STIVEN CATALYST

DRITTE SERIE · NOVEMBER 2026

MANAGEMENT REVIEW

Management ohne Theater.



BETRIEB

WARTUNG, DIE ZUM AUSFALL PASST

Wie Fluglinien lernten, dass Überholungen Ausfälle nicht steuerten, sechs Ausfallmuster und die Badewanne mit 4 %, drei Fragen und vier Aufgaben, was eine Altersgrenze eine Triebwerkswerkstatt kosten würde, was „2.000 Stunden Lebensdauer“ heißen kann, und eine Karte.

89 % der von United Airlines untersuchten Flugzeugkomponenten hatten keine Verschleißzone: keine Altersgrenze half ihnen.

NOWLAN & HEAP, 1978

IN DIESER AUSGABE

TITELTHEMA
Von 339 Überholungen auf sieben
SEITE 03

DIE ZAHLEN
Sechs Muster, eine Badewanne
SEITE 04

WERKZEUG DER AUSGABE
Eine Karte für jede Aufgabe
SEITE 08

NR. 105 · BETRIEB

In dieser Ausgabe

Die meisten Wartungspläne sagen noch immer: alle so und so viele Stunden oder Monate zerlegen, erneuern, wieder einbauen. Das fühlt sich nach Sorgfalt an. Fluglinien prüften diesen Glauben vor fünfzig Jahren an ihren eigenen Ausfalldaten und fanden, dass er nur für wenige Teile galt. Diese Ausgabe fragt, welche Ausfälle ein festes Intervall verhindert, welche nicht und was stattdessen zu tun ist.

Nach den alten Regeln begann die Douglas DC-8 mit 339 Teilen auf planmäßiger Überholung, die mit der neuen Logik geplante DC-10 mit sieben. Von den Komponenten, die United Airlines auswertete, verschlissen nur 6 % in einem klaren Alter, 4 % folgten der Badewanne. Nowlan und Heap stellten zu jedem Ausfall drei Fragen und wählten unter vier Aufgaben. Ihr Triebwerksbeispiel zeigt eine Überholungsgrenze, die die Werkstatt füllt. Der Leitfaden der NASA ergänzt, wie man ein Teil beobachtet, das nachlässt. Eine Karte schließt die Ausgabe.

Stiven Janaqi HERAUSGEBER · STIVEN CATALYST

03 TITELTHEMA
Von 339 Überholungen auf sieben

04 DIE ZAHLEN
Sechs Muster, eine Badewanne

05 DAS MODELL
Drei Fragen, vier Aufgaben

06 WAS DIE FORSCHUNG SAGT
Was eine Altersgrenze die Werkstatt kostet

07 WIE ES GEMESSEN WIRD
Was „2.000 Stunden Lebensdauer" heißt

08 WERKZEUG DER AUSGABE
Eine Karte für jede Aufgabe

09 QUELLEN
Quellen und Methode

SO LESEN SIE DIESE AUSGABE

Zahl
Jede Zahl hat Quelle und Jahr unten auf ihrer Seite.

Unsere Lesart
Wo der Herausgeber deutet und nicht die Forschung, steht es dabei.

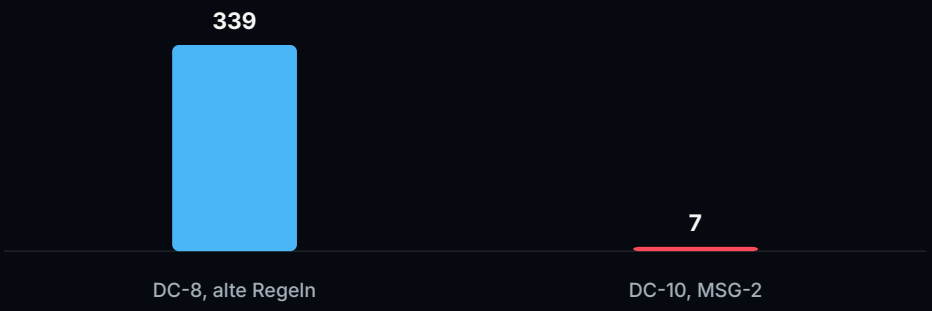
Praxis
Schritte und Karte sind Vorschläge zum Ausprobieren, keine Forschungsergebnisse.

TITELTHEMA

Von 339 Überholungen auf sieben

Ende der 1950er-Jahre waren die Wartungskosten der Fluglinien so gestiegen, dass ein neuer Blick nötig wurde. 1960 bildeten die US-Luftfahrtbehörde und die Fluglinien eine Arbeitsgruppe; ihr Zuverlässigkeitsprogramm vom November 1961 hielt fest, Zuverlässigkeit und die Steuerung der Überholungszeiten seien „nicht notwendigerweise direkt verbundene Themen“.

