

# Datenanalyse im technischen Umfeld

## Von Daten zu belastbaren Entscheidungen

Torsten Renz, 11.07.2026

### **Daten allein schaffen noch keinen Mehrwert.**

Erst ihre systematische Analyse und die Einbettung in den technischen Kontext machen sie zur Grundlage fundierter Entscheidungen.

Technische Systeme werden komplexer, während Anforderungen an Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Sicherheit und Wirtschaftlichkeit steigen. Gleichzeitig wachsen die Datenbestände rasant. Doch Daten allein liefern noch keine belastbaren Antworten: Sie sind oft unvollständig, heterogen, zensiert oder nicht ausreichend dokumentiert. Genau hier beginnt der Wert statistischer Datenanalyse.

Dieses Whitepaper zeigt, wie aus technischen Daten entscheidungsrelevantes Wissen entsteht. Im Fokus stehen Lebensdaueranalysen, der Umgang mit zensierten Be-

obachtungen, belastbare Parameter für RAMS- und LCC-Modelle sowie die Klassifikation technischer Zustände aus Sensordaten.

Der besondere Nutzen entsteht durch die Verbindung von Statistik, Systemverständnis, Modellierung und praktischer Projekterfahrung.

IZP betrachtet Datenanalyse daher als Teil einer ganzheitlichen Systembewertung: Daten liefern Parameter, Modelle beschreiben Zusammenhänge, und Unsicherheiten werden sichtbar gemacht, statt verdeckt zu bleiben.

### **Kernaussage:**

Statistische Datenanalysen machen technische Unsicherheiten sichtbar, quantifizierbar und damit entscheidbar.

## Inhalt

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Motivation: Daten sind vorhanden – belastbare Aussagen fehlen häufig.....     | 3  |
| Daten als Engpassfaktor.....                                                  | 4  |
| Datenmenge ist nicht gleich Datenqualität .....                               | 4  |
| Typische Datenprobleme.....                                                   | 4  |
| Datenanalyse im Kontext von RAMS und LCC.....                                 | 5  |
| Parameter als Grundlage jeder Systembewertung.....                            | 5  |
| Wirkung der Parameterunsicherheit .....                                       | 5  |
| Methodische Bausteine statistischer Datenanalysen.....                        | 6  |
| Deskriptive und explorative Analyse .....                                     | 6  |
| Schließende Statistik .....                                                   | 6  |
| Lebensdauer- und Zuverlässigkeitsanalyse .....                                | 6  |
| Multivariate Analyse und Klassifikation .....                                 | 6  |
| Typische Fragestellungen für Betrieb und Instandhaltung .....                 | 6  |
| IZP-Ansatz: Datenanalyse im Systemkontext.....                                | 7  |
| Vom Datenpunkt zum Systemverständnis.....                                     | 7  |
| Verbindung von Statistik, Modellierung und Simulation.....                    | 7  |
| Umgang mit unvollständigen Daten .....                                        | 7  |
| Abgrenzung zu klassischer Data Science .....                                  | 7  |
| Praxisbeispiele.....                                                          | 8  |
| Wahl eines geeigneten Lebensdauermerkmals.....                                | 8  |
| Berücksichtigung zensierter Lebensdauerdaten.....                             | 9  |
| Schadensklassifikation auf Basis von Sensordaten.....                         | 10 |
| Grenzen statistischer Datenanalysen.....                                      | 11 |
| Nutzen für Anwender und Entscheider .....                                     | 12 |
| Allgemeines Vorgehen bei der Beantwortung von Fragen mithilfe von Daten ..... | 13 |
| Fazit.....                                                                    | 14 |
| Abkürzungs- und Begriffsverzeichnis.....                                      | 14 |
| Literaturverzeichnis.....                                                     | 15 |

## Motivation: Daten sind vorhanden – belastbare Aussagen fehlen häufig

Viele Unternehmen verfügen heute über umfangreiche Datenquellen: Betriebsdaten, Instandhaltungsdaten, Ausfallmeldungen, Messwerte aus Prüfständen, Sensordaten aus Feldanwendungen oder Kosteninformationen aus Serviceprozessen. Dennoch bleibt häufig offen, welche Schlussfolgerungen daraus wirklich gezogen werden dürfen.

Im technischen Umfeld ist diese Frage besonders kritisch. Entscheidungen zu Auslegung, Betrieb, Instandhaltung oder Lieferantenauswahl wirken sich direkt auf Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Sicherheit und Lebenszykluskosten aus. Falsche oder zu optimistische Aussagen können zu unerwarteten Ausfällen, erhöhten Kosten oder nicht eingehaltenen Verfügbarkeitszielen führen. Einfache Mittelwerte, Trendlinien oder Diagramme sind für eine erste Orientierung hilfreich. Für belastbare Prognosen, Risikoabschätzungen oder Systembewertungen reichen sie jedoch in vielen Fällen nicht aus. Dazu braucht es statistische Methoden, ein klares Analyseziel und ein Verständnis für die technischen Randbedingungen.

Dieses Whitepaper richtet sich an technische Entscheider, Ingenieure, RAMS- und LCC-Verantwortliche sowie Projektteams, die aus vorhandenen oder noch zu erhebenden Daten belastbare Aussagen für technische Entscheidungen ableiten wollen. Datenanalysen bilden dabei das Bindeglied zwischen verfügbaren Daten, technischer Fragestellung und belastbarer Entscheidung.

