

Dynamische Berechnung der Zuverlässigkeit von vernetzten kooperierenden Produktionssystemen

Dr.-Ing. **Nasser Jazdi**, Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme, Universität Stuttgart;
Prof. Dr.-Ing. **Michael Weyrich**, Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme, Universität Stuttgart

Kurzfassung

Vernetzte und smarte Anwendungen haben besondere Merkmale wie dynamische Architekturen, verteilte und flexible Kooperation von intelligenten Einheiten. Die Zuverlässigkeit dieser Systeme ist ein signifikanter Faktor für den Erfolg dieser Anwendungen. Die klassischen Zuverlässigkeitsmethoden können nicht ohne weiteres übernommen werden. Es besteht Bedarf an neuen Ansätzen zur dynamischen Berechnung der Zuverlässigkeit. Dadurch können einerseits präventive Maßnahmen zur Erhöhung der Verfügbarkeit solcher Anwendungen abgeleitet werden, andererseits kann nachgewiesen werden, dass die Anwendung die geforderte Zuverlässigkeit auch erfüllt. Dieser Beitrag präsentiert einen Ansatz zur dynamischen Zuverlässigkeitsberechnung von vernetzten kooperierenden Produktionssystemen.

1. Einleitung

Digitalisierung und Vernetzung auf Basis von Cyber-physischen-Systemen (CPS) verändern die Automatisierung signifikant [1]. Ziel ist die Entstehung smarterer Fabriken, die sich durch intelligente Vernetzung, Mobilität und hohe Flexibilität auszeichnen. Hierfür müssen automatisierte Systeme als kooperierende Einheiten in einem großen Netzwerk auftreten [2] [3]. Die physikalische Welt kommt der virtuellen immer näher, bis zu dem Punkt, wo beide verschmelzen zu sogenannten CPS. Diese Systeme umfassen unterschiedliche Aspekte in der Produktion: von intelligenten Maschinen, Lagersystemen und Betriebsmitteln bis hin zu Eingangs- und Ausgangslogistik, dem Marketing und der Produktion selbst. Durch die Vernetzung entstehen neue Geschäftsmodelle, Arbeitsprozesse und Entwicklungsmethoden, z.B. im Bereich Selbstdiagnose, Selbstkonfiguration und Selbstoptimierung.

Einer der wesentlichen Aspekte von Industrie 4.0 ist die Vernetzung der einzelnen Systeme und Komponenten untereinander. Das ist durch den Einzug des neuen Internetprotokolls (IPv6) möglich, denn durch dieses sind ausreichend Adressen vorhanden, um eine Vernetzung von Ressourcen, Informationen, Objekten und Menschen zu ermöglichen. Diese erstmalige Vernetzung mit der Industrie ist unter dem Begriff des Internets der Dinge und Dienste bekannt

geworden [4]. Ein zentraler Aspekt von I4.0 sind die vernetzten kooperierenden Produktionssysteme, die sogenannten Smart Factories. Es sollen alle Bereiche des täglichen Lebens, wie Smart Mobility, Smart Logistic, Smart Buildings, Smart Product und Smart Grid mit der Fabrik der Zukunft vernetzt werden. Der Informationsaustausch wird mit Hilfe des Internets der Dinge und durch Dienste in höchstem Maße ermöglicht [4]. Vernetzte kooperierende Produktionssysteme verbinden die Maschinen, Menschen und Ressourcen miteinander und bieten Flexibilität, Effektivität und Verfügbarkeit. Die dezentralen Einheiten realisieren die Anforderungen dynamisch durch Kooperation und können sich an die geänderten Randbedingungen anpassen.

Gleichzeitig kommen auf die automatisierten Systeme neue Herausforderungen bezüglich der standardisierten Kommunikation, der Entwicklung intelligenter und kooperierender Module, der Architektur der Produktionsanwendungen, der Zuverlässigkeit, der Safety und der Security zu [5]. Hierzu braucht die Automatisierungstechnik neue Konzepte, Architekturen, Referenzmodelle und intelligente Module.

Auch wenn Komponenten Aufgaben von anderen Komponenten übernehmen könnten, heißt das nicht, dass der Ausfall einer Komponente nicht zum Ausfall des Gesamtsystems führen kann. Es könnte auch der Fall eintreten, dass eine spezielle Komponente nicht einfach durch eine andere ersetzt werden kann. Sollte diese nicht redundant verfügbar sein, kann diese spezielle Aufgabe von keiner anderen Komponente übernommen werden. Eine Betrachtung der Zuverlässigkeit ist somit unerlässlich [6].