TEILE MIT PLANMÄSSIGER ÜBERHOLUNG IM ERSTEN WARTUNGSPROGRAMM



Das Turbinentriebwerk gehörte zu den Teilen ohne feste Überholung, was die Ersatztriebwerke für die Werkstatt um mehr als die Hälfte senkte. Bei der Boeing 747 brauchte United Airlines 66.000 Arbeitsstunden für große Strukturinspektionen bis zu einem Intervall von 20.000 Stunden; bei der kleineren DC-8 hatten die alten Regeln über 4 Millionen gekostet.

UNSERE LESART

Die Überholungen waren weder zu selten noch zu nachlässig. Bei den meisten Teilen stieg die Ausfallwahrscheinlichkeit mit dem Alter schlicht nicht.

Quelle: F. Stanley Nowlan & Howard F. Heap, United Airlines, for the Office of the Assistant Secretary of Defense (Manpower, Reserve Affairs and Logistics), 1978

Nowlan & Heap (1978), Abschnitt 1·1. Die Autoren schreiben, die Einsparungen kamen ohne Verlust an Zuverlässigkeit. Beide Programme sind Beispiele aus dem Bericht, kein kontrollierter Vergleich: Die DC-10 ist ein späteres, anderes Flugzeug. Der Lesehinweis gibt die Erklärung des Berichts selbst wieder.

DIE ZAHLEN

Sechs Muster, eine Badewanne

Während die Überholungsintervalle verlängert wurden, zeichnete United Airlines für viele Flugzeugkomponenten auf, wie wahrscheinlich eine Einheit, die ein bestimmtes Alter erreicht hat, im nächsten Intervall ausfällt. Die Kurven fielen in sechs Muster.

ANTEIL DER UNTERSUCHTEN KOMPONENTEN NACH AUSFALLMUSTER (UNITED AIRLINES, 1978)



Nur A und B, 6 %, verschlissen in einem klaren Alter, meist einfache Teile wie Reifen, Bremsbeläge und Verdichterschaufeln. Bei weiteren 5 % stieg das Risiko stetig. Die übrigen 89 % hatten keine Verschleißzone, keine Altersgrenze half ihnen.

UNSERE LESART

Das häufigste Muster beginnt mit Ausfällen direkt nach dem Einbau. Bei ihm ist der Anfang die riskanteste Zeit, nicht das Ende.

Quellen: F. Stanley Nowlan & Howard F. Heap, United Airlines, for the Office of the Assistant Secretary of Defense (Manpower, Reserve Affairs and Logistics), 1978; National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2008

Abbildung 2·13, Abschnitt 2·8. Anteile an Komponenten, nicht an Ausfällen; Anzahl und Jahre nennt der Bericht nicht. Der NASA-Leitfaden (2008) nennt eine schwedische Studie (1973) und eine der US-Marine (1982): mit den Airline-Daten 77–92 % der Ausfälle „zufällig“, nicht altersbedingt; die Marine fand Muster B bei 17 %.

DAS MODELL

Drei Fragen, vier Aufgaben

Nowlan und Heap beginnen nicht beim Teil, sondern bei dem, was sein Ausfall bewirkt. Die Entscheidung läuft in zwei Schritten: zuerst die Folge, die festlegt, was eine Aufgabe leisten muss, dann die Aufgaben in fester Rangfolge.

Zu jedem Ausfall fragen

Würde die Crew ihn bemerken? Wenn nicht, ist die Funktion verdeckt und braucht eine Prüfung.

Kann er die Sicherheit gefährden? Dann muss eine Aufgabe jeden Fall verhindern, sonst ändert sich die Konstruktion.

Stoppt er den Betrieb? Dann muss die Aufgabe weniger kosten als der Verlust.

Dann prüfen, in dieser Reihenfolge

Auf Anzeichen eines nahenden Ausfalls prüfen

Bei einer Altersgrenze überholen

Bei einer Lebensdauergrenze verwerfen

Für verdeckte Funktionen: eine Prüfung, die Ausfälle findet

Eine Inspektion wirkt nur, wenn sich ein nahender Ausfall erkennen, als Grenze festlegen und rechtzeitig finden lässt, etwa ein Riss mit bekannter Wachstumsrate oder ein Bremsstift unter 0,25 Zoll. Besteht keine Aufgabe die Prüfung, bekommt ein sichtbarer Ausfall ohne Sicherheitsrisiko keine planmäßige Aufgabe.

UNSERE LESART

„Bis zum Ausfall betreiben“ ist eine Entscheidung mit einer Begründung daneben, keine Lücke im Plan.

