



---

# Künstliche Intelligenz in der industriellen Prüftechnik

## Künstliche Intelligenz in der industriellen Prüftechnik

Einleitung.....	3
Grundlagen der künstlichen Intelligenz .....	3
Entstehungsgeschichte .....	3
Überblick .....	4
Künstliche Intelligenz in der Prüftechnik.....	4
KI automatisiert die Prüfprogrammerstellung .....	5
KI-basierte Klassifikation zur Kontrolle von Bestückprozessen .....	6
KI überwacht menschliche Entscheidungen .....	8
Optimierte Testabdeckung durch KI .....	9
Luft- und Körperschall-Analyse mit KI in der Produktion .....	9
Fazit.....	11
Referenzen.....	12



## Einleitung

Der künstlichen Intelligenz (KI) wird ein enormer Stellenwert eingeräumt, wenn es darum geht, Prozesse und Produkte grundlegend zu verändern. Die außerordentliche Leistungsfähigkeit von KI-Anwendungen wird im privaten Bereich beispielsweise bei der Verwendung von intelligenten Assistenten völlig selbstverständlich genutzt. Doch insbesondere im industriellen Bereich wird die Entwicklung von domänenspezifischen KI-Anwendungsformen zu einer Schlüsselfrage für zukünftige Innovationsschritte: „15,7 Billionen Dollar wird KI im Jahr 2030 zur Wirtschaft beitragen“<sup>1</sup>. Im Bereich der industriellen Produktion ist die unter dem Schlagwort „Industrie 4.0“ zusammengefasste vernetzte Produktion ohne Big Data und künstliche Intelligenz nicht denkbar. Beim Einsatz von KI-Technologien in diesem Bereich geht es aber insbesondere auch darum, die einzelnen Produktionssysteme mit künstlicher Intelligenz auszustatten und somit den Weg zu einer teilautonomen und später auch vollautonomen Produktion zu ebnen. Obwohl es auch jetzt schon vielversprechende KI-Anwendungen und Produkte im Umfeld der vollautonomen Produktion gibt, sind dazu natürlich noch viele Entwicklungsschritte notwendig.

### Grundlagen der künstlichen Intelligenz

Künstliche Intelligenz ist eine Schlüsseltechnologie, die alle Bereiche der Wirtschaft und Gesellschaft tiefgreifend verändern wird. Immer wieder ist von zuvor undenkbar Leistungen zu lesen, welche Maschinen dank dieser Technologie erzielen. Besonders Fortschritte im Bereich des maschinellen Lernens und der Automatisierung, in welchen im Vergleich zum Menschen gleiche oder sogar bessere Leistungen erzielt werden, erwecken dieser Tage großes Interesse. Dabei ist der Grundgedanke hinter all diesen Ansätzen nicht neu.

### Entstehungsgeschichte

Ausgangspunkt der künstlichen

Intelligenz ist der nicht ganz neue Wunsch, menschliche oder allgemeine Denkprozesse zu mechanisieren. Wissen wird durch Informationen ausgedrückt. Maschinen, die Informationen automatisiert und schnell verarbeiten können, sind uns schon länger geläufig. So überrascht es nicht, dass die Informatik sich der künstlichen Intelligenz als Kerngebiet annahm. Doch schon viel eher, genaugenommen im ausgehenden 17. Jahrhundert, beschäftigte sich Gottfried Wilhelm Leibniz, einer der bedeutendsten Universalgelehrten seiner Zeit, mit den Grundlagen dieser Wissenschaft. Später spielte das maschinelle Beweisen, also das Folgern von neuen Aussagen aus einer Menge gegebener Aussagen, eine große Rolle in der künstlichen Intelligenz. Damit war es



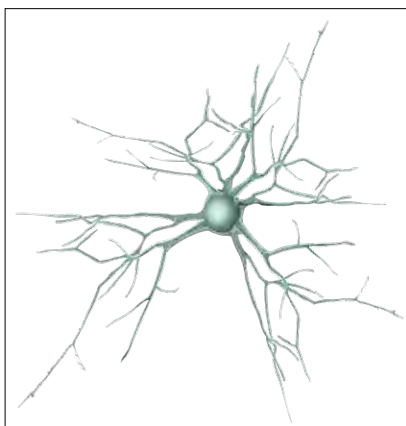
Gottfried Wilhelm Leibniz (\* 1. Juli 1646 in Leipzig; † 14. November 1716 in Hannover)

<sup>1</sup> PrivewaterhouseCoopers: „Künstliche Intelligenz in Unternehmen“, Studie 2019.

# Künstliche Intelligenz in der Prüftechnik

erstmalig möglich, eine unübersichtliche Menge an logischen Aussagen strukturiert, nachvollziehbar und in übermenschlicher Geschwindigkeit zu verarbeiten und deren Wahrheit maschinell zu überprüfen. Solche Ansätze können für **Expertensysteme**, welche dem Nutzer bei der Bearbeitung komplexer Aufgaben helfen, verwendet werden.

Darauf folgten künstliche neuronale Netze: Eine stark vereinfachte Simulation biologischer Neuronen, wie sie zum Beispiel in den Gehirnen von Säugetieren vorkommen. Im einfachsten Fall wird jedes einzelne Neuron durch eine Gewichtsmatrix und eine nicht lineare Funktion definiert. Die Gewichtsmatrix bestimmt, wie stark das Neuron auf seine einzelnen Eingänge reagiert. Die nicht lineare Funktion steuert die Ausgabe des Neurons.