Sie beantworten daher nicht nur, was in den Daten erkennbar ist, sondern welche Aussage daraus mit welcher Belastbarkeit abgeleitet werden kann.

Im technischen Umfeld können Datenanalysen unterschiedliche Zielrichtungen verfolgen:

- Prognosen, etwa zur Lebensdauer von Komponenten, zur zukünftigen Ausfallhäufigkeit oder zur Entwicklung von Lebenszykluskosten.
- Entscheidungsunterstützung, etwa bei Instandhaltungsstrategien, beim Benchmarking von Lieferanten, bei Vertragsbewertungen oder Betriebsoptimierungen.
- Risikoanalysen zur Bewertung seltener, aber kritischer Ereignisse.
- Erkennung von Zusammenhängen zwischen auftretenden Lastkollektiven, Betriebsbedingungen, Ausfallmechanismen und Kosten.
- Bereitstellung von Eingangsparametern für weiterführende RAMS-, LCC- oder Simulationsmodelle.

Ein zentrales Missverständnis besteht darin, von Datenanalysen eindeutige, deterministische Antworten zu erwarten.

In der Praxis sind technische Prozesse jedoch von zufälligen Einflüssen, schwankenden Betriebsbedingungen und unvollständiger Beobachtung geprägt. Analyseergebnisse sollten deshalb nicht nur als Einzelwerte, sondern stets zusammen mit ihrer Aussagequalität interpretiert werden. Dazu gehören Konfidenzintervalle, Signifikanzniveaus, Sensitivitätsbetrachtungen, Gütemaße für Modelle oder Fehlklassifikationsraten. Gerade wenn Analyseergebnisse als Eingangsparameter für Steuerungen, Instandhaltungsentscheidungen oder Vertragsbewertungen genutzt werden, ist die Kenntnis dieser Unsicherheit entscheidend.

## Praxisregel:

Am Anfang einer Datenanalyse steht nicht die Methode, sondern die Frage: Welche Entscheidung soll mit welcher Aussagequalität unterstützt werden?

## Daten als Engpassfaktor

In der Praxis zeigt sich häufig, dass nicht die Auswahl eines Algorithmus die größte Herausforderung darstellt, sondern die Verwendbarkeit der vorhandenen Daten. Daten können zwar umfangreich sein, für die konkrete Fragestellung aber nur eingeschränkt nutzbar.

### Datenmenge ist nicht gleich Datenqualität

Für belastbare Datenanalysen sind insbesondere folgende Eigenschaften entscheidend:

- **Struktur:** Sind die Daten eindeutig zu Einheiten, Zeitpunkten, Ereignissen und Betriebsbedingungen zuordenbar?
- **Qualität:** Sind Messwerte plausibel, vollständig und konsistent erfasst?
- **Relevanz:** Enthalten die Daten Informationen zu den Einflussgrößen, die für die Fragestellung wesentlich sind?
- **Vergleichbarkeit:** Betreffen die Daten gleichartige Betrachtungseinheiten unter vergleichbaren Randbedingungen?
- **Dokumentation:** Sind Belastungen, Einsatzprofile, Instandhaltungsmaßnahmen und Fehlerdefinitionen nachvollziehbar dokumentiert?

## Typische Datenprobleme

Besonders im Umfeld von Zuverlässigkeitsbetrachtungen und Instandhaltung treten wiederkehrende Datenprobleme auf:

- Zensierte Lebensdauerdaten, wenn Komponenten zum Analysezeitpunkt noch nicht ausgefallen sind.
- Heterogene Einsatzbedingungen, zum Beispiel unterschiedliche Lastkollektive, Fahrprofile, Umgebungen oder Nutzerverhalten.
- Geringe Stichprobenumfänge, insbesondere bei seltenen Ereignissen oder neuen Produkten.
- Unklare Fehlerdefinitionen, wenn Ereignisse in Datenbanken nicht einheitlich klassifiziert wurden.
- Fehlende Randbedingungen, etwa zur Betriebsdauer, Instandhaltungshistorie oder Beanspruchung.

Ein wesentlicher Teil einer professionellen Datenanalyse besteht daher darin, die Daten nicht nur zu verarbeiten, sondern ihre Aussagefähigkeit für die konkrete Fragestellung zu beurteilen.

## Datenanalyse im Kontext von RAMS und LCC

RAMS/LCC-Bewertungen betrachten Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit, Sicherheit und Lebenszykluskosten technischer Systeme. Im Mittelpunkt steht dabei nicht der einzelne Datenpunkt, sondern das Systemverhalten: Welche Verfügbarkeit ist zu erwarten? Wie häufig treten kritische Situationen auf? Welche Kosten entstehen über den Lebenszyklus?

### Parameter als Grundlage jeder Systembewertung

Analytische Modelle und Simulationen benötigen Eingangsparameter. Typische Größen sind:

- Ausfallraten oder zeitabhängige Ausfallwahrscheinlichkeiten.
- MTBF, MTTF oder andere Zuverlässigkeitskennwerte.

- Dauern korrekativer oder präventiver Instandhaltungsmaßnahmen.
- Wahrscheinlichkeiten für Fehlerfolgen oder Gefahrenstufen.
- Kosten für Ersatzteile, Personal, Stillstand, Vertragsstrafen oder Serviceleistungen.

