht 3-10 kg) angebracht werden, mit deren Hilfe im darauf folgenden Arbeitsgang die Löcher mit einer ADU (ca. 5 kg) auf Endmaß gebohrt werden. Belastungen entstehen hier vor allem im Hand-Arm-System durch Umsetz- und Haltevorgänge von Betriebsmitteln über Kopf sowie im Schulter-Nackengebiet durch erhöhte visuelle Anforderungen (Sichtkontrolle des Bohrvorganges).

Einen möglichen Ansatz zur Reduzierung dieser Belastungen stellt die Entkoppelung der Direktsicht von der Wirkstelle dar. Hierfür wurde das in Abbildung 16 dargestellte Lösungskonzept entwickelt.



Abbildung 16: Ausgangssituation (links) und Lösungskonzept für eine Multifunktionseinheit zur Erstellung der unteren Längsnaht am Flugzeugrumpf (Mitte: Bereitstellung und Montage von Bohrschablonen. Rechts: Einsatz als teilautomatisierte Bohrvorrichtung)

Es beinhaltet eine mechanische Kinematik, die eine ergonomisch günstige Bedienung des Bohrwerkes zulässt, gleichzeitig aber auch für die Montage der Bohrschablonen verwendet werden kann. Damit entfallen sowohl Lastenhandhabung als auch langandauernde Überkopfarbeit mit den Händen. Zur Reduzierung der Schulter-Nacken-Belastung wurde eine Schnittstelle integriert, mit der sich die Bohrvorgänge indirekt visualisieren lassen. Dies erfolgt auf Basis eines Kamera-Monitor-Systems, wie in Abbildung 17 abgebildet. Die Kamera erfasst dabei einen auf das Schalen-segment projizierten Laserpunkt, anhand dessen der Bohrer via Fernsteuerung über der Bohrstelle positioniert werden kann. Die Visualisierung erfolgt über einen Monitor. Anschließend kann der Bohrvorgang über eine Steuerkonsole ausgelöst werden.



Abbildung 17: Darstellung des Wirkprinzips „Entkopplung der Direktsicht zur Wirkstelle (links) und Risikobeurteilung am Prototyp (rechts)

Im Rahmen der Konzepterprobung wurde ein Prototyp im Versuchslabor der Professur für Arbeitswissenschaft aufgebaut. An diesem Mockup wurden verschiedene konstruktive Ansätze getestet, Zeitaufnahmen zur Erfassung der Dauer eines Bohrvorganges im Vergleich zur Ausgangssituation durchgeführt sowie Untersuchungen zur erreichbaren Genauigkeit. Alle Tests lieferten positive Ergebnisse. Durch Umsetzung dieses Konzeptes könnten mehrere zuvor kritisch (rot) eingestufte Arbeitsaufgaben eine signifikante Verbesserung erfahren.

3.3 KNIE-Stuhl – Konzept

Ein besonderes Augenmerk lag auf der Reduzierung physischer Belastungen durch kniende Arbeiten auf unebenen Strukturteilen. Die zunehmende Bedeutung der Thematik wird auch durch die Aufnahme der Gonarthrose in die Liste der Berufskrankheit als Nr. 2112 im Jahr 2009 unterstrichen. Gonarthrose oder auch Kniegelenksarthrose ist ein vorzeitiger Verschleiß der Gelenkflächen des Kniegelenkes, welcher durch häufiges, langandauerndes Knieen entstehen kann und beim Betroffenen dauerhafte Schmerzen im Kniebereich hervorrufen kann (BMAS 2009).

Solche Tätigkeiten treten im Bereich der Struktur- und Ausrüstungsmontage an einer Vielzahl von Arbeitsstellen auf und bedürfen daher besonderer Aufmerksamkeit. Bereits im Vorfeld wurde hierzu der Prototyp eines Knie-Stuhls durch den Projektpartner beschafft und in einer Studie untersucht. Im Rahmen der von El-Zein (2013) durchgeführten Studie erfolgte eine vergleichende Untersuchung kniebelastender Tä-

tigkeiten mit und ohne unterstützende kniende Körperhaltung zur Einstufung der Belastung in das Airbus Online Tool EMMA. Dabei wurde berücksichtigt, dass der Knie-Stuhl auf zwei Arten verwendet werden kann.