2. Zuverlässigkeitsberechnung

Zuverlässigkeit ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein System innerhalb eines definierten Zeitintervalls und unter zulässigen Betriebsbedingungen die geforderten und spezifizierten Funktionen erfüllt. Maßnahmen in der Zuverlässigkeitstechnik dienen der Prävention von Fehlern oder Ausfällen. Diese Maßnahmen werden durchgeführt, um die Wirtschaftlichkeit zu erhalten und um Garantiezeiten einhalten zu können [7].

Zuverlässigkeit ist von vielen Einflussfaktoren abhängig und muss daher unter Berücksichtigung dieser Einflüsse abgeschätzt oder berechnet werden. Bild 1 zeigt eine Übersicht von Einflussfaktoren.



Bild 1: Einflussfaktoren der Zuverlässigkeit [7]

Die Voraussetzung zur Zuverlässigkeitsberechnung ist die Kenntnis über den Zustand ($X(t)$) eines Systems. Ein System kann funktionstüchtig oder nicht funktionstüchtig sein. Mathematisch ausgedrückt sieht die Aussage wie folgt aus:

$$X(t) = \begin{cases} 1, & \text{funktionstüchtig} \\ 0, & \text{ausgefallen} \end{cases} \quad \text{Gl. 1}$$

Gibt man die Lebensdauer T , die Zeit bis zum ersten Ausfall der Komponente, an, lässt sich Gleichung 1 wie folgt ausdrücken:

$$X(t) = \begin{cases} 1, & t < T \\ 0, & t \geq T \end{cases} \quad \text{Gl. 2}$$

Als nächstes soll die Zuverlässigkeitsfunktion $R(t)$ betrachtet werden. $R(t)$ gibt an, wie wahrscheinlich es ist, dass die betrachtete Einheit im Intervall $[0; t]$ funktionstüchtig ist. Der Anfangswert der Funktion $R(t)$ ist 1. Der Wert 1 bedeutet, dass das System direkt nach der Inbetriebnahme zu 100% funktionsfähig ist. Der Grenzwert von $R(t)$ für die Zeit gegen unendlich ist Null. Der Wert Null bedeutet, dass zu unendlich späterem Zeitpunkt die Wahrscheinlichkeit der Funktionsfähigkeit des Systems Null ist. Die Zuverlässigkeitsfunktion besitzt eine Gegenereignisfunktion, sie wird Ausfallwahrscheinlichkeit ($F(t)$) genannt. Der mathematische Zusammenhang ist folglich:

$$R(t) = 1 - F(t) \quad \text{Gl. 3}$$

Eine unverzichtbare Größe für die Berechnung der Zuverlässigkeit ist die Ausfallrate $\lambda(t)$. Die Ausfallrate bezeichnet die Neigung der Komponente zu Ausfällen in Abhängigkeit von der Zeit. Der zeitliche Verlauf der Ausfallrate hat meist einen Verlauf wie im Bild 2:

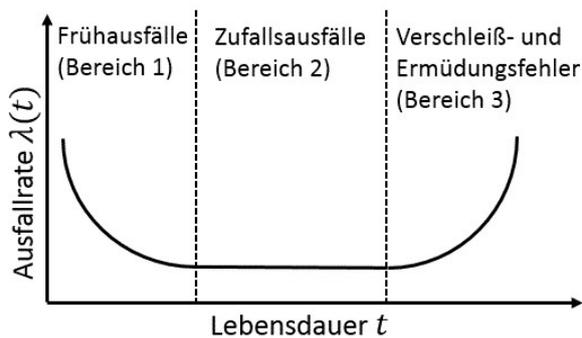


Bild 2: Verlauf der Ausfallrate [7]

Die hohe Ausfallrate im Bereich 1 (Frühausfälle) entsteht durch Montage-, Fertigungs- oder Konstruktionsfehler, die solange entfernt werden, bis das Produkt marktreif ist. Dann beginnt der Bereich 2 (Nutzungsbereich), in dem die Ausfallrate als konstant angenommen werden kann. Doch irgendwann nehmen die Alterung und der Verschleiß überhand und die Ausfallrate steigt wieder rapide an. Diese Ausfallratenverteilung gilt allerdings nicht für Software, sondern nur für mechanische oder elektrische Bauteile [7]. Die Ausfallrate lässt sich einfach aus der Zuverlässigkeit berechnen, nach folgender Formel:

$$\lambda(t) = - \frac{d}{dt} (\ln R(t)) \quad \text{Gl. 4}$$

Da die Ausfallrate als bekannt angenommen werden kann, lässt sich die Zuverlässigkeit lässt sich berechnen nach:

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(\tau) d\tau} \quad \text{Gl. 5}$$