Diese Parameter sind selten direkt gegeben. Sie müssen aus Feld-, Labor-, Prüfstands- oder Expertendaten abgeleitet werden. Die Parameterschätzung selbst ist damit eine Datenanalyse.

### Wirkung der Parameterunsicherheit

Die Unsicherheit der Eingangsparameter überträgt sich auf die Unsicherheit der Systembewertung. Eine scheinbar präzise Simulation kann daher irreführend sein, wenn die Eingangsparameter ungenau oder nicht belastbar sind. Professionelle RAMS/LCC-Analysen müssen die Herkunft, Qualität und Unsicherheit der Parameter transparent machen.

## Nicht nur für RAMS/LCC gilt:

Ohne belastbare Datenanalyse sind keine belastbaren Aussagen möglich.

Modellqualität beginnt bei der Parameterqualität.

## Beste Aussichten für Ihre berufliche Zukunft!

Fachqualifikation  
**RAMS/LCC**  
**SPECIALIST**



ZERTIFIKAT TÜV-RHEINLAND \* ONLINE ODER DIREKT IN DRESDEN

[www.izp.de/seminar](http://www.izp.de/seminar)

## Methodische Bausteine statistischer Datenanalysen

Statistische Datenanalysen umfassen mehrere Ebenen. Die Auswahl richtet sich nach Fragestellung, Datenstruktur und benötigter Aussagequalität.

### Deskriptive und explorative Analyse

Deskriptive Statistik beschreibt Daten durch Kennwerte wie Mittelwert, Median, Standardabweichung, Quantile oder Häufigkeiten. Explorative Analysen machen Muster, Ausreißer und Zusammenhänge sichtbar. Sie sind ein notwendiger Einstieg, ersetzen aber keine belastbare Schlussfolgerung.

### Schließende Statistik

Schließende Statistik erlaubt Rückschlüsse von beobachteten Daten auf eine Grundgesamtheit. Dazu gehören Konfidenzintervalle, Hypothesentests und Schätzverfahren. Sie ist zentral, wenn aus begrenzten Beobachtungen allgemeine Aussagen abgeleitet werden sollen.

### Lebensdauer- und Zuverlässigkeitsanalyse

Für technische Systeme sind Lebensdaueranalysen besonders wichtig. Typische Methoden sind Verteilungsanpassungen, Weibull-Analysen, Maximum-Likelihood-Schätzungen, Kaplan-Meier-Schätzer und Hazardratenanalysen. Sie bewerten Ausfallwahrscheinlichkeiten, Quantile, Alterungseffekte sowie Kenngrößen wie MTBF oder MTTF.

### Multivariate Analyse und Klassifikation

Wenn Beobachtungen durch mehrere Größen gleichzeitig bewertet werden, kommen multivariate Methoden zum Einsatz. Beispiele sind Regressionsmodelle, Diskrimi-

nanalysen, Clusteranalysen oder Machine-Learning-Verfahren. Entscheidend ist dabei, dass die Modellbildung technisch interpretierbar bleibt und die Güte der Analyseergebnisse bewertet wird.

## Typische Fragestellungen für Betrieb und Instandhaltung

In Betrieb und Instandhaltung treten regelmäßig Fragestellungen auf, die ohne statistische Datenanalyse nur eingeschränkt beantwortet werden können:

- Welches Lebensdauermerkmal ist für die Bewertung eines Systems geeignet: Betriebsstunden, Laufleistung, Schaltzyklen oder eine kombinierte Größe?
- Wie lassen sich aus wenigen Ausfällen und vielen laufenden Einheiten Ausfallwahrscheinlichkeiten ableiten?
- Wie kann das zeitliche Ausfallverhalten bewertet werden, um Alterungseffekte von Zufallsausfällen zu unterscheiden?
- Welche Ausfallraten, Reparaturzeiten oder Kostenparameter eignen sich für RAMS- oder LCC-Modelle?
- Welche Daten sind für ein FRACAS-System erforderlich, damit nicht nur Ereignisse dokumentiert, sondern Schwachstellen systematisch erkannt werden?
- Wie können technische Zustände aus Sensordaten klassifiziert und mit definierter Entscheidungssicherheit bewertet werden?

Die Beantwortung dieser Fragen ist selten eine reine Rechenaufgabe. Sie erfordert die Verbindung aus Datenverständnis, statistischer Methodik und technischem Systemverständnis.

## Positionierung:

IZP verbindet statistische Datenanalyse mit Systemverständnis und Modellierung - und schafft damit die Grundlage für belastbare technische Entscheidungen.

## IZP-Ansatz: Datenanalyse im Systemkontext

In vielen Anwendungen wird die Datenanalyse isoliert betrachtet: Daten werden gesammelt, statistisch ausgewertet und in Kennzahlen überführt. Im technischen Umfeld greift dieser Ansatz jedoch zu kurz. Die Relevanz einer Analyse entsteht erst durch die Einbettung in den Systemkontext.

### Vom Datenpunkt zum Systemverständnis

Technische Systeme lassen sich nicht allein durch Daten beschreiben. Entscheidend ist das Zusammenspiel von Systemstruktur, Betriebsbedingungen, Lastkollektiven, Instandhaltungsstrategien, Organisationsvorgaben und Umweltbedingungen. Im Zuge von Datenanalysen muss daher auch geklärt werden, wie die beobachteten Daten entstanden sind und für welche Betrachtungseinheiten daraus belastbare Aussagen abgeleitet werden dürfen.