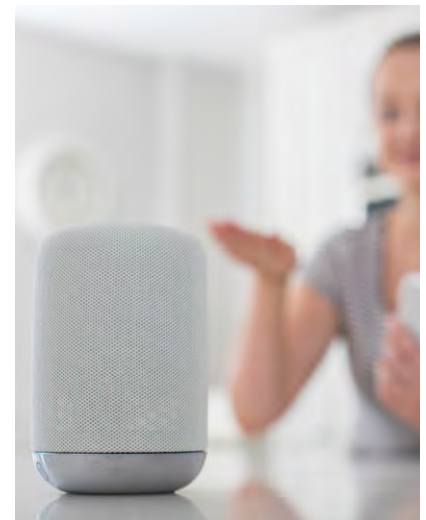


Darstellung eines natürlichen Neuron

Durch Lernmethoden werden die Gewichte der Matrix über viele Trainingsschritte angepasst. Eine Vielzahl von Neuronen wird zu einer Schicht zusammengefasst. Jedes Neuron ist über seine Gewichtsmatrix mit jedem Neuron in der vorhergehenden Schicht verbunden. Mehrere Schichten fügen sich zu einem Netzwerk zusammen. Egal welcher Ansatz der künstlichen Intelligenz gewählt wird, der Vorteil intelligenter Systeme und intelligenter Automatisierung für die Industrie ist nicht von der Hand zu weisen.

## Überblick

Elektronik bestimmt unser Leben und ist aus dem Alltag nicht herauszu-denken. Von der elektrischen Zahnbürste über leistungsstarke Haushaltsgeräte, Autos als de facto (selbst-)fahrende Computer, Unterhaltungselektronik an jeder Ecke oder Smart Home – nahezu jeder Schritt in unserem Leben wird elektronisch begleitet. Doch auch fernab von Konsumgütern und Unterhaltung sind insbesondere Industrieanlagen, Transportsysteme und Medizintechnik auf einwandfrei funktionierende Elektronik angewiesen. In vielen Bereichen des Alltags führt ein Ausfall unserer inzwischen vertrauten Technologien zu Ärger oder Herstellerwechsel – an kritischen Bereichen wie Steuerungssystemen von Autos oder OP-Me-



Beispiel für bekannte KI-gestützte Anwendungen.

dizintechnik hängen weit höhere Risiken. Kein Hersteller kann und will sich Funktionsausfälle oder Defekte aufgrund fehlerhafter Elektronik leisten. Daher ist das automatisierte Testen von Elektronik-Baugruppen zu einem der wichtigsten Prozessschritte in der Produktion gewachsen. Inzwischen hat sich gezeigt: Der Baugruppentest bestimmt über die Qualität des ausgelieferten Produkts und steht für das Image und

## Expertensysteme

Wissensbasierte Systeme, die geistige Aktivitäten wie Diagnostizieren oder Klassifizieren vergleichbar mit der Leistung menschlicher Experten durchführen. Expertensysteme arbeiten mit einer Wissensbasis. Aus dieser Basis werden Problemlösungen für die vom Benutzer eingegebenen Problemmerkmale generiert.



die Reputation des Unternehmens. Produktionsprozesse sind individuell und unterscheiden sich nach Branche und Anwendungsfall; doch egal ob Elektronik-Großhersteller für den Massenmarkt (High Volume) oder kleiner Fertiger für besonders komplexe Baugruppen (Low Volume): Industrielle Produktionsprozesse sind üblicherweise nach einem ähnlichen Schema aufgebaut. Dementsprechend haben Test- und Inspektionslösungen ihre Plätze gefunden. Zu Beginn steht häufig das Bedrucken der „nackten“ Leiterplatte mit Lotpaste und anschließendem Bestücken der einzelnen Bauteile, bevor die Baugruppe verlötet wird. Während dieser Schritte können zahlreiche Fehler auftreten. **Optische Testverfahren** werden schon im frühesten Stadium der Fertigung angewendet, um rechtzeitig eingreifen zu können und Prozesse gegebenenfalls anzupassen. Ist die Baugruppe erst einmal final gefertigt, gibt es zahlreiche **elektrische Testverfahren**, um auch die tatsächliche Funktionalität aller verbauten Komponenten und Verbindungen zu überprüfen. Schließlich werden die Baugruppen in Systeme oder Module verbaut oder zum Endkunden geliefert, der diese dann in die jeweilige Umgebung einfügt. Als Beispiele dienen hier Steuergeräte oder Elektromotoren in Autositzen sowie elektrische Antriebe für Fensterheber, Heckklappen, etc. Solche Systeme werden in der Regel am

Ende der Produktionslinie getestet – „**End-of-Line**“.

### KI automatisiert die Prüfprogrammerstellung

Grundlage für die Funktionsweise optischer Inspektionssysteme sind **Prüfprogramme**. Bei AOI-Systemen (Automatische Optische Inspektion) hinterlegen sie den Aufbau der Leiterplatte (z. B. auf Basis von CAD-/Bestückdaten) und die Art der Prüfung durch das System (Prüf- bzw. Bauteilbibliothek). Jedes Produkt und jede Baugruppe benötigt in der Fertigung ein eigenes Prüfprogramm, was üblicherweise durch den Bediener, bzw. AOI-Programmierer erstellt wird. Je nach Baugruppengröße und –komplexität ist das ein zeit- und kostenintensiver Prozess. Die Programmierung besteht zum einen aus der Programmierung und zum anderen aus der Programmoptimierung.