Befindet sich die Arbeitsstelle vor dem Beschäftigten auf Bodenniveau, kann der Oberkörper auf der Polsterfläche abgestützt werden (Abbildung 18, zweites Bild von rechts). In einer Arbeitshöhe von 0,5 m bis 1,0 m über dem Boden kann der Knie-Stuhl auch in umgekehrter Weise genutzt werden. Das heißt, der Beschäftigte sitzt auf dem Polster (Abbildung 18, rechts). In beiden Fällen besteht die Möglichkeit, die Unterschenkel auf den Schienbeinpolstern so abzustützen, dass die Knie keine direkte Druckbelastung erfahren.



Abbildung 18: Ausgangssituation und Lösungskonzept zur Reduzierung der Kniebelastung in der Flugzeugmontage bei knienden Tätigkeiten (Einsatz universell)

In einer gemeinsamen Erprobung wurde das Konzept sowohl unter Laborbedingungen (Abbildung 19) als auch in Praxisversuchen evaluiert und Verbesserungspotentiale für den Einsatz herausgearbeitet.

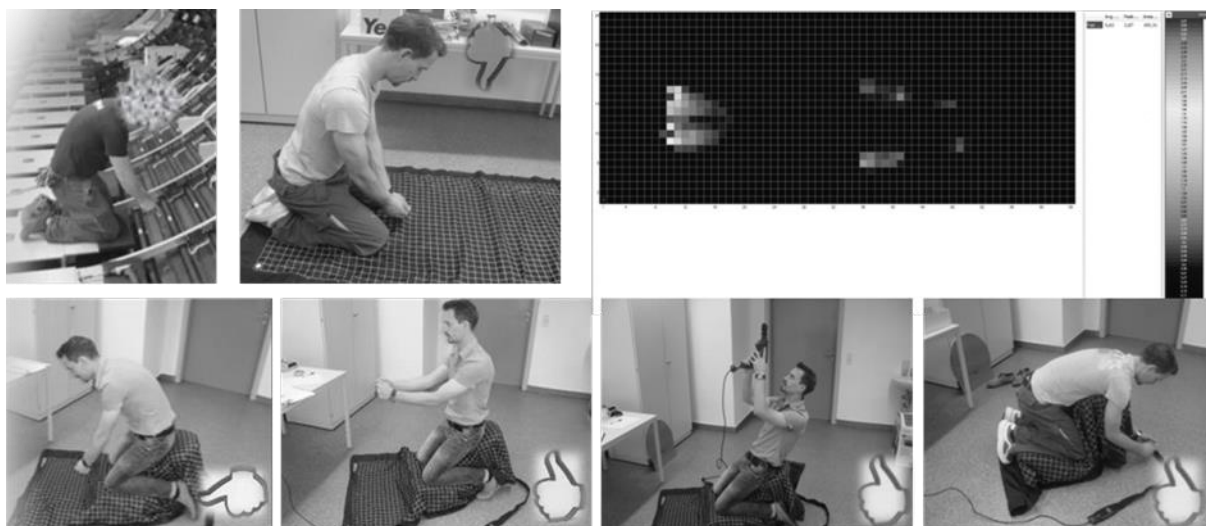


Abbildung 19: Laborstudie zum Nachweis der Verringerung der Druckbelastung auf die Knie. Oben: Vergleichsmessung Ausgangssituation. Unten: Messungen auf dem Knie-Stuhl in verschiedenen Haltungen.

Die Auswertungen der Labortests, die neben einer Messung der auftretenden Flächenpressung an Beinen und Gesäß auch Tests mit unterschiedlichen Probanden beinhalteten, zeigten vor allem Diskrepanzen bei der Benutzung durch sehr große Personen. Hierfür wurden Verbesserungsvorschläge zur Anpassung des Kniestuhles erarbeitet. Prinzipiell eignet sich das Konzept jedoch sehr gut, um einer übermäßigen Belastung der Kniegelenke entgegen zu wirken.