### Verbindung von Statistik, Modellierung und Simulation

IZP verbindet statistische Datenanalysen mit Systemmodellierung. Die Daten liefern dabei Parameter, deren Unsicherheiten explizit berücksichtigt werden und die in Modelle zur Beschreibung von Systemstrukturen und

Wechselwirkungen eingehen. Simulationen ermöglichen anschließend die Bewertung unterschiedlicher Szenarien, Betriebsweisen oder Instandhaltungsstrategien.

Typische Modellansätze sind Fehlerbaumanalysen, Reliability Block Diagrams, Markov-Modelle und Monte-Carlo-Simulationen.

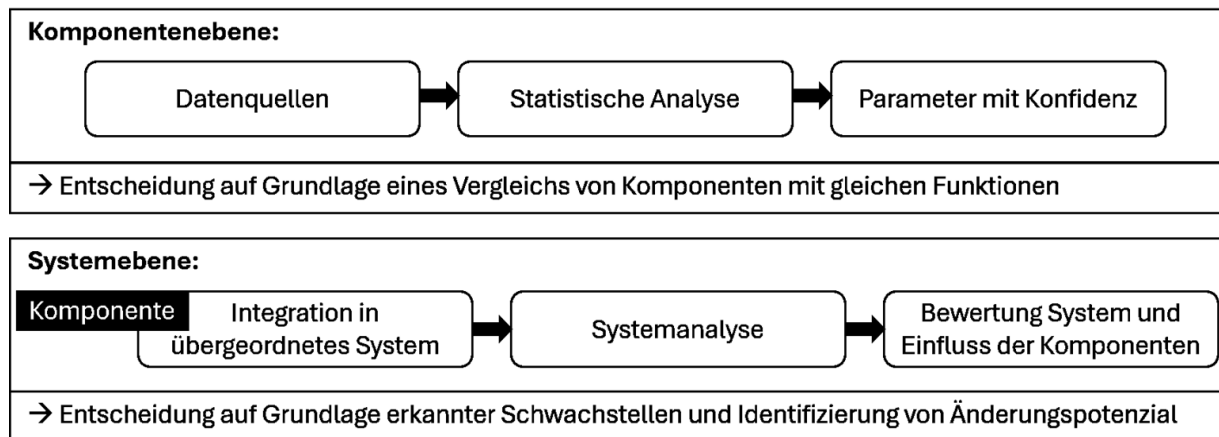
Die Datenanalyse liefert die belastbaren Eingangsparameter, während die Modelle das Verhalten des Gesamtsystems abbilden.

### Umgang mit unvollständigen Daten

Reale Projektdaten sind selten perfekt. Deshalb ist es entscheidend, belastbare Aussagen trotz Unsicherheit zu ermöglichen. Dazu können Feld- und Labordaten kombiniert, Expertenwissen strukturiert einbezogen, Sensitivitäten untersucht oder Simulationen genutzt werden, um Datenlücken transparent zu behandeln.

### Abgrenzung zu klassischer Data Science

Der Mehrwert liegt nicht in der Anwendung möglichst komplexer Algorithmen, sondern in der belastbaren Beantwortung technischer Fragen. KI- und Machine-Learning-Verfahren können dabei wertvolle Ergänzungen sein. Sie ersetzen jedoch weder Plausibilisierung und Validierung noch Unsicherheitsbewertung und Systemverständnis.



Datenanalyse als Verbindung zwischen Rohdaten, Systemmodell und Entscheidung (Grafik IZP)

## Praxisbeispiele

Die folgenden Beispiele zeigen typische Situationen, in denen statistische Datenanalysen im technischen Umfeld entscheidend sind. Sie sind bewusst praxisnah formuliert und zeigen jeweils das Problem, den methodischen Ansatz und den Nutzen.

### Wahl eines geeigneten Lebensdauermerkmals

Die Wahl eines geeigneten Lebensdauermerkmals ist eine grundlegende, aber häufig unterschätzte Frage der Zuverlässigkeitsanalyse. In der Praxis stehen oft mehrere Bezugsgrößen zur Verfügung, etwa Betriebsstunden, Laufleistung, Lastzyklen, Schaltspiele oder Kombinationen daraus.

Nicht selten wird das Merkmal gewählt, das am einfachsten verfügbar ist oder traditionell verwendet wird. Dies kann zu Verzerrungen führen, weil unterschiedliche Einsatzprofile oder Belastungsszenarien je nach Bezugsgröße verschieden stark wirken. Die Folge sind streuende Lebensdauerwerte, obwohl der eigentliche Schädigungsmechanismus möglicherweise stabiler beschreibbar wäre.