Letztere kommt immer dann zum Tragen, um durch Schwankungen im Fertigungsprozess oder wegen Bauteilvarianzen hervorgerufene Pseudofehler (gute Lötstellen werden als schlecht beurteilt) oder Fehlerschlupf (schlechte Lötstellen werden als gut beurteilt) zu verhindern. Die Optimierung von Prüfprogrammen justiert die Schwellwerte zwischen „Gut“ und „Schlecht“, also wann ein Bild wie bewertet wird. Auch dieser Prozess ist mitunter

aufwändig und kann bei einem hohen Produktspektrum viel Zeit in Anspruch nehmen. Die System-Software PILOT AOI Version 6 der GÖPEL electronic-AOI-Systeme setzt künstliche Intelligenz zur automatischen Prüfprogrammerstellung ein. Nach dem Import von **Gerber- und Bestückdaten** sowie einer automatischen Layout-Analyse erstellt die

#### Optische Testverfahren

Optische Testverfahren dienen der Kontrolle der sichtbaren Qualitätsmerkmale einer Baugruppe. Sie liefern „nur“ die Aussage, dass eine Baugruppe funktionieren müsste.

#### Elektrische Testverfahren

Diese geben über die Funktion einer Baugruppe Gewissheit. Allerdings kann keine Aussage getroffen werden, ob bspw. eine Lötverbindung nur in den nächsten Minuten oder gar Jahren hält.

#### End-of-Line-Tests (EoL)

End-of-Line-Tests (EoL) sind im Fertigungsprozess für die Überprüfung der gesamten Funktionalitäten des Endproduktes, inkl. der verbauten Elektronik, zuständig.

#### Prüfprogramm

Eine strukturierte Folge von einzelnen Prüfschritten. Jeder Schritt überprüft ein oder mehrere Merkmale auf Abweichung von einem Zielwert. In der optischen Inspektion handelt es sich meist um komplexe Bildverarbeitungsschritte und Heuristiken. In der elektrischen Prüfung können Prüfschritte einzelne elektrische Messwerte oder längere Signalfolgen verifizieren.



„MagicClick“ genannte Funktionalität die benötigten Bibliothekseinträge und weist diese den jeweiligen Artikelnummern zu. Anhand einer Musterbaugruppe und vordefinierter Toleranzen werden danach die Inspektionsparameter automatisiert angepasst. Mit einem einzigen Mausklick wird so das AOI-Prüfprogramm inklusive **Bauteilbibliothek** vollautomatisch erstellt und anhand der Musterbaugruppe optimiert. Der früher langwierige und oft mehrerer Stunden in Anspruch nehmende Prozess der Prüfprogrammerstellung und Optimierung ist heute typischerweise in weniger als einer halben Stunde selbst für komplexe Baugruppen abgeschlossen. Im Vergleich zur konventionellen Herangehensweise bietet MagicClick somit signifikante Kosteneinsparungen und ermöglicht den Einsatz von AOI auch bei kleinsten Stückzahlen.

### KI-basierte Klassifikation zur Kontrolle von Bestückprozessen

Trotz der rasant zunehmenden Automatisierung in der industriellen Produktion wird es auch in absehbarer Zukunft noch viele Montageprozesse geben, die manuell durchgeführt werden müssen. Aufgrund des komplexen Aufbaus der Produkte und/oder einer hohen Individualität der Produktvarianten ist eine vollständige Automatisierung der Montage in solchen Fällen wirtschaftlich nicht

sinnvoll. Zudem ist auch im Hinblick auf die kürzer werdenden Produktzyklen eine manuelle Montage oft der einzige Weg, eine effiziente Wertschöpfung darzustellen. Beispiele für solche Montageprozesse gibt es in den unterschiedlichsten Industriezweigen. Im Bereich der Elektronikfertigung gehört die Bestückung von THT-Bauteilen (Through-Hole Technology) in diese Kategorie. In Zeiten von Industrie 4.0 wird für manuelle Montageplätze zunehmend gefordert, optische Inspektionssysteme sowie automatische Protokollierungen direkt zu integrieren.

Die direkte Integration einer optischen Inspektion in den Montageprozess erfordert im Vergleich zu den traditionellen AOI-Systemen allerdings völlig neue und innovative Gerätekonzepte. Die Kameras zur Inspektion müssen so angeordnet werden, dass sie den Montageprozess der dort arbeitenden Menschen nicht beeinflussen. Die Beleuchtung kann nicht auf die Erfordernisse der Bildverarbeitung optimiert werden, sondern muss den gesetzlichen Anforderungen eines Arbeitsplatzes für Montageprozesse entsprechen. Zudem ist eine lichtabschirmende Verkleidung nicht möglich, da dies den manuellen Montagevorgang einschränken würde. Mit dem „MultiEyeS plus“ bietet GÖPEL electronic ein für den beschriebenen Anwendungsfall optimal geeignetes Inspektion-Modul für

#### CAD-/Bestückdaten

Elektronische Entwurfsdaten, welche zur Fertigung der elektrischen Flachbaugruppen verwendet werden. Je nach Art und Umfang umfassen die Daten die Positionen, Ausdehnungen und Bezeichnungen von Leiterzügen, Pads, Komponenten und Positionsmarken. Für die automatische optische Inspektion stellen diese Daten wertvolle Informationen dar.