Die Gleichung 5 zeigt, dass die Zuverlässigkeit vom Faktor Zeit abhängig ist. Dies bedeutet, dass die Ausfallrate λ ein zeitabhängiger Parameter ist. In der Praxis wird jedoch sehr häufig die Ausfallrate als ein konstanter Parameter betrachtet. Zur Berechnung der Zuverlässigkeit einer Komponente gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten. Wenn die empirischen Daten zu Ausfallraten einer Komponente existieren, kann man die Zuverlässigkeit mittels mathematischer Methoden, wie Zuverlässigkeitswachstumsmodelle oder architekturbasierte Modelle, berechnen. Wenn keine empirischen Daten vorhanden sind, kann man die Zuverlässigkeit einer Komponente, z. B. mittels Testdaten, abschätzen. Zur Berechnung der Systemzuverlässigkeit kann man dann die Zuverlässigkeitslockdiagramme benutzen, sofern die Zuverlässigkeit der einzelnen Komponenten bekannt ist. Hierbei werden Teilsysteme oder Komponenten als Block dargestellt und gemäß der Verschaltung des Systems verbunden. Aus

dieser Verschaltung resultiert das Zuverlässigkeitsblockdiagramm. Dabei gibt es zwei grundlegende Schaltungsarten, die im Weiteren erklärt werden sollen.

- **Serienschaltung**

Eine Serienschaltung bedeutet für die Zuverlässigkeit, dass jedes Modul der Serienschaltung funktionieren muss, um ein funktionierendes System zu erhalten. Jedes Modul besitzt hierbei eine Ausfallrate λ_i . Bild 3 zeigt den Aufbau einer Serienschaltung.



Bild 3: Serienschaltung von Zuverlässigkeitsblöcken [7]

Die Zuverlässigkeit einer Serienschaltung lässt sich mit Hilfe der Gleichung 5 berechnen.

$$R_s(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) = e^{-(\sum_{i=1}^n \lambda_i) \cdot t} \quad \text{Gl. 5}$$

- **Parallelschaltung**

Bei einer Parallelschaltung, auch Redundanz genannt, muss nur eines der Module funktionstüchtig sein, um ein funktionierendes System zu erhalten. Auch hier besitzt jede der Module eine Ausfallrate λ_i . Bild 4 zeigt den Aufbau einer Parallelschaltung.

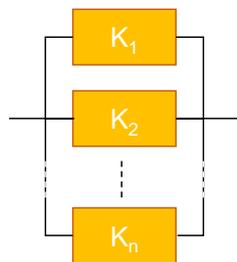


Bild 3: Parallelschaltung von Zuverlässigkeitsblöcken [7]

Die Zuverlässigkeit einer Parallelschaltung lässt sich mit Hilfe der Gleichung 6 berechnen.

$$R_p(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - R_i(t)] \quad \text{Gl. 6}$$

Im Allgemeinen bestehen Systeme nicht nur aus Serien- und Parallelschaltungen, sondern aus Kombinationen aus diesen bzw. aus Brückenschaltungen. Diese Systeme werden schrittweise durch Separation und/oder Kombination in einfache parallele oder serielle Schaltungen überführt, so dass eine elementare Berechnung möglich wird.

Ein großes Problem bei der Zuverlässigkeitsberechnung ist die Ungewissheit über die Betriebsprofile und die Umgebungsparameter, die zur Entwicklungszeit unbekannt sind. Diese können jedoch die Zuverlässigkeit einer Komponente bzw. eines Systems stark beeinflussen

und zur Senkung der Verfügbarkeit enorm beitragen. Dadurch könnten evtl. die Garantiezeiten nicht gewährleistet werden. Durch die digitale Vernetzung haben wir die Möglichkeit, die Umgebungsparameter und weitere Einflussfaktoren dynamisch effektiver und einfacher wahrzunehmen und in die Berechnung miteinfließen zu lassen. Dadurch bekommt man neue Chancen, um die Zuverlässigkeit eines Systems dynamisch zu berechnen und zur Laufzeit an die Umgebungsveränderungen anzupassen. Im nächsten Abschnitt wird ein Ansatz zur dynamischen Berechnung der Zuverlässigkeit von vernetzten und kooperierenden Systemen vorgestellt.