4. Diskussion und Ausblick

Anders als in der Automobilindustrie, wo vergleichsweise kurze Takte und handhabbare Baugruppen oder Fertigungsmittel für Montagelinien prägend für Fertigungsprozesse sind, erschweren bauartbedingt typisch luftfahrtspezifische Rahmenbedingungen ergonomisch günstig gestaltete Arbeitsplätze. Allein aufgrund der Produktgröße sind spezialisierte Montageteams unterschiedlicher Gewerke oft an bestimmte Bauplätze gebunden und führen nicht selten weitaus komplexere und / oder langwierigere Tätigkeiten aus als ihre Pendants an hoch arbeitsteiligen Fahrzeug-Montagelinien. Diese Gegebenheiten, in Kombination mit an Hersteller von Luftfahrzeugen gestellten, hohen Sicherheitsanforderungen führen daher bereits im Vorfeld häufig zu produkt- und bauartbedingt gezogenen Eingrenzungen für mögliche Gestaltungskonzepte. Wenngleich die in der Arbeitswissenschaft gängige Maßnahmenhierarchie (TOP-Prinzip) angewendet wurde, konnten daher direkt am Produkt ansetzende technische Gestaltungsvarianten nicht primär berücksichtigt werden. Durch eine systematische Vorgehensweise konnten jedoch technische Lösungsprinzipien zur Reduzierung physischer Belastungen erarbeitet werden, welche sowohl für die A350 XWB Produktion, als auch für andere Montagelinien anwendbar sind.

Auch wenn die neu errichtete A350 XWB - Montagelinie bereits auf einem sehr guten ergonomischen Level zu verorten ist, zeigte sich durch die im Vorfeld durch den Projektpartner erstellten Analysen doch ein gewisses Verbesserungspotential. Bei Einführung aller erarbeiteten Gestaltungslösungen könnte das Risiko durch physische Belastungen bei einer Vielzahl der vorgefundenen Arbeitsaufgaben noch weiter reduziert werden (Abbildung 20).

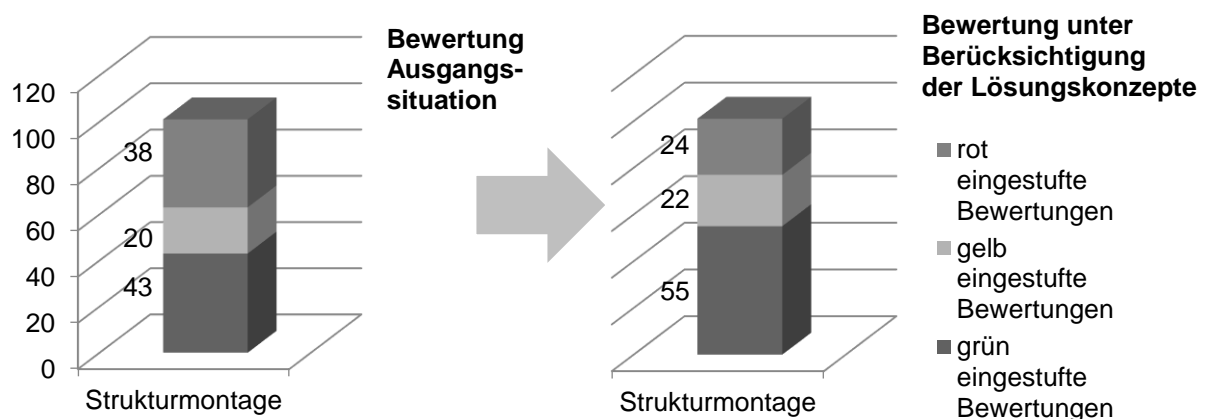


Abbildung 20: Analyseergebnisse der Ausgangssituation (links) und unter Berücksichtigung der potentiellen Lösungskonzepte (rechts) in der Strukturmontage

Es zeigte sich im Rahmen des Projektes jedoch auch, dass sich sowohl die Beurteilung von Körperzwangshaltungen bei der Arbeit an großen Bauteilen als auch die

Bewertung technischer Lösungskonzepte im Bereich der Flugzeugmontage schwierig gestaltet. Das von Airbus umgesetzte unternehmenseigene EMMA-Verfahren stellt hier aber bereits eine sehr gute Lösung dar.

