

IM FOKUS: MAINTENANCE

Hybride Instandhaltung: wie fließt das Fachwissen in die KI?

» Die KI-Revolution macht auch vor dem Bereich der intelligenten Instandhaltung nicht halt. Immer mehr Unternehmen integrieren intelligente Algorithmen zur Erkennung von Anomalien, zur Diagnose von Fehlfunktionen und zur Vorhersage künftiger Anlagenausfälle. Bedeutet dieser Schritt nach vorne, dass das umfangreiche Fachwissen, das traditionell das Kapital dieser Unternehmen war, aufgegeben wird? Das Smart-Maintenance-Team der ZHAW hat wiederholt die Erfahrung gemacht, dass der richtige Weg eher darin besteht, Fachwissen mit modernsten KI-Methoden zu kombinieren, um das Beste aus beiden Welten zu nutzen.

Autoren:innen: Lilach Goren Huber, Thomas Palmé and Manuel Arias Chao



Dr. Lilach Goren Huber
Projektleiterin
Smart-Maintenance-Team, School of Engineering, ZHAW. Co-Leiterin der Smart Maintenance Expert Group der Data-Innovation-Alliance.

Die Entscheidung, ob und wie eine komplexe Maschine gewartet werden soll, wurde traditionell von Ingenieuren:innen und Technikern:innen getroffen, die über das intimste Wissen über ihre Maschinen verfügten. In den letzten Jahren wird zunehmend versucht, solche auf Fachwissen basierenden Entscheidungen durch datenintensive KI-Algorithmen zu ersetzen. Oft sind diese Algorithmen zu datenintensiv, um praktisch anwendbar zu sein, und diese Black-Box-Ansätze werden von Fachleuten mit Skepsis betrachtet, da sie deren Argumentation nicht nachvollziehen können. Eine optimale Möglichkeit, von beidem zu profitieren, ist die Verschmelzung von menschlicher Intuition und physikalischem Wissen mit datengetriebener KI. Das Ergebnis ist häufig eine frühere, genauere und effizientere Erkennung von Fehlern, die gleichzeitig für menschliche Experten nachvollziehbar ist und somit auf ein breiteres Spektrum von Systemen und Bedingungen ausgeweitet werden kann.

Wie lässt sich diese Verschmelzung von KI mit Vorwissen erreichen und für den intelligenten Betrieb und Instandhaltung nutzen? Im Folgenden werden drei Beispiele genannt, die dies illustrieren.

FEHLERERKENNUNG IN SOLARKRAFTWERKEN

Technische Ausfälle können in Solarkraftwerken zu erheblichen Energieverlusten führen. Ein solcher Fehler tritt auf, wenn das Solarnachführsystem (Solar-Tracking-System) in einer bestimmten Position stecken

bleibt, anstatt sich zu drehen, um den Sonnenstrahlen optimal zu folgen. Um solche Energieverluste zu vermeiden, müssen Fehler im Nachführsystem rechtzeitig erkannt und behoben werden. Wenn genügend historische Daten vorliegen, kann ein KI-Algorithmus darauf trainiert werden, die Stromerzeugungsdaten einer PV-Anlage zu analysieren und Energieverluste, die auf Tracker-Fehler zurückzuführen sind, automatisch zu erkennen. Eine der Herausforderungen für ein solches KI-System besteht darin, dass es dies unter allen Wetterbedingungen und in jeder Region der Welt tun kann, aber keinen Zugang zu Beispielen historischer Tracker-Fehler hat, da diese normalerweise eher selten sind.

Die Herausforderung, zu wenig Informationen über Ausfälle zu haben, ist nicht nur bei PV-Anlagen gegeben. Ein neuartiger Ansatz zur Bewältigung dieser Herausforderung besteht darin, die Lücke der fehlenden Daten mit Hilfe unseres Wissens über die Physik des Systems zu schliessen, in einer sogenannten *physikalisch informierten KI-Methode*.

Diesen Ansatz verfolgt das Smart-Maintenance-Team der ZHAW in einem aktuellen Innosuisse-Projekt zusammen mit der Firma Fluence Energy [1]. Im Projekt wurde ein Softwaremodul für die intelligente Erkennung und Diagnose von Energieverlusten in netzgekoppelten PV-Anlagen entwickelt.