3. Der Ansatz „dynamische Zuverlässigkeitsberechnung“

Die Umsetzung des Industrie-4.0-Konzepts hat einen großen Einfluss auf die Zuverlässigkeit von Systemen. Unter anderem ergeben sich eine höhere Komplexität, ein größerer zu wartender Funktionsumfang und gestiegene Anforderungen der Kunden an Qualität, Funktionalität und Benutzbarkeit. Diese erschweren die Produktentwicklung und gefährden eine hohe Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit. Auch mit standardisierten Methoden der Zuverlässigkeitsanalyse und unterstützenden Softwarewerkzeugen ist es bereits heute kaum mehr möglich, ein gesamtes System auf einmal zu betrachten. Die Methoden werden auf einzelne Module angewandt. Eine adäquate Abgrenzung voneinander ist nicht immer leicht. Es gibt Wechselwirkungen zwischen Teilsystemen. Diese sowie auch Folgefehler und zeitliche Abhängigkeiten sind nicht oder nur schwer mit den beschriebenen Methoden analysierbar. Vor allem für eine detaillierte Softwareanalyse ist dies problematisch.

Auch die Vernetzung, auf der die vierte industrielle Revolution basiert, birgt neben Risiken für Daten auch solche für die Zuverlässigkeit. Durch das Internet der Dinge gibt es viel mehr Interaktion, Kommunikation und Wechselwirkungen. Ein Fehler kann sich leicht und schnell ausbreiten und zu unerwünschten Sekundärausfällen an verschiedenen Orten führen. Dabei können schwer nachvollziehbare Ereignisse auftreten, mit denen bei der Komponentenentwicklung nicht gerechnet wurde. Bei einer verteilten automatisierten Produktionsanlage kann ein Ausfall eines Produktionsstandortes auch die anderen gefährden. Es ist für den Hersteller und die Kunden sinnvoll, die Ausfallwahrscheinlichkeit des Systems oder auch einzelner Module möglichst genau zu kennen. Selbst wenn ein System leicht und schnell zu reparieren ist, ist eine Reparatur immer mit Aufwand und Kosten verbunden. Je nach System geht mit einem Fehler auch ein Ausfall anderer wichtiger Funktionen einher. Wenn die durchschnittliche Zeit zwischen zwei Fehlern bekannt ist, können Wartungsintervalle optimiert werden. Bei einem geringen Wartungsaufwand kann so das Auftreten vieler Ausfälle vermieden werden. Das Internet der Dinge kann auch die Reparaturkosten verringern, wenn

bereits direkt nach dem Fehlerauftritt dem zuständigen Personal genaue Fehlerinformationen vorliegen.

Bei großen Systemen, die sich aus vielen verschiedenen Komponenten unterschiedlicher Hersteller und Domänen zusammensetzen, ist es schwierig, bereits während der Produktentwicklung eine genaue Ausfallrate zu bestimmen und so belastbare Aussagen über die Systemverfügbarkeit zu treffen. Daher wird ein Konzept benötigt, welches qualitative und quantitative Informationen über das System aus verschiedenen Quellen auch noch während des Betriebs des Systems zusammenträgt, gewichtet, verarbeitet und so Informationen über Zuverlässigkeit ermittelt. Idealerweise handelt es sich dabei um ein automatisierbares Konzept, welches neue Informationen leicht integrieren und verarbeiten kann. Bild 4 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Systems zur dynamischen Zuverlässigkeitsberechnung.

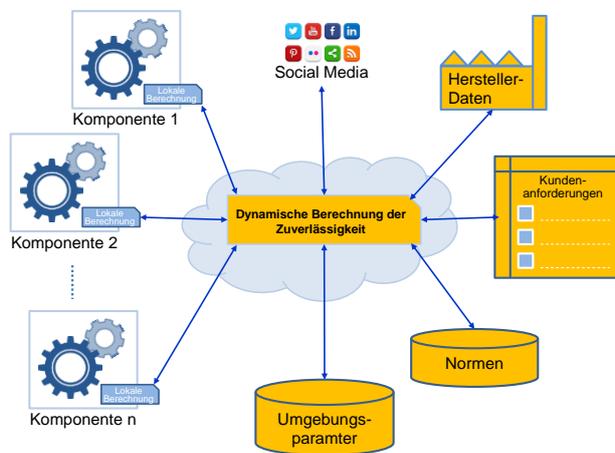


Bild 4: Ansatz zur dynamischen Zuverlässigkeitsberechnung

Wie im Bild 4 zu sehen ist, wird eine Cloud-basierte Anwendung zur dynamischen Berechnung eingesetzt. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf der Vernetzung von verschiedenen Informationsquellen. Jede Komponente bringt eine Grundaussfallrate mit sich, die vom Komponentenhersteller zur Verfügung gestellt wird. Die Umgebungsparameter, die die Zuverlässigkeit beeinflussen, wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Vibration etc., werden durch I4.0-Vernetzung und mittels Big-Data-Analyse bereitgestellt. Weiterhin werden die Parameter, wie Normen, Kundenanforderungen, Herstellerdaten etc., miteinbezogen, um die Genauigkeit der Gesamtzuverlässigkeit zu steigern. Ein weiterer Aspekt ist das Einbinden von sozialen Netzen. Dadurch hat man die Möglichkeit, die Erfahrung anderer Benutzer in die Berechnung miteinfließen zu lassen. Hiermit kann die Zuverlässigkeit dynamisch berechnet und dadurch die Verfügbarkeit des Systems neu kalkuliert werden. Man bekommt neue Möglichkeiten für präventiven Maßnahmen zur Erhöhung der Verfügbarkeit des Systems. Im Folgenden wird der Berechnungsablauf erläutert:

Um unterschiedliche Faktoren in der Berechnung der Zuverlässigkeit zu berücksichtigen, wird die Ausfallrate nicht mehr als konstant angenommen, sondern als zeit- und faktorenabhängig. Eine exponentielle Verteilung darf weiterhin angenommen werden. Insgesamt kann allgemein die Berechnung der Zuverlässigkeit einer Komponente i wie folgt aussehen:

$$R_i(t, \lambda) = e^{-\lambda_{i,Gesamt}(Faktoren,t) \cdot t} \quad \text{Gl. 7}$$

Die Gesamtausfallrate $\lambda_{i,Gesamt}$ wird als die Summe von drei verschiedenen Ausfallraten angenommen. Grund dafür ist, dass es unterschiedliche Arten von Faktoren gibt. Jede dieser Kategorien führt zu einer spezifischen Ausfallrate, deren Summe die Gesamtausfallrate bildet. Die verschiedenen Kategorien und die jeweiligen Ausfallraten sind: Vorkonditionierung λ_{Vor} , menschliche Ausfallrate $\lambda_{i,MA}$ und Einflussfaktoren $\lambda_{i,EF}$. Diese werden einzeln im Folgenden erläutert.

Vorkonditionierung: Eine vorgegebene, herstellerbedingte Ausfallrate $\lambda_{Hersteller}$ stellt lediglich einen Durchschnittswert dar, der meistens durch Tests von mehreren gleichartigen Komponenten gewonnen wird. Die tatsächliche Ausfallrate der eingesetzten Komponente kann von der vorgegebenen abweichen. Alle hier auftretenden Faktoren sind vor der Inbetriebnahme bekannt und zeitunabhängig. Jeder Faktor in dieser Kategorie verändert die Ausfallrate um einen vorgegebenen prozentualen Anteil p_j von der herstellerbedingten Ausfallrate $\lambda_{Hersteller}$. Der Faktor p_j hängt von der Klassifizierung jedes Faktors bezüglich seiner Einflussgröße ab. Die Kategorien reichen von gering über mittel bis groß. Die Einteilung jedes Faktors in einer der genannten Kategorien obliegt dem Benutzer.

Menschlicher Faktor: Jede Interaktion zwischen Mensch und Maschine beinhaltet eine potentielle Gefahrenquelle für die Menschen, das System und seine Umwelt. Im Folgenden wird angenommen, dass sämtliche Interaktionen erfasst und in einer Datenbank gespeichert werden können. Die Datenbank befindet sich in einer Cloud und kennt sämtliche Komponenten des Systems. Das Konzept von Industrie 4.0 lässt eine solche Annahme zu.

Jede Interaktion hat das Ziel, eine bestimmte Aufgabe durchzuführen, wie z.B. das Eingeben einer Solltemperatur an einem Regelsystem. Durch das Erfassen der Interaktion kann zusätzlich gespeichert werden, ob die durchgeführte Aufgabe zu einem Fehler geführt hat oder nicht. Die Folge ist, dass die sogenannte HEP-Zahl (engl. Human Error Probability) berechnet werden. Diese gibt den prozentualen Anteil der Fehler jeder registrierten Aufgabe an der Gesamtzahl der Fehler an. Die Gleichung 8 stellt diesen Sachverhalt dar.

$$HEP = \frac{\text{Anzahl fehlerhaft durchgeführter Interaktionen}}{\text{Anzahl aller durchgeführter Interaktionen}} \quad \text{Gl. 8}$$

Durch die HEP-Zahl wird eine Zuverlässigkeitsklasse HEP bestimmt, die angibt, wie wahrscheinlich eine erneute fehlerhafte Durchführung derselben Ausgabe ist. Je höher diese ist, desto größer ist Wahrscheinlichkeit eines erneuten Fehlers.