Methodisch ist jene Bezugsgröße zu identifizieren, bei der die beobachteten Lebensdauern relativ zum Mittelwert die geringste Streuung zeigen. Ein geeignetes Kriterium ist

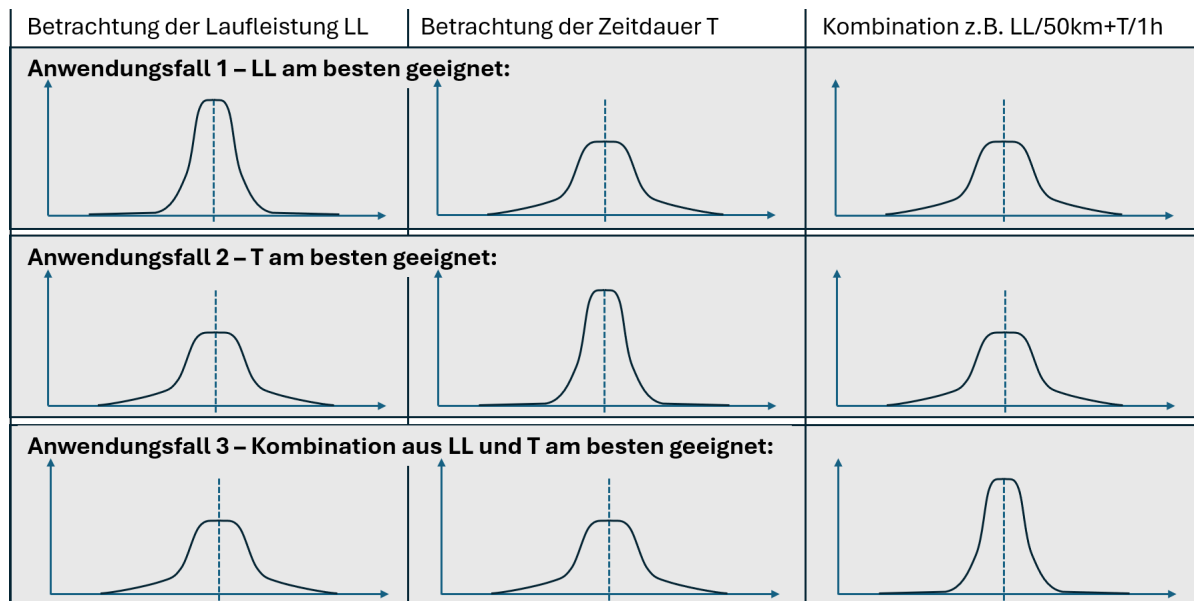
der Variationskoeffizient, also das Verhältnis von Standardabweichung zu Mittelwert. Ein niedrigerer Wert weist darauf hin, dass das Merkmal den Lebensdauerprozess treffender beschreibt.

Das Vorgehen umfasst typischerweise vier Schritte:

- Erfassung möglicher Lebensdauermerkmale für dieselben Betrachtungseinheiten.
- Plausibilisierung der Daten und Filterung auf vergleichbare Einheiten und Randbedingungen.
- Berechnung von Lage- und Streuungskennwerten sowie Variationskoeffizienten.
- Auswahl des Merkmals oder einer kombinierten Bezugsgröße mit der geringsten relativen Streuung.

Der Nutzen ist unmittelbar: Nachfolgende Verteilungsanpassungen, Quantilsschätzungen oder MTBF-Berechnungen beruhen auf einer stabileren Datengrundlage.

Dadurch werden Ausfallwahrscheinlichkeiten robuster, Vergleiche zwischen Varianten belastbarer und Instandhaltungsentscheidungen besser begründbar.



Vergleich verschiedener Lebensdauermerkmale, prinzipielle Darstellung der Verteilungsdichten

## Berücksichtigung zensierter Lebensdauerdaten

In realen Zuverlässigkeitsprojekten liegen Lebensdauerdaten nur selten vollständig vor. Häufig sind zum Analysezeitpunkt erst wenige Komponenten ausgefallen, während viele betrachtete Einheiten noch in Betrieb sind. Für diese Einheiten ist lediglich bekannt, dass ihre Lebensdauer größer ist als die bisher beobachtete Betriebsdauer. Man spricht von rechtszensierten Daten.

Eine naheliegende, aber fachlich problematische Vorgehensweise besteht darin, nur die tatsächlich ausgefallenen Komponenten auszuwerten und die noch laufenden Einheiten zu ignorieren. Dadurch wird die Zuverlässigkeit systematisch unterschätzt, weil Informationen über lange, noch nicht abgeschlossene Lebensdauern verloren gehen.