#### Prüf-/Bauteilbibliothek

Die Bibliothek verknüpft Prüfschritte mit einem konkreten Bauteil. Da Bauteile in der Regel mehrmals auf einem Prüfling existieren, erleichtert die Bibliothek nicht nur die Prüfprogrammerstellung, sondern auch das Debugging. Durch vorgefertigte Bausteine ist das Prüfprogramm schnell erzeugt und durch die logische Verknüpfung der Bauteile sind Änderungen an allen Exemplaren gleichzeitig möglich.



MultiEyeS plus: ein Beispiel für ein offenes System zur Inspektion von Montageprozessen.



einen großen Bildbereich von ca. 550 mm x 450 mm an. Basis des Systems ist eine aus bis zu 12 Kameras bestehende Multikamerabildaufnahmeeinheit mit integrierter Beleuchtung. Die Einzelbilder der Kameras werden zu einem gemeinsamen Bild, wie man es aus der Panoramafotografie kennt, zusammengesetzt. Alle Prüfungen werden auf dem Gesamtbild ausgeführt. Eine Zuordnung von Inspektionsbereichen zu einzelnen Kameras ist nicht nötig. Das „MultiEyeS plus“ Modul ist so ausgelegt, dass es direkt oberhalb des Montagetisches angebracht wird, ohne dass zusätzliche Maßnahmen zur Lichtabschirmung notwendig sind. Aus Sicht der klassischen Bildverarbeitung ist eine solches „offenes“ System natürlich nicht optimal, und eine reproduzierbare Inspektion wäre mit den klassischen Ansätzen nicht oder nur durch sehr aufwändiges Debuggen der Prüfprogramme möglich. Genau an diesem Punkt setzt eine KI-basierte Lösung an. Durch die relative Unempfindlichkeit von **faltenden neuronalen Netzen** gegenüber Helligkeits- und Positionsschwankungen sind sie der ideale Weg, um von Hand platzierte Objekte zuverlässig zu erkennen.

Ansätze auf Basis von neuronalen Netzen benötigen jedoch eine große Menge an Beispielen, um komplexe Probleme bearbeiten zu können. Solche Beispieldaten sind meist nur sehr aufwendig und kostenintensiv zu

beschaffen. Diese Hürde der Beschaffung von qualitativ hochwertigen Daten ist es, welche die flächendeckende Verwendung von **Deep Learning** in Inspektionsbereichen bisher gedämpft hat. Nachdem die Daten zusammengetragen sind, müssen sie bereinigt und vorverarbeitet werden. Für überwachte Trainingsverfahren ist noch das Bestimmen der entsprechenden Label nötig. Gerade das ist ein arbeitsaufwendiger Prozess und erwartet das gleiche Niveau an Domänenwissen, wie es später von der KI erfordert wird. Ist der Datensatz vollständig, so kann das Modell trainiert und auf echten Daten getestet werden.

GÖPEL electronic verfolgt hier einen anderen Ansatz. Ein System von mathematisch-statistischen Verfahren und Methoden des maschinellen Lernens ergänzen sich. Bereits frühzeitig wird durch mathematische Funktionen die beobachtete Verteilung der Daten beschrieben und das noch untrainierte neuronale Netz in den ersten „Vermutungen“ bekräftigt oder korrigiert. Hiermit wird ein Zustand erreicht, welcher zwar noch keine zuverlässige Prüfung verspricht, aber selbstständig einen Großteil weiterer Trainingsdaten labeln kann. Damit wird dem Anwender die zeitraubende Arbeit des Labelns abgenommen. Ist sich das System nicht „sicher“, also widersprechen sich das mathematische und das neuronale Modell drastisch, kann mittels einer aktiven

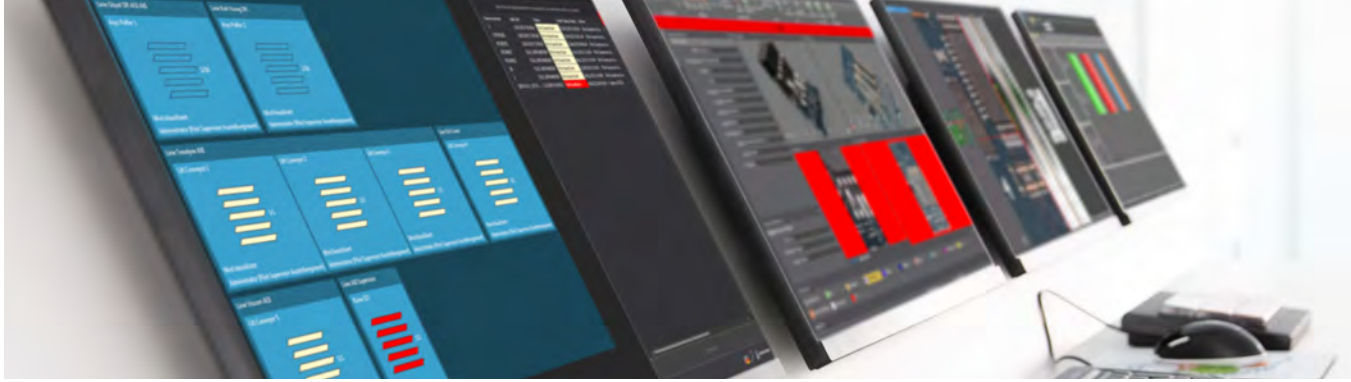
Methode zusätzlicher Trainingsinhalt erfragt werden. Hierzu wird einem menschlichen Experten zu einem beliebigen Zeitpunkt im Prozess ein Trainingsbeispiel des Systems präsentiert und er wird gebeten, seine Meinung abzugeben. Durch das Zusammenspiel von menschlichem Fachwissen, mathematischen Modellen und der Adaptionsfähigkeit der neuronalen