Als nächstes wird jeder Fehler einer Klasse zugeordnet. Das erfolgt in zwei Schritten: als erstes wird festgestellt, wie viele Komponenten durch den Fehler betroffen sind. Das kann durch Überprüfung der Schnittstellen passieren, denn Fehler pflanzen sich durch fehlerhafte Weitergabe von Daten an den Schnittstellen fort. Als nächstes wird die Sicherheitsfrage geklärt, das heißt, es werden die Folgen jedes Fehlers betrachtet. Die Folgen können von einer einfachen Warnung an den Benutzer bis zu einem Komplettausfall des Systems reichen. Abhängig von den Folgen wird eingestuft, wie schwerwiegend der Fehler war. Die ermittelte Klasse beeinflusst dann zusätzlich die Zuverlässigkeitsklasse HEP. Diese kann, je nach Klassifizierung, um keine bis mehrere Zuverlässigkeitsklassen steigen. Das Ergebnis aus der Zuverlässigkeitsklasse HEP und der ermittelten Klasse ist dann die eigentliche Zuverlässigkeitsklasse. Diese bestimmt unmittelbar die Ausfallrate $\lambda_{i,MA}$. Das gezeigte Verfahren wird für alle registrierten Aufgaben der betrachteten Komponente durchgeführt. Dabei können beliebig viele Aufgaben in die Berechnung miteinbezogen werden. Die komplette Berechnungsvorschrift ist im Bild 5 schematisch dargestellt.

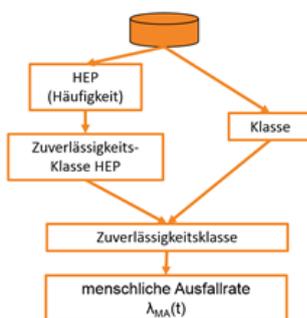


Bild 5: Bestimmung der menschlichen Ausfallrate

Einflussfaktoren: Die dritte und letzte Kategorie bilden die Einflussfaktoren. In dieser Kategorie zählen alle zeitabhängigen Faktoren. Jeder dieser Faktoren hat einen zulässigen Maximal-, Minimal- und Normwert. Weiterhin wird jeder Faktor für jede Komponente einzeln klassifiziert. Die Einteilung in Klassen ist erforderlich, um anzugeben, wie wichtig der betrachtete Faktor für die jeweilige Komponente ist. Je größer die Abweichung vom Normwert eines Faktors ist und je höher dieser eingestuft wird, desto größer ist der Einfluss auf die Ausfallrate $\lambda_{i,EF}$. Das Prinzip ist dem Bild 6 zu entnehmen.

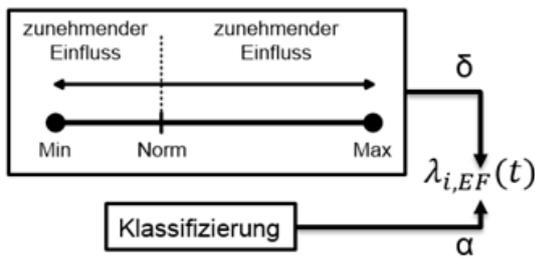


Bild 6: Bestimmung der Ausfallrate der Einflussfaktoren

Ziel bei der Berechnung dieser Ausfallrate ist es, dass ein Faktor mit einer geringen Abweichung vom Normwert und hoch eingestufte Klasse den gleichen Einfluss haben soll wie ein Faktor mit einer großen Abweichung vom Normwert und einer niedrigeren Klasse.

Die Funktion f , die vom Faktor für die Abweichung vom Normwert δ und der Klassifizierung α abhängt, ist so aufgestellt, dass das Ergebnis immer im Intervall zwischen 0 und 1 liegt. Das wird anschließend mit einer vorgegebenen Basisausfallrate $\lambda_{\text{Basis einfluss}}$ multipliziert, die mit $1 \cdot 10^{-7} \text{ h}^{-1}$ experimentell ermittelt und festgelegt wurde. Damit wird erreicht, dass die Ausfallrate $\lambda_{i,EF}$ durch einen Einflussfaktor einen Wert zwischen 0 und 100% der Basisausfallrate annimmt. Werden mehrere Faktoren betrachtet, so müssen die Summen der einzelnen Produkte addiert werden. Bei m verschiedenen Einflussfaktoren gilt:

$$\lambda_{i,EF}(t) = \lambda_{\text{Basis einfluss}} \cdot \sum_{j=1}^m f(\alpha_j \cdot \delta_j) \quad \text{Gl. 9}$$

Faktoren, die unter dieser Kategorie fallen, sind zum Beispiel die Umgebungstemperatur einer Maschine oder deren prozentuale Belastung.