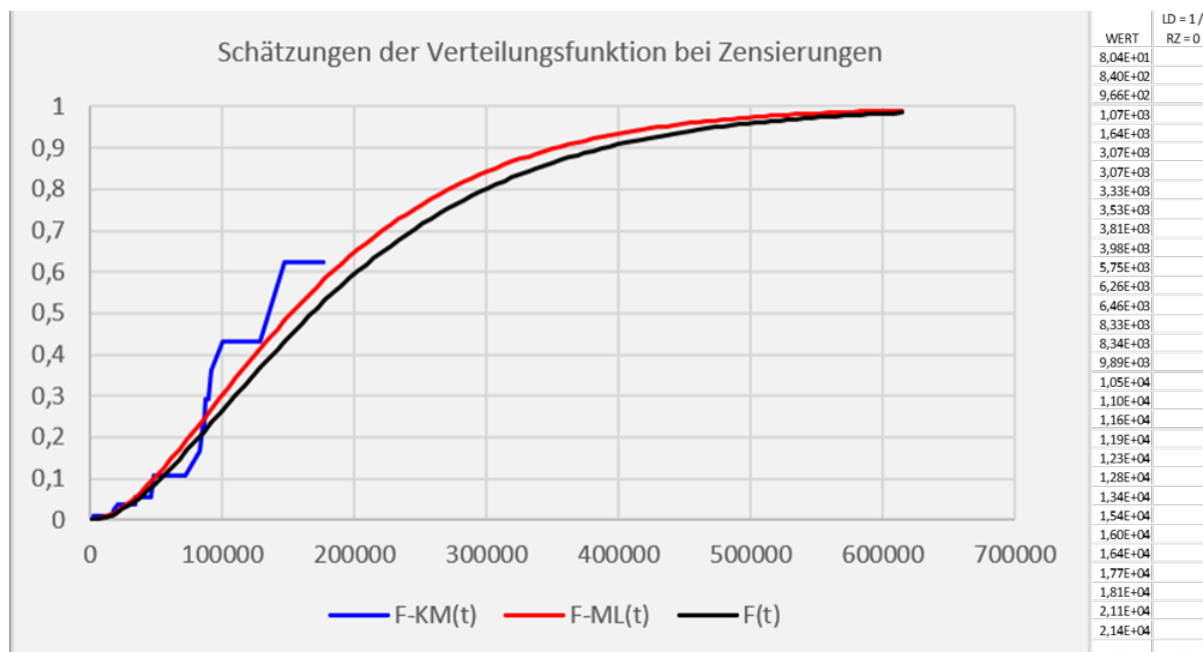
Statistische Methoden ermöglichen es, zensierte Beobachtungen korrekt zu berücksichtigen. Nichtparametrisch kann der Kaplan-Meier-Schätzer (KM) eingesetzt werden. Parametrische Verteilungsmodelle, beispielsweise Weibull- oder Exponentialmodelle, können mit der Maximum-Likelihood-Me-

thode (ML) angepasst werden, wobei vollständige und zensierte Beobachtungen gemeinsam in die Schätzung eingehen.

Ein typischer Analyseablauf umfasst:

- Klassifikation der Beobachtungen in vollständige Ausfälle und zensierte Lebensdauern.
- Prüfung der Vergleichbarkeit von Einheiten, Betriebsbedingungen und Fehlerdefinitionen.
- Auswahl eines nichtparametrischen oder parametrischen Analyseansatzes.
- Schätzung der Zuverlässigkeitsfunktion, Ausfallwahrscheinlichkeiten, Quantile oder Kenngrößen.
- Bewertung der Unsicherheit durch Konfidenzintervalle oder Sensitivitätsanalysen.

Durch die Berücksichtigung zensierter Daten wird die gesamte verfügbare Information genutzt. Dies führt insbesondere bei begrenzter Datenlage zu realistischeren Lebensdauer-Verteilungen und stabileren Prognosen.



Prinzip zensierter Lebensdauerdaten und deren Berücksichtigung in der Zuverlässigkeitsanalyse

### Schadensklassifikation auf Basis von Sensordaten

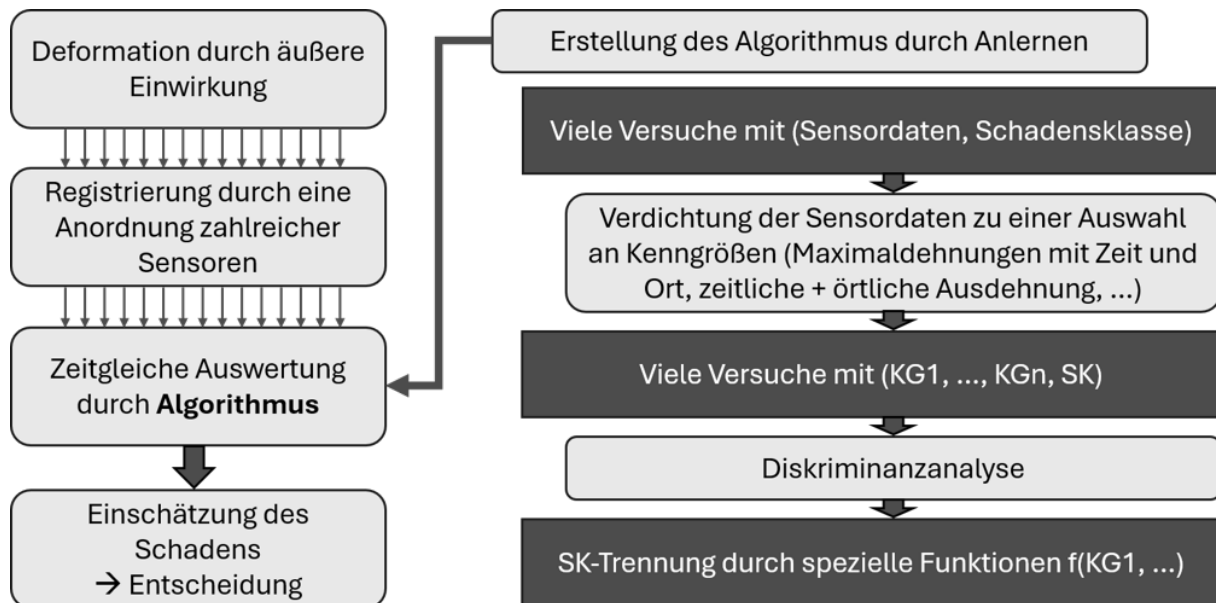
Überwachte technische Systeme erzeugen große Mengen an Sensordaten. Diese enthalten Informationen über Belastungen, Zustände oder Schädigungen, sind als Rohdaten aber selten direkt interpretierbar. Zwischen Messsignal und technischer Aussage steht daher ein datenanalytischer Prozess.