### Faltende neuronale Netze

Faltendes neuronales Netz bezeichnet eine Unterart der Künstlichen Neuronalen Netze, welche besonders in Bildverarbeitungs- und Bilderkennungsaufgaben eine hohe Leistungsfähigkeit zeigen. Jedes Neuron einer Schicht reagiert hier nur auf eine lokale Ansammlung von Neuronen in der vorhergehenden Schicht. Es kann also nur lokal aktiviert werden. Zur Aktivierung werden sogenannte Filter verwendet, welche Eigenschaften aus dieser Teilkarte der Vorgängerschicht ermitteln. Diese Filter werden für alle Neuronen einer Schicht gemeinsam verwendet, weshalb es einer Mathematischen Faltung gleicht. Dieser Aufbau ist im Groben unserem Verständnis der Funktionsweise des visuellen Cortex bei Säugetieren nachempfunden.

### Deep Learning

Deep Learning bezeichnet die neuesten Trends im maschinellen Lernen. Durch stark gestiegene Rechenleistung sind tiefere (deep), also komplexere, künstliche neuronale Netze in annehmbarer Zeit trainierbar geworden. Diese Entwicklung gab dem gesamten Forschungsfeld der künstlichen Intelligenz einen neuen Aufschwung.



Netze entsteht in kürzester Zeit mit nur wenig menschlichem Aufwand ein trainiertes Modell, das die reproduzierbare Inspektion auch bei ungünstigen Bildaufnahme- und Beleuchtungsbedingungen ermöglicht. Zusammen mit einem ausgefeilten Kamerasystem für die optische Inspektion direkt an Montageplätzen wird ein großes Potential geboten, Montageprozesse und insbesondere auch die Bestückung von THT-Komponenten weiter zu optimieren.

### KI überwacht menschliche Entscheidungen

Die meisten der bereits oben beschriebenen industriellen Produktionsprozesse sind durch einen hohen Automatisierungsgrad geprägt. Dies ist einerseits Konsequenz aus hohem Kostendruck, andererseits

aus der Forderung nach einer gleichbleibend hohen Produktqualität. Dabei ist zu erkennen, dass sowohl die eigentlichen Fertigungs- und Montageschritte einer Baugruppe oder eines Produktes als auch die nachfolgenden mechanischen, elektrischen, akustischen, optischen oder wie auch immer gearteten Prüfungen automatisiert und ohne unmittelbaren menschlichen Einfluss ablaufen. Denn überall dort, wo Menschen monotone Tätigkeiten ausführen, besteht die Gefahr, dass durch Ermüdungserscheinungen Fehler passieren.

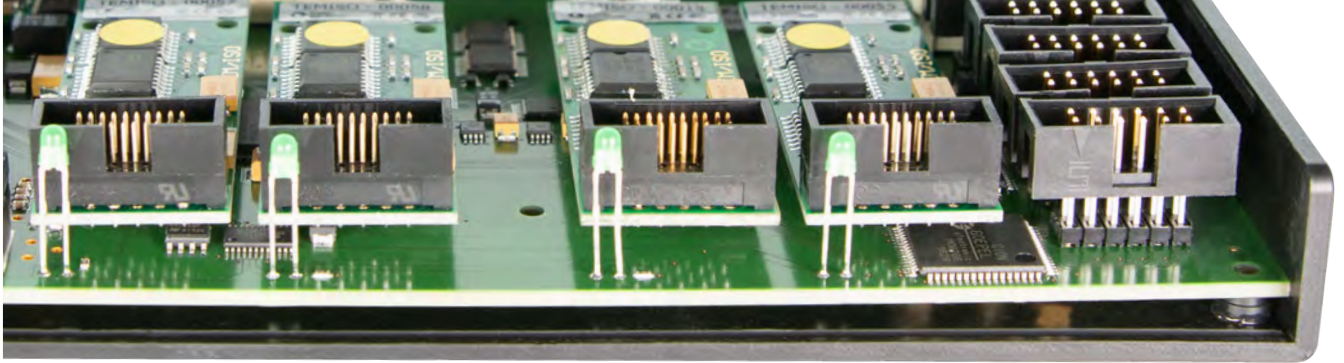
Typische Beispiele für hohe Automatisierungsgrade finden sich in vielen Fertigungslinien für elektronische SMD-Baugruppen („Surface Mounted Devices“): Baugruppen, deren miniaturisierte Bauteile auf

der Platine aufgebracht werden, statt durch Bohrungen verdrahtet (THT – Through Hole Technology). Hier laufen die Produktionsschritte Bedrucken, Bestücken, Verlöten usw. meist vollautomatisiert ab. Durch die automatisierte optische Inspektion oder automatisierte Röntgenprüfung werden die Baugruppen zu 100% auf korrekte Bestückung und Verlotung der Bauelemente getestet und fehlerhafte Baugruppen aussortiert. Im Fall von aussortierten Baugruppen ist es typisch, dass am Verifikationsplatz die vom Inspektionssystem erkannten Fehler final mit Menschaugen bewertet und klassifiziert werden. Das Softwaremodul PILOT Verify von GÖPEL electronic wurde um eine Funktionalität erweitert, in der die KI für jeden Fehler, der eine Entscheidung des Bedieners erfordert, eine eigene Entscheidung trifft. Kommt die künstliche Intelligenz zu einem anderen Ergebnis als der Bediener, wird eine Meldung angezeigt und der Nutzer aufgefordert, seine Entscheidung nochmals zu überprüfen. Gegebenenfalls kann dazu auch die Entscheidung eines weiteren Bedieners oder eines Supervisors angefordert werden. Mit diesem Mechanismus soll verhindert werden, dass eine Baugruppe mit einem tatsächlich vorhandenen und vom AOI erkannten Fehler nicht nachträglich als eine Gut/Pass-Baugruppe deklariert werden kann. Ist die künstliche Intelligenz dann soweit trainiert, dass alle möglichen