4. Evaluierung des Ansatzes

Um den Ansatz zu evaluieren, wurde eine Anwendung zur dynamischen Zuverlässigkeitsberechnung von den Ladestationen entwickelt. Dabei wurden zwei voneinander unabhängige Anwendungen implementiert – Datensimulator und Berechnungsanwendung. Im Datensimulator können vom Benutzer verschiedene Eingaben gemacht werden, die die Basis für die simulierten Datenverläufe darstellen. In der Berechnungsanwendung kann der Benutzer einige Berechnungsfaktoren nach Belieben verändern und die Zuverlässigkeit berechnen lassen. Die Ergebnisse lassen sich individuell zusammenstellen, dabei wird lediglich zwischen der Ausfallrate und der Zuverlässigkeit unterschieden.

Bild 7 zeigt den Datensimulator für die Eingabe der Umgebungsfaktoren ($\alpha_j \cdot \delta_j$).

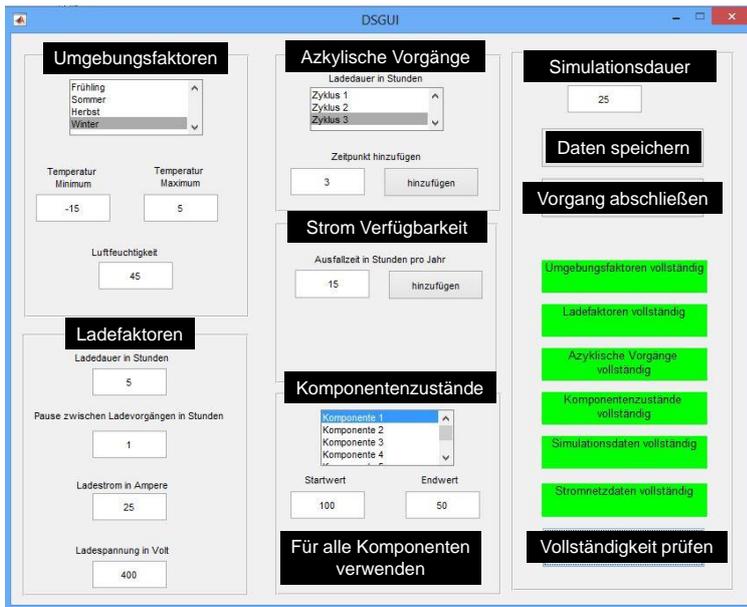


Bild 7: GUI des Datensimulators

In einem ersten Schritt hat der Anwender die Möglichkeit über die GUI die Einflussfaktoren (sofern diese nicht in realer Form vorhanden sind) einzutragen und damit die Daten zu simulieren. Über die einzelnen Bereiche lassen sich die verschiedenen Faktoren wie zum Beispiel Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Stromverfügbarkeit etc. einstellen.

Die GUI der Anwendung zur Berechnung der Zuverlässigkeit ist im Bild 8 dargestellt. Beim Start der Anwendung werden zunächst die Daten aus dem Datensimulator eingelesen. In einem ersten Schritt kann man eine Komponente auswählen und anschließend entweder ihre Ausfallrate oder ihre Zuverlässigkeit berechnen lassen. In beiden Vorgängen werden die simulierten Einflussfaktoren mitberücksichtigt. Es besteht zudem die Möglichkeit die Gesamtzuverlässigkeit des Systems zu berechnen.

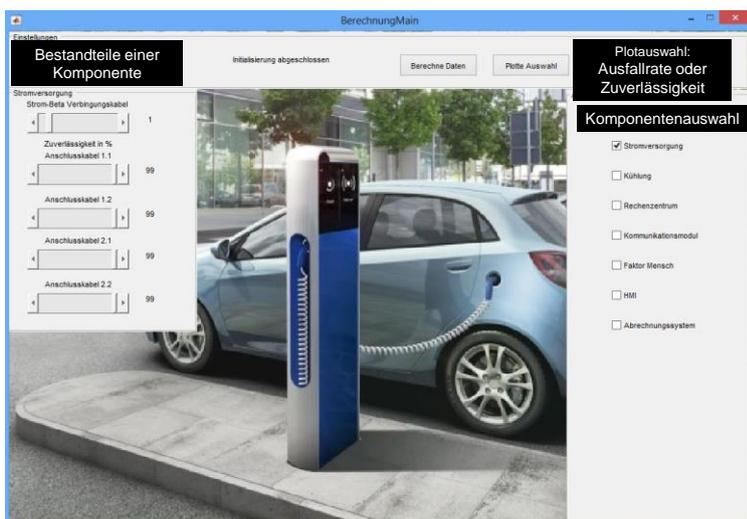


Bild 8: GUI der Anwendung zur dynamischen Zuverlässigkeitsberechnung

Der implementierte Prototyp beinhaltet die meisten Funktionalitäten zur dynamischen Berechnung der Zuverlässigkeit. Dabei bekommt der Benutzer die Möglichkeit, Einflussfaktoren selber zu definieren, diese zu bearbeiten und ihnen einen zeitlichen Verlauf vorzugeben. Daraus wird dann sowohl die Zuverlässigkeit als auch die Ausfallrate bis zum vorgegebenen Zeitpunkt berechnet und als Grafik geplottet. Für die Gesamtzuverlässigkeit kann auch die Zuverlässigkeit berechnet werden.