Das Verständnis des Tracker-Mechanismus ermöglichte es dem ZHAW-Team, einen *Fehlergenerator* zu entwickeln, der die Daten einer normal funktionierenden, in Betrieb befindlichen Solaranlage verwendet und sie in der richtigen Weise *verfälscht*, so dass es so aussieht, als ob sie von fehlerhaften Solar-Trackern stammen würden. In einem nächsten Schritt werden die synthetischen fehlerhaften Daten zusammen mit den normalen Betriebsdaten in ein Deep Learning neuronales Netzwerk eingespeist, das darauf trainiert ist, zwischen fehlerhaften und gesunden Solarstrings zu unterscheiden.

Die Ergebnisse der Klassifizierung zeigen, dass die physikalisch informierte KI die Fähigkeit zur Erkennung von Tracker-Fehlern um 70 Prozent verbessert, verglichen mit einer KI-Methode, die das Fachwissen nicht miteinbezieht. Konkret gelang es dem hybriden Algorithmus, 392 von 417 Fehlern zu erkennen, anstatt nur 231 Fehler zu entdecken. Dies wurde erreicht, während die Zahl der Fehlalarme nahe bei null lag.

FEHLERDIAGNOSE IN GASTURBINEN

Eine Gasturbine ist ein komplexes Mehrkomponentensystem, das in der Regel mit verschiedenen Temperatur-, Druck-, Schwingungs- und Leistungssensoren ausgestattet ist. Eine Gasturbine kann mehrere Fehlertypen aufweisen, die sich jeweils unterschiedlich in den Sensormesswerten widerspiegeln. Um den Betrieb