Quellen: F. Stanley Nowlan & Howard F. Heap, United Airlines, for the Office of the Assistant Secretary of Defense (Manpower, Reserve Affairs and Logistics), 1978; National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2008

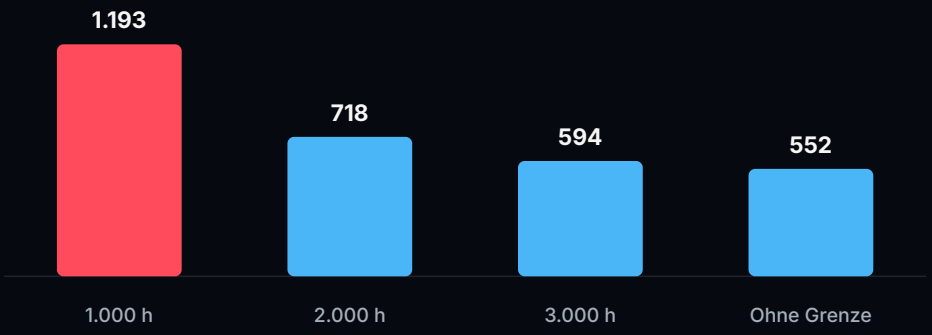
Abbildungen 4·2 und 4·3 und Abschnitte 3·1–3·4 bei Nowlan & Heap (1978); die Formulierung stammt von der Redaktion. Der Bremsstift ist eine Arbeitskarte von United Airlines in Abbildung 3·2. Der NASA-Leitfaden (2008) folgt derselben Logik und nennt Betrieb bis zum Ausfall „eine bewusste Entscheidung“. Risikobewertung mit FMEA steht in Nr. 28.

WAS DIE FORSCHUNG SAGT

Was eine Altersgrenze die Werkstatt kostet

Das Rechenbeispiel des Berichts ist das Triebwerk Pratt & Whitney JT8D-7 der Boeing 737 von United, aus 58.432 Betriebsstunden zwischen Mai und Juli 1974. Ohne Altersgrenze hielt ein Triebwerk im Schnitt 1.811 Stunden. Dann berechneten die Autoren die Werkstattlast bei drei Überholungsgrenzen.

TRIEBWERKE IN DER WERKSTATT JE 1.000.000 BETRIEBSSTUNDEN, AUSGEFALLEN PLUS GEPLANT, NACH ÜBERHOLUNGSGRENZE (1978)



Eine Grenze von 2.000 Stunden brächte rund 135 Ausfälle weniger, aber 166 Triebwerke mehr in die Werkstatt. Das lohnt sich nur, wenn eine geplante Überholung weniger als 45,1 % einer Ausfallreparatur kostet oder Ausfälle weitere Verluste bringen. Bei komplexen Teilen, so die Autoren, erhöht die Überholung oft die Ausfallrate, weil sie die Frühausfälle einer frischen Einheit zurückbringt.

UNSERE LESART

Eine Altersgrenze schickt immer mehr Einheiten in die Werkstatt. Die Frage ist, ob die eingesparten Ausfälle das wert sind.

Quelle: F. Stanley Nowlan & Howard F. Heap, United Airlines, for the Office of the Assistant Secretary of Defense (Manpower, Reserve Affairs and Logistics), 1978

Abbildung 3·3 und Abschnitt 3·2; die Säulen runden die Summen des Berichts (1.193,3; 717,9; 593,5; 552,2). Es sind Berechnungen der Autoren aus der Überlebenskurve eines Triebwerks, keine gezählten Überholungen. Ohne Grenze sind alle 552 Ausfälle; bei 1.000 Stunden sind 825 der 1.193 geplante Ausbauten.

WIE ES GEMESSEN WIRD

Was „2.000 Stunden Lebensdauer“ heißt

Nowlan und Heap zählen sechs Dinge auf, die derselbe Satz heißen kann: Kein Triebwerk fällt vor 2.000 Stunden aus; kein kritischer Ausfall davor; die Hälfte fällt vorher aus; das ausgefallene Triebwerk ist im Schnitt 2.000 Stunden alt; das Risiko ist bis dahin konstant; oder ein Teil hat eine Grenze von 2.000 Stunden.

0,692
der Triebwerke erreichten 1.000 Stunden

0,053
aller Triebwerke fielen zwischen 1.000 und 1.200 aus

0,077
das Risiko für ein Triebwerk, das 1.000 Stunden erreichte

Die letzte Zahl leitet die Wartung: die Wahrscheinlichkeit, im nächsten Intervall auszufallen, für eine Einheit, die bis hierher überlebt hat, 0,053 geteilt durch 0,692. Nach Alter aufgetragen zeigt sie, ob sich Ausfälle häufen. Eine Ausfallrate oder eine mittlere Lebensdauer zeigt das nicht, die Autoren geben ihr eine Nebenrolle. Der NASA-Leitfaden ergänzt eine Regel für Teile, die auf Verschleiß beobachtet werden: Sobald ein Messwert die Alarmgrenze überschreitet, drei- bis viermal so oft prüfen, etwa alle drei bis vier Wochen statt vierteljährlich.

