

Vertrauenswürdige KI in der Galvanotechnik

Validierung, Erklärbarkeit und Technologiehoheit durch datengetriebene Anomalieerkennung

Von Stefan Maier

Maschinen lernen den Normalzustand einer galvanischen Anlage – und melden sich, wenn etwas aus dem Rahmen fällt. Wie das funktioniert, warum Erklärbarkeit und Validierung dabei keine Optionen, sondern Bedingungen sind, und was Technologiehoheit für einen Galvanikbetrieb konkret bedeutet, stellt ein illustriertes Werkstattgespräch zwischen Galvanikmeister und Prozessingenieurin dar.

Meister Eder saß im Schichtbüro neben dem alten Gleichrichter, der hier seit der Anlagenmodernisierung als Ersatzteilständer stand. Es roch nach Saccharin und Warmluft. Lea stellte zwei Tassen Kaffee auf den Schreibtisch

Lea pustete in ihren Kaffee. „Im Studium haben die das Machine Learning genannt. Klingt kompliziert, ist aber im Grunde das, was du mit mir gemacht hast: Du hast mir nicht jede Störung einzeln erklärt. Ich stand einfach neben dir und habe gelernt, wie ein normaler Tag aussieht. Irgendwann habe ich gemerkt, wenn was nicht stimmte – ohne dass du mir gesagt hast, worauf ich achten soll. Der Rechner macht genau das: mehrere Wochen guten Betrieb anschauen, Muster merken. Wenn danach etwas anders läuft, meldet er sich.“



Also Lea – jetzt erklär mir das mal. Was genau machst du da mit den ganzen Zahlen?

Der Rechner lernt den Normalzustand. Wenn etwas anders läuft, meldet er sich.

Eder überlegte. „Also lernst du von alleine? Ohne dass ihm jemand sagt, was falsch ist?“

Lea: „Deshalb heißt das unüberwachtes Lernen – er braucht keine Fehlerbeispiele, sondern lernt den Normalzustand.“

! Was Eder beschreibt, ist Alltag: Hunderte Sensoren, schwindendes Erfahrungswissen [2], Tausende Grenzwertmeldungen

pro Woche – irgendwann schaut keiner mehr hin. Und was Grenzwerte grundsätzlich nicht sehen: Wenn mehrere Parameter sich gleichzeitig verschieben – jeder in der Toleranz, gemeinsam ein Frühzeichen für Elektrolytalterung. Ein lernender Algorithmus erkennt genau dieses Zusammenspiel – vorausgesetzt, das System ist erklärbar, validiert und lässt die finale Entscheidung bei der Fachkraft.

und setzte sich auf die Fensterbank, wie sie es als Lehrling immer getan hatte. Durch die Scheibe hörte man das Summen der Umsetzermotoren.

Eder: „Also Lea – jetzt erklär mir das mal. Du hast da diese Bildschirme in der Arbeitsvorbereitung hängen, wo früher mein Schichtplan war. Was genau machst du da mit den ganzen Zahlen?“