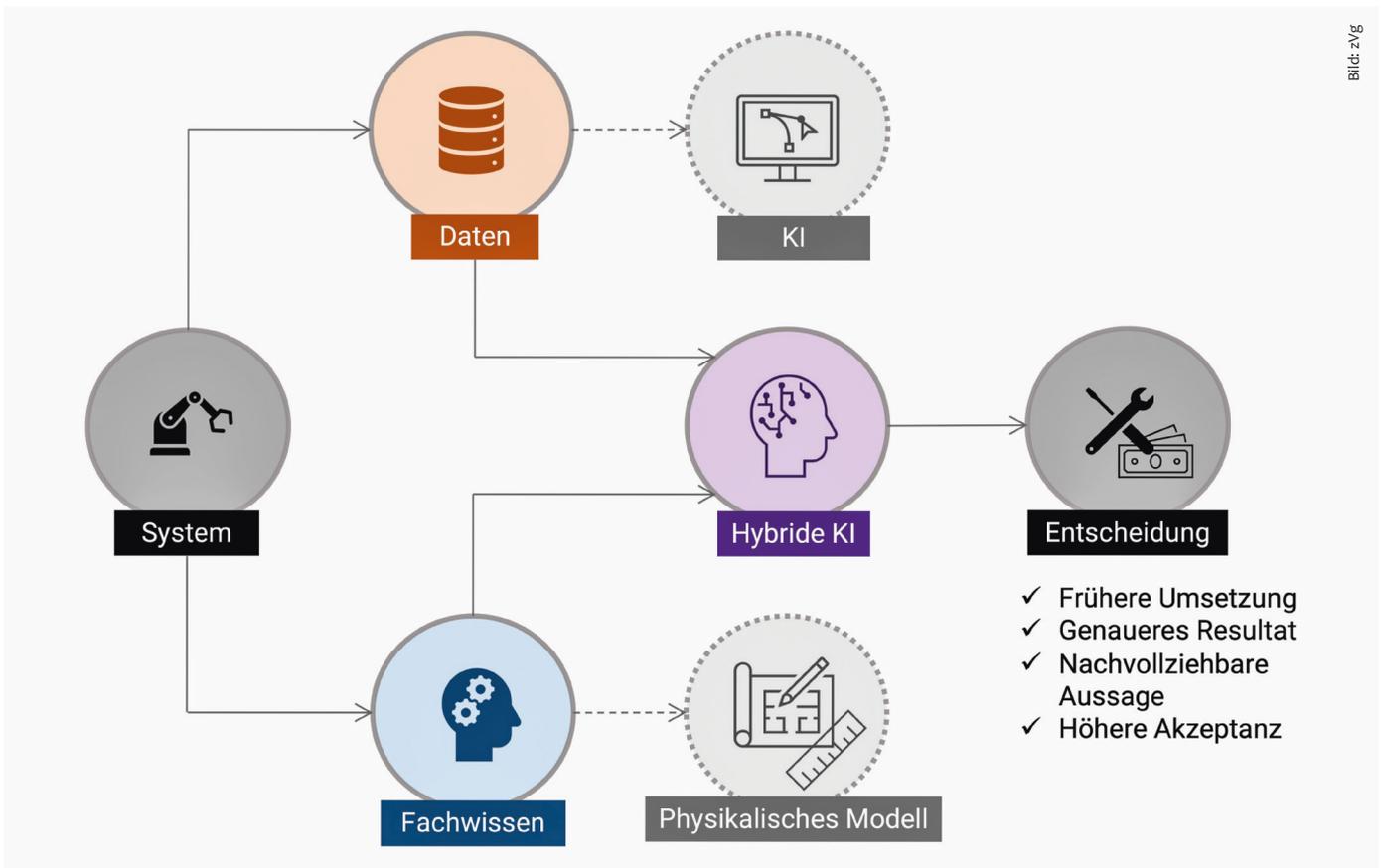


Bild: zVg

Wie lässt sich diese Verschmelzung von KI mit Vorwissen erreichen und für den intelligenten Betrieb und Instandhaltung nutzen?



Dr. Thomas Palmé
 Dozent für Smart Maintenance, School of Engineering, ZHAW. Co-Leiter der Smart Maintenance Expert Group der Data-Innovation-Alliance.

und die Instandhaltung der Turbinen zu optimieren, ist ein zentrales Ziel nicht nur die frühzeitige Erkennung von Fehlern, sondern auch die Bestimmung der Fehlerursache und die Diagnose der richtigen Fehlerart.

Aufgrund ihrer zentralen Rolle in Industrieanlagen und Infrastrukturen basiert das Design von Gasturbinen traditionell auf detaillierten physikalischen Modellen mit hoher Genauigkeit. Die direkte Verwendung solcher Modelle für die vorausschauende Instandhaltung ist jedoch nur begrenzt möglich. Der Grund dafür ist, dass diese Modelle nur sehr schwer auf die spezifische Anwendung und die Betriebsbedingungen jeder einzelnen Turbine abgestimmt werden können.

Es stellt sich heraus, dass KI genau an diesem Punkt den fehlenden Teil abdecken kann. Wie in [2] gezeigt, können KI-Algorithmen so trainiert werden, dass sie das physikalische Wissen aus den generischen Modellen auf eine bestimmte Turbine übertragen, wobei eine relativ kleine Menge an Betriebsdaten eben dieser Turbine verwendet wird. Ein solcher hybrider Transfer-Learning-Ansatz führt zu einer verbesserten Fähigkeit, den Trend der Degradation dieser Turbine zu erkennen, und kann gleichzeitig die Degradation bestimmten Stellen innerhalb des komplexen Systems zuordnen, wodurch die Interpretierbarkeit und somit die Akzeptanz der Ingenieure im Haus erhöht wird.