Fertigungslinie mit Handbestückung und abschließender automatischer optischer Inspektion.

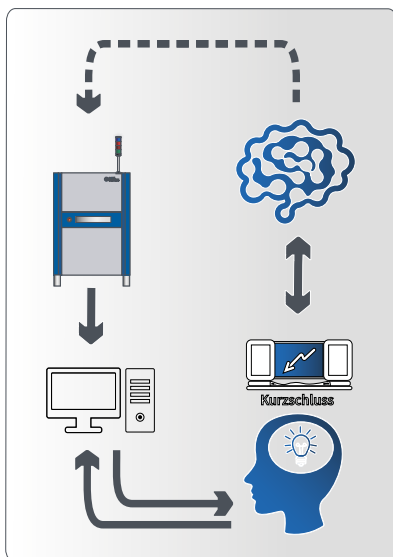




Fehlersituationen sicher erkannt werden, wird in einem weiteren Schritt die Verifikation automatisiert. Dann trifft die künstliche Intelligenz die Basisentscheidung und fordert die Entscheidung eines Bedieners oder Supervisors nur noch in Situationen an, in denen keine sichere Klassifizierung getroffen werden kann.

### Optimierte Testabdeckung durch KI

Die elektronischen Testverfahren sind ein wesentlicher Bestandteil im heutigen Fertigungsprozess. Dabei werden nicht nur sämtliche Verbindungen der Baugruppe auf Fehlerfreiheit



Beispiel für ein kooperatives Klassifizieren von Bauteilfehlern durch Mensch und KI. Die KI klassifiziert die gleichen Inspektionsdaten wie der Mensch. Bei einem Dissens muss das Klassifizierungsergebnis nachgeprüft werden.

getestet, sondern auch Bausteine wie Mikroprozessoren und FPGAs programmiert und ihre Funktion geprüft. SYSTEMCASCON ist dabei eine Software-Plattform, die verschiedene Technologien zusammenführt und sowohl in Produktion, als auch Entwicklung nutzbar macht. Ähnlich dem Prüfprogramm bei Inspektionssystemen müssen Testprogramme erst entwickelt werden. Dazu sind sehr detaillierte Informationen über den Prüfling und seine einzelnen Elemente notwendig. Basierend auf CAD-Daten müssen Elemente klassifiziert und Funktionsmodelle aus der Bibliothek zugewiesen werden. Das Problem dabei: die Elemente (Bausteine, Pins und Verbindungen/Netze) aus den CAD-Daten besitzen, abgesehen vom Namen, welcher vom Hardware-Designer beliebig vergeben werden kann, weder Informationen darüber, welcher Klasse sie angehören, noch ein Modell, was ihre interne Funktionsweise beschreibt. An dieser Stelle kommt die künstliche Intelligenz zum Einsatz: Durch ein angelerntes Modell, welches die Struktur der Elemente und ihre Verbindungen untereinander analysiert, werden Bausteine (z. B. Widerstände, Kondensatoren, RAM- und FLASH-Komponenten) sowie Netze (Power, Ground, JTAG) klassifiziert und dem Nutzer vorgeschlagen. Die Suche nach einem passenden Bibliothekseintrag wird ebenfalls durch neuronale Netze verbessert. Anstatt nach einem beliebigen Be-

zeichner zu suchen, wird die Struktur des Bausteins mit den Einträgen in der Bibliothek verglichen. So werden die potentiellen Modelle herausgefiltert. Nur durch die Vollständigkeit der Boardinformationen können automatische Testgeneratoren, Analyse- und Diagnose-Algorithmen ihre volle Leistungsfähigkeit entfalten und dem Nutzer bei seinem Ziel der hundertprozentigen Testabdeckung unterstützen. Durch den Einsatz künstlicher Intelligenz in der Software-Plattform SYSTEMCASCON kommt der Anwender diesem Ziel einen bedeutenden Schritt näher.