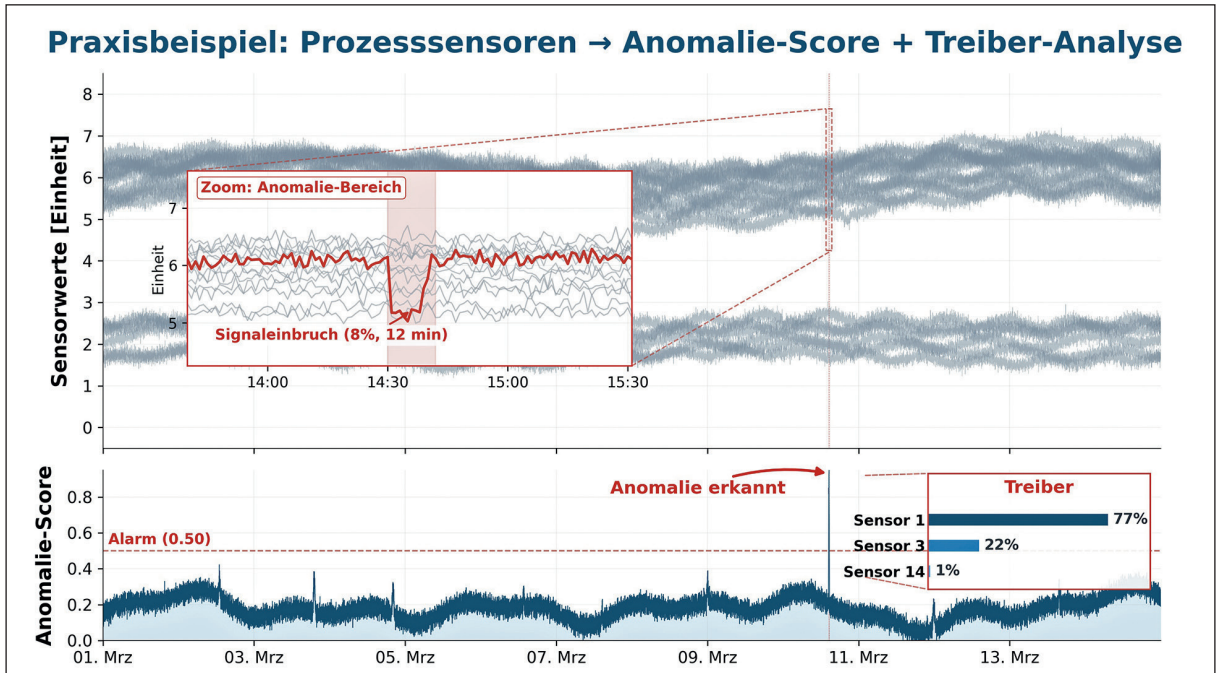


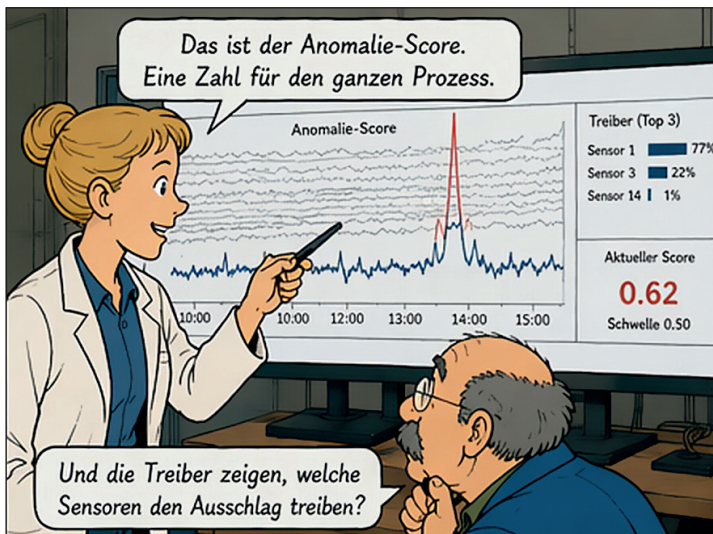
Abb. 1: Datenverdichtung: Prozesssensoren werden auf einen Anomalie-Score mit Treiber-Analyse verdichtet

**Das Gesamtbild:
Eine Zahl für den ganzen Prozess**

Lea: „Guck mal!“ Sie hielt ihm den Bildschirm hin. Zwanzig Sensorcurven, darunter eine einzelne Linie (Abb. 1).