UNSERE LESART

Zählen Sie Ausfälle nach dem Alter der Einheit seit der letzten Überholung, nicht nur nach Monat. Nur dann lässt sich eine Kurve zeichnen.

Quellen: F. Stanley Nowlan & Howard F. Heap, United Airlines, for the Office of the Assistant Secretary of Defense (Manpower, Reserve Affairs and Logistics), 1978; National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2008

Abschnitte 2·7 und 2·8 bei Nowlan & Heap (1978), das Triebwerk JT8D-7; Abschnitt 4·1 des NASA-Leitfadens (2008). Der Lesehinweis stammt von der Redaktion. Die MTBF im Wartungsplaner der Website ist eine Ausfallrate: nützlich für Intervalle und Kosten, stumm zur passenden Aufgabe. OEE steht in Nr. 48.

WERKZEUG DER AUSGABE

Eine Karte für jede Aufgabe

Eine Karte für jede Aufgabe im Wartungsplan, die sagt, warum sie dort steht. Der Maintenance Planner führt Aufgaben, Intervalle und Störungen je Anlage; die Karte ergänzt den Grund und das Datum, sie neu anzusehen.

01	**Funktion und Ausfall**	was sie leisten muss, mit Grenzwert, und wie sie versagt
02	**Würde es jemand bemerken?**	wenn nicht, ist sie verdeckt: eine Prüfung planen, die den Ausfall findet
03	**Folge**	Sicherheit, Stillstand oder nur die Reparatur
04	**Warnzeichen und Vorlaufzeit**	was ihn ankündigt, und wie lange vor dem Ausfall
05	**Aufgabe und warum dieses Intervall**	prüfen, überholen, verwerfen, finden oder bis zum Ausfall
06	**Ausfälle nach Alter, nächste Prüfung**	Stunden seit der letzten Überholung je Ausfall; Datum der neuen Entscheidung

Quellen: F. Stanley Nowlan & Howard F. Heap, United Airlines, for the Office of the Assistant Secretary of Defense (Manpower, Reserve Affairs and Logistics), 1978; National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2008

Die Karte ist ein Vorschlag der Redaktion, gestützt auf die Entscheidungsfragen und Aufgabenkriterien bei Nowlan & Heap (1978) und auf den NASA-Leitfaden (2008); sie ist kein geprüftes Instrument. Aufgaben zu überprüfen, sobald Ausfalldaten vorliegen, nennt der Bericht Age Exploration.

Tool öffnen: Wartungsplaner stivencatalyst.com/de/tools/maintenance-planner/

QUELLEN UND METHODE

Jede Zahl hat eine Quelle.

Die Zahlen dieser Ausgabe stammen aus den folgenden Quellen. Das Jahr zeigt, wie aktuell jede ist.

Reliability-Centered Maintenance (report AD-A066579)
F. Stanley Nowlan & Howard F. Heap, United Airlines, for the Office of the Assistant Secretary of Defense (Manpower, Reserve Affairs and Logistics), 1978
https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA066579

Reliability-Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment
National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2008
https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2023/06/nasa-rcmguide.pdf

REDAKTIONELLE METHODE

Jede Zahl wurde auf Jahr, Herausgeber und Bedeutung geprüft, am Volltext, wo er sich öffnen ließ. Eine nur in einer Zusammenfassung, einem Abstract oder Auszügen gelesene Quelle ist mit „über“ markiert. Eine Zahl, die sich im Gelesenen nicht bestätigen ließ, ist auf ihrer Seite so markiert oder fehlt. Die Deutung des Herausgebers ist als „Unsere Lesart“ markiert.



MANAGEMENT REVIEW

Management ohne Theater.

Jede Ausgabe eine Führungsfrage, geprüft an der besten Forschung.

ALLE AUSGABEN

stivencatalyst.com/de/magazine/management-review.html

Management Review · Nr. 105 · November 2026 · Stiven Catalyst
Herausgegeben von Stiven Janaqi, der sie verantwortet; „die Redaktion" ist in dieser Publikation er. Texte, Übersetzungen, Layout und die Prüfung der Zahlen an ihren Quellen entstehen in Arbeitssitzungen mit Claude, einem KI-Modell von Anthropic.
stivencatalyst.com/de/how-this-is-made.html