Spezielle Körperhaltungen wie Liegen, Knien mit abgestütztem Oberkörper oder Knie-Sitz-Kombinationen mit dafür konzipierten Fertigungsmitteln können aber derzeit weder mit dem EMMA-Verfahren, noch mit anderen etablierten Methoden einer eindeutigen Bewertung zugeführt werden. Es fehlt an entsprechenden Untersuchungen und an wissenschaftlichen Erkenntnissen in Bezug auf auftretende Belastungen in den genannten Körperregionen. Hier ergeben sich neue Forschungsfelder, denen sich die Arbeitsgruppe Ergonomie an der Professur für Arbeitswissenschaft auch zukünftig widmen wird.

Die Einrichtung eines transnationalen Expertennetzwerks als Dialogplattform bzgl. ergonomierelevanter Problemstellungen im Flugzeugbau, bestehend aus Flugzeugherstellern, Zulieferern und wissenschaftlichen Einrichtungen, könnte hierbei einen wertvollen Beitrag leisten.

5. Literatur

- BMAS, Bundesministerium für Arbeit und Soziales (2009) Merkblatt zur Berufskrankheit Nummer 2112. In: Bek. des BMAS vom 30.12. 2009 – IVa 4-45222-2112 - GMBI 5/6/2010.
- El-Zein H (2013) Vergleichende Untersuchung kniebelastender Tätigkeiten mit und ohne unterstützende kniende Körperhaltung zur Einstufung der Belastung in das Airbus Online Tool EMMA. Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg: Fakultät Life Sciences, Bachelorarbeit.
- Kamusella C (2015) Methodenumsetzung in der digitalen Ergonomie. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg) Arbeitswissenschaft mit Interdisziplinarität und Methodenvielfalt. Dortmund: GfA-Press.
- Kamusella C, Schmauder M (2013) Derzeitige Möglichkeiten der Bewertung von Arbeitssituationen mit Ergotyping®-Tools. In: "sicher ist sicher - Arbeitsschutz aktuell" (64) 01/2013. Erich Schmidt Verlag, 12-18.
- Köhler L (2012) Präventionsergonomie zur Reduzierung physischer Belastungen für ausgewählte Tätigkeiten in der Rumpfmontage des A 350 XWB. Techn. Univ. Dresden: Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme, Professur für Arbeitswissenschaft, Diplomarbeit.
- Landau K, Wimmer R, Luczak H, Mainzer J, Peters H, Winter G (2001) Anforderungen an Montagearbeitsplätze. In: Landau K & Luczak H (Hrsg.) Ergonomie und Organisation in der Montage. München: Hanser, 1-82.
- Schmauder M, Spanner-Ulmer B (2014) Ergonomie - Grundlagen zur Interaktion von Mensch, Technik und Organisation. In: REFA Fachbuchreihe Arbeitsgestaltung (Hrsg). München: Hanser.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Fokus Mensch im Flugzeugbau

Herbstkonferenz der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Airbus Operations GmbH und
Zentrum für Angewandte Luftfahrt-
forschung (ZAL) in Hamburg

29. und 30. September 2016

GfA Press

**Dokumentation der Herbstkonferenz der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
vom 29. und 30. September 2016, Hamburg**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Dortmund: GfA-Press, 2016
ISBN 978-3-936804-21-8

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Konferenzband

Als Manuskript zusammengestellt. Dieser Konferenzband ist nur in der Geschäftsstelle (s. u.)
erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Dortmund**
Schriftleitung: Matthias Jäger

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.

USB-Print: Marlen Manke

Screendesign und Umsetzung

© 2016 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de