Eder schob die Lesebrille hoch. „Das sind die Sensoren vom Nickelbad. Temperaturen, Spannungen, Leitwerte und ... was ist die blaue Linie da unten?“

Lea: „Der Anomalie-Score. Eine Zahl für den ganzen Prozess. Und siehst du den Ausschlag?“ Sie tippte auf eine Stelle. „Daneben steht, warum – welcher Sensor den Ausschlag getrieben hat. Das ist, als wenn du Flecken auf den Teilen hast: Kannst du sie abwischen, kommt es von der Finalspüle. Kannst du es nicht, sitzt es unter der Schicht. Das System zeigt dir nicht nur, dass etwas auffällig war, sondern wo in der Kette das Problem entstanden ist.“



Eder deutete auf die gestrichelte rote Linie. „Und was ist das?“

Lea: „Die Schwelle. Alles darunter ist normaler Betrieb – Rauschen, kleine Schwankungen, Tagesgang. Wenn der Score darüber geht, stimmt etwas nicht. Dann schau ich mir die Treiber an.“

Bei jedem Ausschlag zeigt das System die drei Parameter, die am stärksten beigetragen haben – rechnerisch aufgeschlüsselt. So sieht die Fachkraft sofort, wo sie hinschauen muss.

Daten aufbereiten wie ein Werkstück

Eder fuhr mit dem Finger die Kurven entlang. „Und das rechnet ihr einfach so aus?“

Lea: „Nein. Dafür müssen die Daten erst vorbereitet werden. Wie ein Werkstück.“ Lea wischte zum nächsten Bild – ein Schema mit sechs Stufen. „Denk mal an ein Bauteil frisch von der Drehmaschine. Kannst du das direkt ins Nickelbad hängen?“

Eder schnaubte. „Natürlich nicht. Da ist Öl drauf, Grate, Zunder.“

Lea: „Und unsere Daten kommen auch dreckig von der Steuerung. Ausreißer, Lücken, unterschiedliche Takte.“ Sie tippte auf die erste Stufe. „Schritt eins: Schleifen und Bürsten – kaputte Messwerte raus, Spitzen kappen. Dann Polieren: Kleine Lücken füllen, Oberfläche glätten. Große Löcher im Material werden angezeigt oder von der Berechnung ausgenommen.“

Eder nickte prüfend. „Aber schau dir die Oberfläche danach auch an?“

Lea: „Nach jedem Schritt prüfen wir – stimmt die Verteilung? Fehlen Werte? Erst wenn das sauber aussieht, geht es weiter. Dann Entfetten: Zeitraster angleichen, Rauschen reduzieren. Die Sachen, die auf den ersten Blick nicht auffallen, aber später Probleme machen.“

Eder: „Aha, also so wie beim Entfetten. Sieht sauber aus, aber der Wasserfilm reißt auf.“

Lea: „Dann Beizen: Wir normieren die Werte. Ein Sensor liefert Millivolt, der nächste Ampere, der dritte Grad Celsius. Damit der Rechner die vergleichen kann, bringen wir alle auf den gleichen Maßstab – relative Abweichung vom Normalwert. Wie beim Beizen: Egal ob Stahl oder Messing, am Ende willst du eine definierte Oberfläche.“

Eder scrollte selbst weiter. „Und das hier?“

Lea: „Spülen und Aktivieren. Zwischen den Schritten prüfen wir auf Verschleppung – wie die Farbe im Spülwasser. Und am Ende erzeugen wir aus den Einzelwerten drei Kennzahlen: Laufen die Sensoren im Gleichschritt? Schert einer aus? Wie stark schwankt das Gesamtbild?“