### Luft- und Körperschall-Analyse mit KI in der Produktion

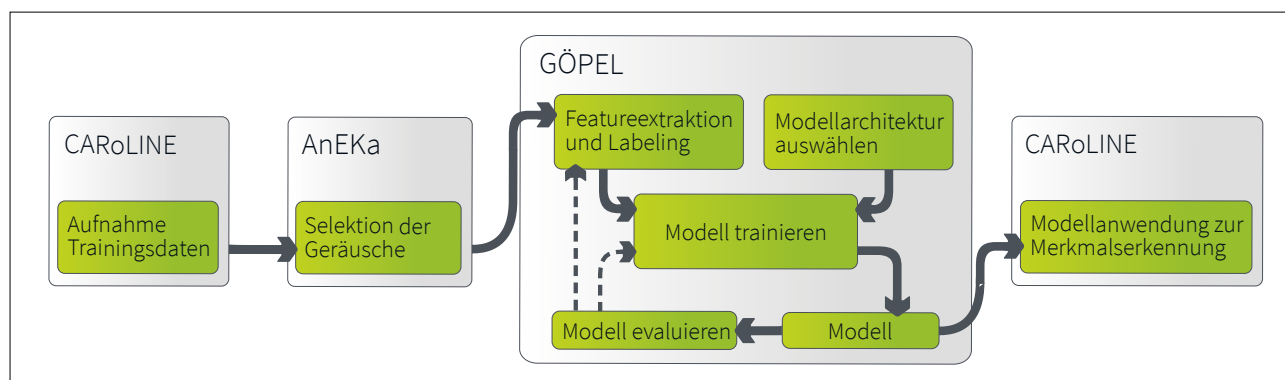
Auch mechatronische Komponenten, z.B. Elektromotoren und Lordosepumpen für Autositze oder Motoren für verstellbare Seitenspiegel, unterliegen im Produktionsprozess strengen Qualitätsanforderungen. Optische Tests und Funktionstests sind gängig. Darüber hinaus spielt die Geräuschanalyse eine tragende Rolle in der Qualitätssicherung, da hiermit völlig andere Parameter überprüft werden können. Mithilfe des sogenannten Körperschalls (Übertragung von Schall durch Vibrationen) sind Rückschlüsse über die Montagegüte beweglicher Systeme möglich. Auf dieser Basis kann in erster Linie der Hersteller die Akustikanalyse zur Optimierung des ei-



genen Fertigungsprozesses nutzen. Eine Beurteilung der Klangqualität, also ob ein Geräusch als angenehm und typisch oder als ungewohnt und störend empfunden wird, kann nur anhand des Luftschalls ermittelt werden. Speziell im Automobilbau hat eine als angenehm empfundene Akustik einen hohen Stellenwert. Störgeräusche beeinträchtigen das Fahrgefühl der Insassen enorm. Für den Endkunden kann die Akustikanalyse der Sicherstellung des Komforts dienen. Testsysteme auf Körperschallbasis sind in der Produktion bereits im Einsatz. Um auch im Luftschall Geräuschmuster zu erkennen ist es notwendig, neue Verfahren im Fertigungsprozess zu etablieren. Das CARoLINE-Testsystem ist ein Akustiksystem, welches die Produktion ergänzend zum Körperschall auch

und künstlicher Intelligenz möglich. Der besondere Vorteil: Störgeräusche und Lärm - in der Produktionshalle unumgänglich - haben durch die Verwendung von KI keinen wesentlichen Einfluss auf die geräuschsensitive Akustikanalyse. Bisherige Lösungen bestanden in einer akustischen Abschirmung. Prüflinge mussten aus der Fertigungslinie entfernt und in einem geräuschgedämpften, isolierten Bereich der akustischen Prüfung unterzogen werden. Das CARoLINE Testsystem bietet einen anderen Ansatz direkt im Linienbetrieb. Mit maschinellem Lernen werden bisherige mathematische Berechnungsfunktionen mit der Erhebung der Datensätze zur Klassifizierung spezifischer Merkmale und Geräuschmuster verbunden. Während der Produktionszyklen bilden nun die ermittelten

bestimmten Klassifikatoren. Klare und deutlich ausgeprägte Geräusche sind nicht mehr abhängig vom Frequenzgang oder von Schwankungen in der Drehzahl, sondern nur noch von der Zuordnung (Annotation) der aufgetretenen Störungen im Produkt. Detaillierte mathematische Kenntnisse über die Ermittlung der Fehlgeräusche sind somit nicht mehr notwendig. Sie müssen lediglich im aufgenommenen Audiosignal herauszuhören sein. Die schematische Darstellung zeigt den Ablauf zur Erstellung eines Klassifikators und dessen Anwendung in der Produktion. Somit verbindet CARoLINE der vierten Generation bewährte mathematische Verfahren wie auch die Anwendung von KI. Damit ist eine effektive akustische Überprüfung des Fertigungsprozesses durch Körper- und Luftschall auch bei lau-



Ablauf zur Erstellung eines Klassifikators für CARoLINE und dessen Anwendung in der Produktion.

auf Basis von Luftschall analysiert. Die objektive Analyse der Produkte durch vorgegebene mathematische Algorithmen wurde erweitert. Dabei wird eine subjektive Bewertung mittels psychoakustischer Messmethoden

akustischen Aufzeichnungen eine Basis für die Merkmalermittlung. Vorhandene Störgeräusche werden ebenfalls aufgezeichnet. Diese Datensätze sind die Voraussetzung einer genauen Voraussage von subjektiv

ten Umgebungsgeräuschen möglich, was sowohl den Anforderungen der Hersteller als auch der Endkunden entspricht. Künstliche Intelligenz soll unser Leben verbessern und vereinfachen.