In einem Forschungsprojekt, welches durch das BMWF gefördert wurde, bestand die Aufgabe darin, anhand von Sensordaten eine Zuordnung zu Schadensklassen vorzunehmen. Betrachtet wurde eine technische Schutzstruktur, die mit Dehnungssensoren ausgestattet war. Ziel war es, aus gemessenen Dehnungsverläufen Rückschlüsse auf Art und Ausmaß einer Deformation abzuleiten. Dazu werden aus Rohdaten zunächst aussagekräftige Merkmale gebildet, etwa Maximaldehnungen, Orte und Zeitpunkte der Maxima, Gradienten oder Formkennwerte. Die Merkmalsqualität bestimmt maßgeblich die spätere Klassifikationsgüte.

Anschließend werden Klassifikationsverfahren eingesetzt. Im Projekt kamen Diskriminanzanalysen zum Einsatz; alternativ sind Regressionsmodelle oder Machine-Learning-Verfahren möglich. Entscheidend ist, die Zuordnung zu Schadensklassen als probabilistische Aussage mit definierter Entscheidungssicherheit zu verstehen.

Die Validierung erfolgt über Fehlklassifikationsraten oder Konfusionsmatrizen. Damit wird sichtbar, für welche Schadensklassen das Verfahren robust funktioniert und wo Unsicherheiten bestehen.

Der Nutzen liegt darin, Sensordaten für Condition Monitoring, Assistenzsysteme oder automatisierte Entscheidungen nutzbar zu machen. Das Beispiel zeigt zugleich: KI-basierte Verfahren benötigen weiterhin Statistik, technisches Verständnis, valide Modellannahmen und eine transparente Unsicherheitsbewertung.



Datenanalytische Kette von Sensordaten zur Schadensklassifikation

## Grenzen statistischer Datenanalysen

Statistische Datenanalysen können technische Entscheidungen erheblich verbessern, ersetzen aber nicht die fachliche Verifizierung. Ihre Ergebnisse sind grundsätzlich mit Unsicherheiten behaftet. Diese Unsicherheiten entstehen aus endlichen Stichproben, zufälligen Prozessen, Messfehlern, unvollständiger Beobachtung und Modellannahmen.

Typische Grenzen sind:

- Begrenzte Datenmengen, insbesondere bei seltenen oder sicherheitskritischen Ereignissen.
- Zensierungen und fehlende Beobachtungen, die eine besondere methodische Behandlung erfordern.

- Unzureichend dokumentierte Randbedingungen, wodurch eine Vergleichbarkeit eingeschränkt ist.
- Modellannahmen, zum Beispiel zu Verteilungsformen oder linearen Zusammenhängen.
- Extrapolationen in Bereiche, in denen keine oder nur wenige Beobachtungen vorliegen.
- Unscharfe Klassengrenzen bei Mustererkennung und Schadensklassifikation.

Gerade deshalb ist eine transparente Kommunikation der Aussagequalität notwendig. Ein Ergebnis ist nur dann entscheidungsrelevant, wenn auch bekannt ist, wie belastbar es ist und unter welchen Voraussetzungen es gilt.

## Nutzen für Anwender und Entscheider

Der praktische Nutzen einer statistischen Datenanalyse liegt nicht darin, jedes einzelne Ereignis exakt vorherzusagen. Ihr Wert besteht vielmehr darin, Wahrscheinlichkeiten, Trends, Risiken und Unsicherheiten systematisch zu quantifizieren.

Dadurch entstehen konkrete Vorteile:

- Bessere Prognosen des Zuverlässigkeitsverhaltens neuer oder bestehender Produkte.
- Belastbare Bewertung alternativer Technikanbieter, Lieferanten oder Systemvarianten.

- Fundierte Zieldefinition und Validierung von RAMS-Kennwerten in Ausschreibungen und Verträgen.
- Unterstützung von FRACAS-Systemen durch strukturierte Ereignis- und Ursachenanalysen.
- Optimierung von Instandhaltungsstrategien, Ersatzteilkonzepten und Serviceverträgen.
- Transparente Bewertung von Lebenszykluskosten und Risiken.

Die Datenanalyse schafft damit eine Brücke zwischen technischer Beobachtung und wirtschaftlicher Entscheidung.

Sie macht Unsicherheit nicht unsichtbar, sondern nutzbar.



## Allgemeines Vorgehen bei der Beantwortung von Fragen mithilfe von Daten

Für eine erfolgreiche Datenanalyse im technischen Umfeld hat sich ein schrittweises Vorgehen bewährt:

| Schritt                                         | Kernfrage                                                                                                                                                            |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1. Fragestellung und Entscheidung klären</b> | Welche technische oder wirtschaftliche Entscheidung soll unterstützt werden? Welche Aussagequalität wird benötigt?                                                   |
| <b>2. Datenlage bewerten</b>                    | Welche Daten liegen vor? Sind sie vollständig, vergleichbar und relevant? Welche Randbedingungen fehlen?                                                             |
| <b>3. Daten aufbereiten und strukturieren</b>   | Fehlerdefinitionen, Einheiten, Zeitbezug, Zensierungen und Betriebsbedingungen müssen konsistent abgebildet werden.                                                  |
| <b>4. Geeignete Methoden auswählen</b>          | Die Methode folgt der Fragestellung und der Datenstruktur, nicht umgekehrt.                                                                                          |
| <b>5. Ergebnisse validieren</b>                 | Modellgüte, Sensitivitäten, Konfidenzintervalle und Plausibilität werden bewertet.                                                                                   |
| <b>6. Ergebnis kommunizieren</b>                | Neben Kennwerten werden Unsicherheiten, Annahmen und Grenzen transparent dargestellt.                                                                                |
| <b>Weiterverwendung der Ergebnisse:</b>         |                                                                                                                                                                      |
| <b>7. Einbindung in Systembetrachtungen</b>     | Analyseergebnisse werden unter Beachtung der Unsicherheiten als Parameter, Szenarien oder Entscheidungsgrundlagen in RAMS-, LCC- oder Simulationsmodelle integriert. |