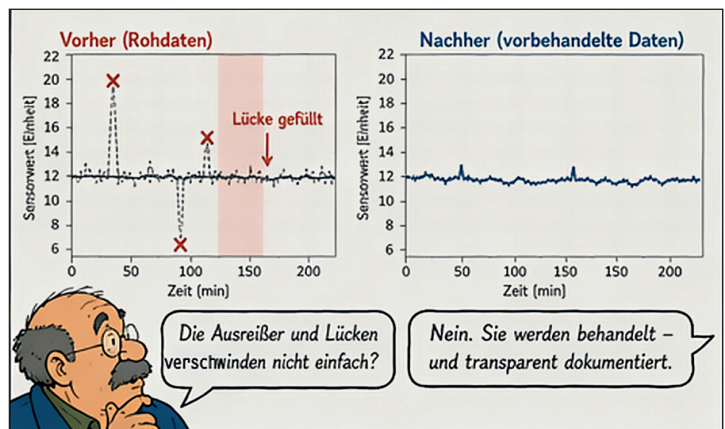
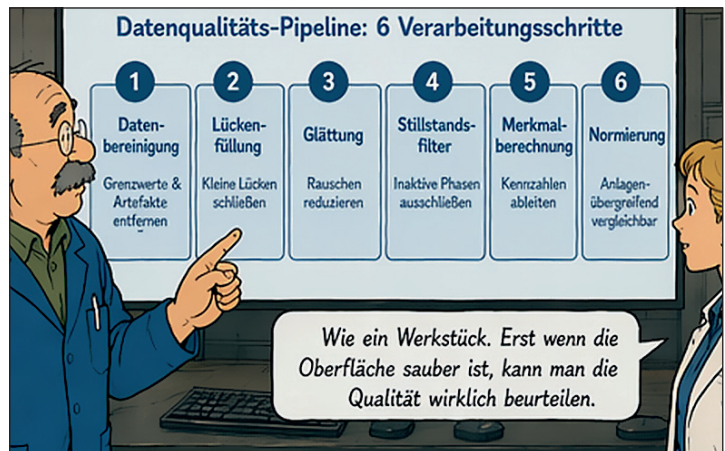
Eder betrachtete die Grafik – links die Rohdaten, rechts das Ergebnis. „Wie bei Damaszener Stahl. Wenn du eine frisch geschmiedete Klinge anschaust, siehst du nichts – nur eine graue Oberfläche. Aber wenn du sie ätzt, kommt das Gefüge raus. Die Lagen, die Muster. Erst die richtige Behandlung macht sie sichtbar.“ (Abb. 2)

!Die Qualitätskriterien der einzelnen Aufbereitungsschritte orientieren sich an ISO 8000 [1].

Validierung: Ehrliche Grenzen

Lea wischte weiter. Eine Karte, drei Farbzonen – grün, gelb, rot (Abb. 3).

Eder betrachtete das Bild aufmerksam. „Das sieht aus wie ein Zustandsdiagramm einer Legierung – verschiedene Phasenfelder, klar abgegrenzt.“



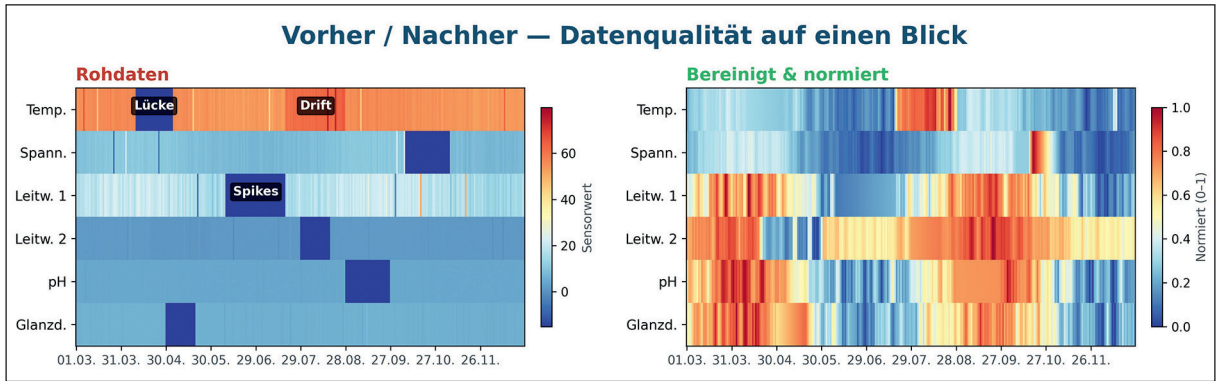


Abb. 2: Digitale Vorbehandlung: Rohdaten werden schrittweise bereinigt und normiert