VORAUSSCHAUENDE INSTANDHALTUNG VON FLUGZEUGTRIEBWERKEN

Ähnlich wie bei Gasturbinen handelt es sich bei Flugzeugtriebwerken um hochkomplexe Systeme mit zahlreichen Ausfallarten, die mithilfe fortschrittlicher physikalischer Simulationsmodelle sorgfältig entwickelt werden. Die vorausschauende Instandhaltung dieser Systeme erfordert eine frühzeitige und genaue Vorhersage der Restnutzungsdauer (RUL) jedes Triebwerks auf der Grundlage seines individuellen Zustands, des erwarteten Betriebs und der Historie. KI kann für solche Vorhersagen eingesetzt werden, wenn genügend historische Daten von ähnlichen Einheiten vorliegen, die den gesamten Verlauf der Degradation abdecken. Es hat sich jedoch herausgestellt, dass eine genaue RUL-Vorhersage sogar noch früher möglich ist, wenn wir die physikalischen Leistungsmodelle nutzen, die bereits in der Designphase der Triebwerke verfügbar sind. Das Smart-Maintenance-Team der ZHAW hat einen Algorithmus entwickelt, der anhand der physikalischen Simulation in Verbindung mit echten Sensordaten des Triebwerks trainiert wird [3]. Der hybride Ansatz führt zu einer genauen RUL-Vorhersage, die deutlich früher erfolgt als bei einem reinen KI-Ansatz, der das physikalische Wissen über die Triebwerke nicht nutzt. In drei untersuchten Fällen ermöglichte der hybride Ansatz anstelle einer genauen RUL-Warnung erst 10 bis 20 Triebwerkszyklen vor dem Ausfall eine genaue Warnung rund 40 Zyklen

vor dem Ausfall (etwa eine Verdoppelung des Ausfallvorhersagehorizonts), so dass genügend Zeit für die Planung von Instandhaltungsmassnahmen blieb.

DIE VORTEILE DER HYBRIDISIERUNG

- Früher Einsatz im Betrieb: Der Einsatz von Algorithmen zur vorausschauenden Instandhaltung ist auch unter Bedingungen von Datenknappheit möglich (zum Beispiel keine Fehlerdaten oder nur wenige Daten von einer bestimmten Maschine im Flotten).
- Genauigkeit: Die Hybridisierung ermöglicht frühere Vorhersagen mit höherer Genauigkeit.
- Interpretierbarkeit: Die Kombination von Physik mit einer «Black Box»-KI ermöglicht die Interpretierbarkeit der Vorhersagen und ihre Anpassung an neue Betriebsbedingungen.
- Akzeptanz: Die Unterstützung der KI durch das etablierte, langjährige interne Fachwissen von Ingenieur:innen und Techniker:innen erhöht die Chancen, dass diese Experten:innen die Vorhersagen akzeptieren und danach agieren. <<



Dr. Manuel Arias Chao
Dozent für Smart Maintenance, School of Engineering, ZHAW. Co-Leiter der Smart Maintenance Expert Group der Data-Innovation-Alliance.

QUELLEN

- [1] J.Zraggen, Y.Guo, A.Notaristefano, and L. Goren Huber, Physics informed deep learning for tracker fault detection in photovoltaic power plants. Proceedings of the 14th Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society (2022).
- [2] T. Palmé, F. Liard, and D. Cameron, Hybrid modeling of heavy duty gas turbines for on-line performance monitoring. Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air (2014).
- [3] T. Palmé, L. Goren Huber and M. Arias Chao, Physics-informed machine learning for predictive maintenance: applied use-cases. Proceedings of the 10th IEEE Swiss Conference on Data Science (2023).

LEUCHTENLIFTE

Sicherheit an erster Stelle

LuxLift LIGHT 12-70 kg

- absenken bis 20 m
- Bedienung per APP oder Steuerleitung
- wartungsfrei
- Abmessungen ca. 23×23×23 cm



LuxLift TURN 12 kg

- absenken bis 20 m
- Armlänge bis 100 cm
- Bedienung per APP oder Steuerleitung
- wartungsfrei
- Rotationswinkel wählbar 45°, 90°, 145°, 180°
- Rotationsrichtung wahlweise rechts oder links

LuxLift ROPE

Wetterschutzgehäuse mit Seilklammerhalterung ermöglicht Beleuchtung über Strassen, Schienen und Plätzen. Anwendungsbeispiele u.a. Strassenbeleuchtung oder Querseilfeldbeleuchtung.



ZUBEHÖR



- Obere Montageplatten oder variable Montagebügel für eine abgehängte Montage
- Untere Montageplatten für eine flache Montage oder Aufhängung an der Ringschraube
- Revisionsabdeckung für abgehängte Decken
- Abdeckhauben



Generalvertretung für die Schweiz

Steinhaldenstrasse 26 Tel. +41 43 455 44 00 info@demelectric.ch
CH-8954 Geroldswil Fax +41 43 455 44 11 demelectric.ch

Verlangen Sie unsere Dokumentation