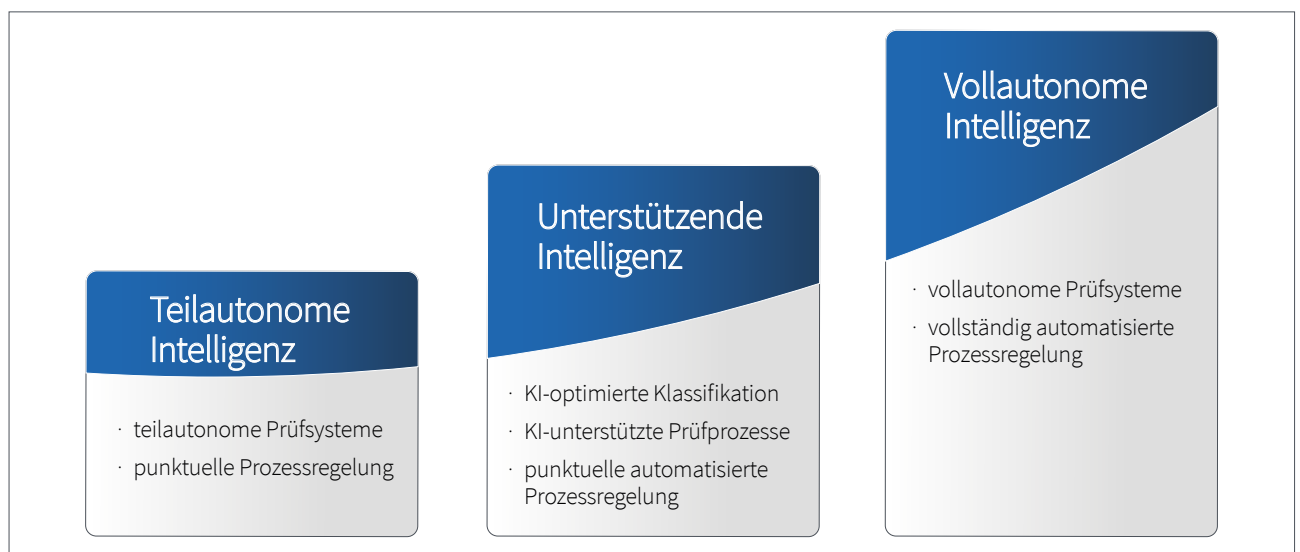
## Fazit

Auch in der Industrie wird KI mit klaren Zielstellungen eingesetzt: höhere Effizienz, Einsparung von Kosten und gesteigerte Qualität der Endprodukte. Das White Paper hat am Beispiel der industriellen Prüftechnik Einblick in verschiedene Bereiche gegeben und gezeigt, wie die KI schon heute Prozesse verändert. Für Unternehmen, aber auch für den Menschen ergeben sich daraus viele Vorteile. KI-gesteuerte Systeme übernehmen zeitintensive oder gar lästige Aufgaben. Der Anwender kann sich dabei um andere, wichtigere Dinge kümmern. Prozesse werden noch einfacher automatisiert und sind reproduzierbar, wodurch auch langfristig Vorteile entstehen. Test- und Inspektionssysteme für Elektronik-Baugruppen und mechanische Komponenten sind im

Jahr 2020 sehr ausgereift und unterliegen jahrelanger Optimierung. Auf dem Weg zur Null-Fehler-Strategie bietet künstliche Intelligenz ein enormes Potential. Mehr Fehler werden gefunden, die Testabdeckung wird erhöht. Die KI sieht Dinge, die das menschliche Auge vielleicht falsch einschätzt. Durch das Zusammenspiel von Mensch und KI werden unsichere Situationen noch besser bewältigt, Pseudofehler werden reduziert. Insbesondere unter schwierigen Fertigungsbedingungen (Licht und Lärm) wertet künstliche Intelligenz die Prüfsysteme auf. Neben all diesen Aspekten sind die Kosteneinsparungen für die Industrieunternehmen von größter Bedeutung. Schnelleres Prüfen, weniger Rückläufer und Ausfälle im Feldeinsatz sorgen nicht nur für

höhere Reputation beim Kunden, sondern bieten finanzielle Vorteile. „Den größten Wertbeitrag kann das maschinelle Lernen im Herstellungsprozess leisten: In der Produktion können bis zu 61 Mrd. Dollar eingespart werden, beispielsweise durch KI-basierte Qualitätskontrolle“<sup>2</sup>, so lautet das Ergebnis einer Studie zur Automobilindustrie im Jahre 2025. Der Weg zu teilautonomen und später vollautonomen Prüfsystemen durch den Einsatz von KI ist vorgezeichnet.

In Zeiten des globalen technologischen Wandels kann künstliche Intelligenz in der industriellen Prüftechnik einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil darstellen.



Etappen der absehbaren Entwicklung vollautonomer Prüfsysteme.



Bild Gerd Altmann

## Referenzen

- Brause, Rüdiger: Neuronale Netze. Eine Einführung in die Neuroinformatik, Stuttgart 1995.
- Görz, G.; Rollinger, C.-R.; Schneeberger, J. (Hrsg.): Handbuch der Künstlichen Intelligenz, 3. Auflage, München 2000.
- Lämmel, Uwe; Cleve, Jürgen: Lehr- und Übungsbuch künstliche Intelligenz, München 2001.
- McKinsey & Company: Artificial Intelligence – Automotive’s New Value-Creating Engine, Studie 2018.
- PrivewaterhouseCoopers: „Künstliche Intelligenz in Unternehmen“, Studie 2019.
- Zell, Andreas: Simulation neuronaler Netze, München 2003.

## Impressum

Whitepaper Künstliche Intelligenz in der industriellen Prüftechnik  
Herausgeber GÖPEL electronic GmbH  
Verantwortlich für den Inhalt GÖPEL electronic GmbH, Matthias Müller, m.mueller@goepel.com  
Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Herausgebers.  
Keine Haftung für Druckfehler.