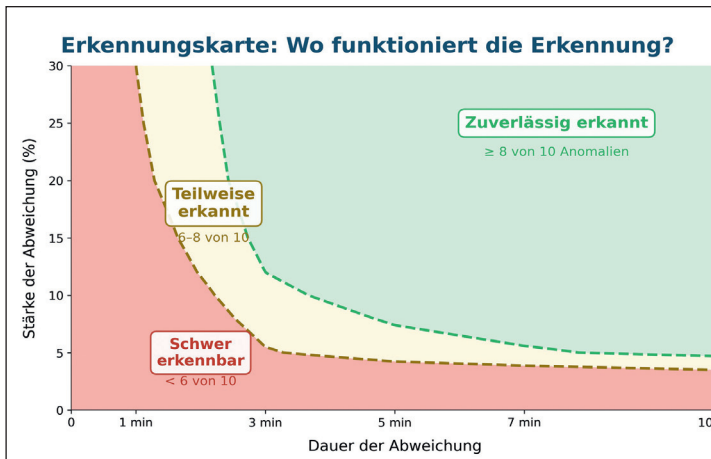
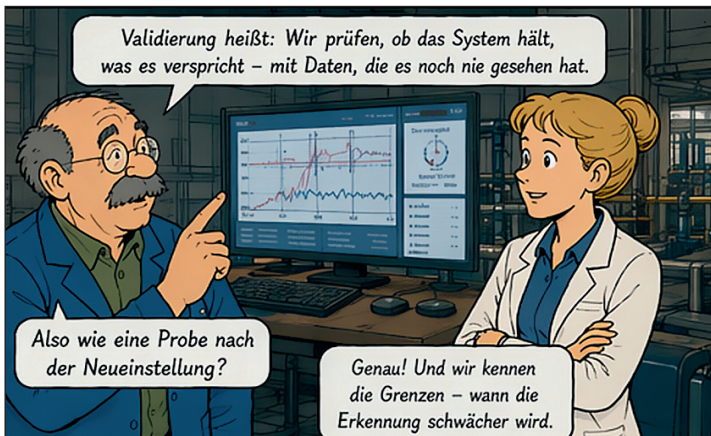


Abb. 3: Drei Farbzonen zeigen, ab welcher Stärke und Dauer Abweichungen zuverlässig erkannt werden



Lea: „Die grüne Zone: Hier erkennen wir alles zuverlässig. Gelb: Grenzbereich. Rot: Zu klein, zu kurz – geht im Grundrauschen unter.“

Eder: „Wie die Schichtdicke. Unter 0,1 Mikrometer misst

du mit X-Ray auch nur noch Rauschen.“

Lea: „Genau. Wir sagen nicht: Wir erkennen alles. Wir sagen: Hier ist die Grenze, hier der Beweis, hier die Toleranz. Wie bei deiner Schichtdickenmessung – du gibst dem Kunden nicht nur den Messwert, sondern auch den Messbereich und die Messunsicherheit.“

!Aber wie prüft man ein System, das Fehler erkennen soll, wenn echte Fehler selten und nie gleich sind? Indem man kontrollierte Prüfkörper unterschiebt – künstliche Abweichungen mit bekannter Stärke und Dauer, die den kompletten Weg durchlaufen. Die Erkennungskarte (Abb. 3) zeigt das Ergebnis. Zusätzlich bewertet eine Fachperson historische Produktionszeiträume blind – sie sieht nur die Rohdaten, keine Scores, und markiert auffällige Zeitbereiche. Danach wird automatisch abgeglichen: Hat der Algorithmus dieselben Stellen erkannt? Erst die Kombination beider Prüfungen ergibt das Leistungsversprechen, statistisch abgesichert.

Der Trend, den niemand sah

Lea wischte zum nächsten Bild. Eine einzelne Linie, die über Monate langsam ansteigt – am Ende gestrichelt weiter nach oben. Daneben ein Balkendiagramm mit drei Sensorzeichnungen (Abb. 4).