Mit dem Prototyp hat der Benutzer die Möglichkeit, die Zuverlässigkeit einer Komponente genauer bestimmen zu können als beim statischen Verlauf mit der herstellerbedingten Ausfallrate, denn alle vorgegebenen Faktoren fließen in die Berechnung mit ein. Weiterhin ist der Prototyp benutzerfreundlich gestaltet worden, denn alle Eingaben erfolgen über eine grafische Oberfläche und das Ergebnis wird grafisch dargestellt. Bis zu einem gewissen Grad gilt das auch für die Bestimmung der Gesamtzuverlässigkeit des Systems. Damit zeigt der Prototyp, dass der vorgestellte Ansatz funktioniert.

5. Zusammenfassung und zukünftige Arbeiten

In diesem Beitrag wurde gezeigt, wie die Zuverlässigkeit dynamisch unter Berücksichtigung von unterschiedlichen Einflussfaktoren berechnet werden kann. Dazu wurde die Ausfallrate in drei Kategorien eingeteilt, die durch unterschiedliche Einflussfaktoren charakterisiert wurden: die Grundausfallrate, die menschliche Ausfallrate und die Ausfallrate, die durch zeitabhängige Einflussfaktoren beeinflusst wird. Die Eigenschaften der jeweiligen Kategorien wurden benannt und deren Berechnungsvorschrift hergeleitet und erläutert. Anschließend wurde ein Prototyp, der zur Evaluierung des Ansatzes entwickelt wurde, kurz vorgestellt.

In weiteren Arbeiten wird der Ansatz anhand der Evaluierungsergebnisse modifiziert und erweitert. Weiterhin wird ein Algorithmus zur automatischen Erfassung der Zusammensetzung der Komponenten mit anschließender Berechnung der Gesamtzuverlässigkeit implementiert. Dadurch bekommt der Benutzer die Möglichkeit, die Änderungen an der Zusammensetzung der Komponenten und/oder einzelner Faktoren auf die Gesamtzuverlässigkeit des Systems, leichter nachzuvollziehen. Des Weiteren kann die Berechnungsanwendung mit realen Daten angewandt und auf diese Weise überprüft werden. Die berechneten Ergebnisse können dann mit realen Ergebnissen verglichen werden. Für die Modellierung können weitere Einflussfaktoren hinzugefügt werden

6. Danksagung

Wir bedanken uns bei den Studenten Aristides Aivaliotis, Rainer Graf und Marco Schoppmeier für ihre Beiträge zur Umsetzung und Bereicherung des Ansatzes.

7. Literatur

- [1] C. Maga, N. Jazdi: Ein Cloud-basiertes Konzept zur Handhabung der Variabilität für Cyber-Physical Systems. Automation Kongress 2013.
- [2] acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V.: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 - Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0, Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft, 2013
- [3] A. Fay; Ch. Diedrich; M. Thron; A. Scholz; P. Puntel Schmidt; J. Ladiges; Th. Holm: Wie bekommt Industrie 4.0 Bedeutung? In: Atp-Edition : automatisierungstechnische Praxis ; Organ der GMA (VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik) und der NAMUR (Interessengemeinschaft Automatisierungstechnik der Prozessindustrie). - München : DIV Dt. Industrieverl, Bd. 57.2015, 7/8, S. 30-43
- [4] acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V.: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 - Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0, Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft, 2013
- [5] A. Schüller; U. Epple: Ein Referenzmodell zur Prozedurbeschreibung -Eine Basis für Industrie 4.0- at - Automatisierungstechnik. Band 63, Heft 2, Seiten 87–98, ISSN (Online) 2196-677X, ISSN (Print) 0178-2312, DOI: 10.1515/auto-2014-1152, February 2015
- [6] T. Bauernhansl; M. ten Hompel; B. Vogel-Heuser: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, Wiesbaden, Springer Vieweg, ISBN 978-3-658-04681-1, 2014
- [7] N. Jazdi: Skript zur Vorlesung „Zuverlässigkeit und Sicherheit von Automatisierungssystemen“, IAS, Universität Stuttgart, 2016