## Fazit

Statistische Datenanalysen sind ein zentrales Werkzeug zur Bewertung technischer Systeme.

Sie ermöglichen es, aus unvollständigen, heterogenen oder unsicheren Daten belastbare Aussagen abzuleiten und deren Aussagequalität transparent zu machen.

Ihr besonderer Wert entsteht durch die Verbindung mit technischem Systemverständnis.

Erst wenn Daten, Methoden, Modelle und praktische Randbedingungen gemeinsam betrachtet werden, entstehen Ergebnisse, die Entscheidungen zu Auslegung, Betrieb, Instandhaltung, Sicherheit und Lebenszykluskosten belastbar unterstützen.

## Schlussatz:

Daten allein schaffen keinen Mehrwert – erst ihre systematische Analyse und Einbettung in den technischen Kontext machen sie zur Grundlage fundierter Entscheidungen.

## Abkürzungs- und Begriffsverzeichnis

| Begriff      | Erläuterung                                                                                                                 |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| BMWE         | Bundesministerium für Wirtschaft und Energie                                                                                |
| FRACAS       | Failure Reporting, Analysis and Corrective Action System; System zur Erfassung, Analyse und Korrektur von Fehlerereignissen |
| FTA          | Fault Tree Analysis; Fehlerbaumanalyse zur Bewertung von Ursache-Wirkungs-Strukturen                                        |
| LCC          | Life Cycle Cost; Lebenszykluskosten eines Systems                                                                           |
| KM           | Kaplan-Meier-Schätzung                                                                                                      |
| ML           | Maximum-Likelihood-Methode                                                                                                  |
| MTBF         | Mean Time Between Failures; mittlere Zeit zwischen Ausfällen bei reparierbaren Einheiten                                    |
| MTTF         | Mean Time To Failure; mittlere Zeit bis zum Ausfall bei nicht reparierbaren Einheiten                                       |
| RAMS         | Reliability, Availability, Maintainability, Safety                                                                          |
| RBD          | Reliability Block Diagram; Blockdiagramm zur Zuverlässigkeitsmodellierung eines Systems                                     |
| Zensurierung | Unvollständige Lebensdauerbeobachtung, bei der der exakte Ausfallzeitpunkt nicht bekannt ist                                |

## Literaturverzeichnis

1. Kaplan, E. L.; Meier, P. (1958): *Nonparametric Estimation from Incomplete Observations*. In: Journal of the American Statistical Association, 53(282), S. 457–481.
2. Nelson, W. (1982): *Applied Life Data Analysis*. New York: John Wiley & Sons.
3. Backhaus, K.; Erichson, B.; Plinke, W.; Weiber, R. (2000): *Multivariate Analysemethoden; eine anwendungsorientierte Einführung*. 9. Aufl. Berlin: Springer-Verlag.
4. IEC 60300-3-2: 2004. *Dependability management – Part 3-2: Application guide – Collection of dependability data from the field*.
5. Rausand, M.; Høyland, A. (2004): *System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications*. 2. Aufl. Hoboken: John Wiley & Sons.
6. Vose, D. (2008): *Risk Analysis: A Quantitative Guide*. 3. Aufl. Chichester: John Wiley & Sons.
7. DIN EN 61649: 2009 – 03. *Weibull-Analyse*
8. Hastie, T.; Tibshirani, R.; Friedman, J. (2009): *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*. 2. Aufl. New York: Springer.
9. Montgomery, D. C.; Runger, G. C. (2018): *Applied Statistics and Probability for Engineers*. 7. Aufl. Hoboken: John Wiley & Sons.
10. Meeker, W. Q.; Escobar, L. A.; Pascual, F. G. (2021): *Statistical Methods for Reliability Data*. 2. Aufl. Hoboken: John Wiley & Sons.

## Internet

Dr.-Ing. h. c. F. Porsche AG / Audi AG / Wirthwein AG / Xenon / PRODAT / IZP / SPEKTRA / KUBE / ILK-TUD (2023): *Forschungsprojekt I-Detekt – Intelligentes Batterieschutzsystem für Elektrofahrzeuge zur Detektion von unerwünschten mechanischen Beschädigungen: Gemeinsamer Abschlussbericht der Konsortialpartner Teil I & II*. In: TIB Katalog [www.tib.eu](http://www.tib.eu)

### Ihre Ansprechpartner bei IZP

Torsten Renz  
+49 351 80403-23

[t.renz@izp.de](mailto:t.renz@izp.de)

Dr. Harald Jung  
+49 351 80403-27

[h.jung@izp.de](mailto:h.jung@izp.de)