Eder betrachtete es lange. „Der geht hoch. Langsam, aber stetig. Und die Balken rechts – das sind die Treiber!“

Lea: „Genau. Und hier ist es fast nur Glanzdosierung 1 – 94 %. Die anderen beiden Glanzzusätze spielen kaum eine

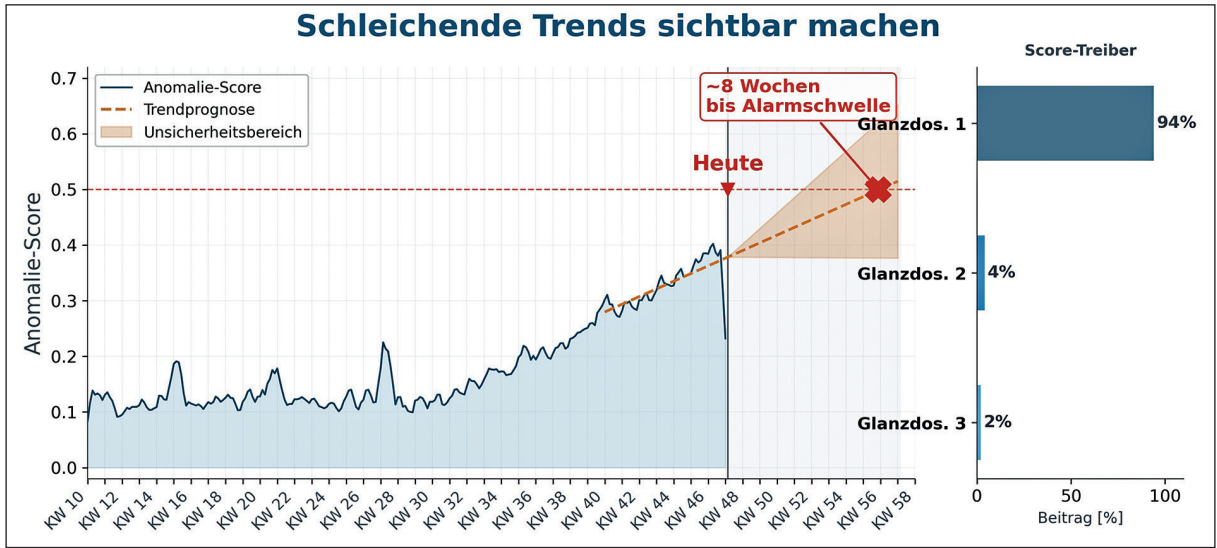


Abb. 4: Trendprognose mit Score-Treibern zeigt Prozessdegradation Wochen im Voraus

Rolle. Siehst du die gestrichelte Linie? In etwa acht Wochen erreicht der Score die Alarmschwelle – wenn nichts passiert.“

!Der Trick: Einzeln bleibt jeder Sensor in der Toleranz. Aber ihr Zusammenspiel verschiebt sich – und genau dafür ist der lernende Algorithmus gebaut.

Eder: “Das heißt, der sagt mir nicht nur, was passiert, sondern auch wann?”

Architektur und Technologiehoheit

Eder nickte zu dem kleinen Rechner auf dem Schreibtisch. „Und wo steckt das alles drin? In dem Kastl da?“

Lea: „So ungefähr. Das orange Dreieck im Bild zeigt die Unsicherheit – früher oder später, aber es kommt.“

Lea wischte zum letzten Bild (Abb. 5). „Hier laufen die Daten rein, direkt über Kabel von der Steuerung. Kein Internet, kein Funknetz – Kupfer. Und der Datenfluss geht nur in eine Richtung: von der Anlage zum Kastl. Da läuft kein Steuerbefehl zurück. Selbst wenn die Software spinnt – sie kann der Anlage nichts tun. Übrigens: Der EU AI Act [3]

Eder schweig. Dann sagte er leise: „Das hätte ich mir damals gewünscht. Beim sauren Kupfer, als die Streufähigkeit über drei Monate weggegangen ist.“ Er sah durch die Scheibe auf die Anlage. „Das ist wie ein Schutzengel. Steht hinter dir, fasst nichts an, aber tippt dir auf die Schulter, wenn du etwas übersieht.“

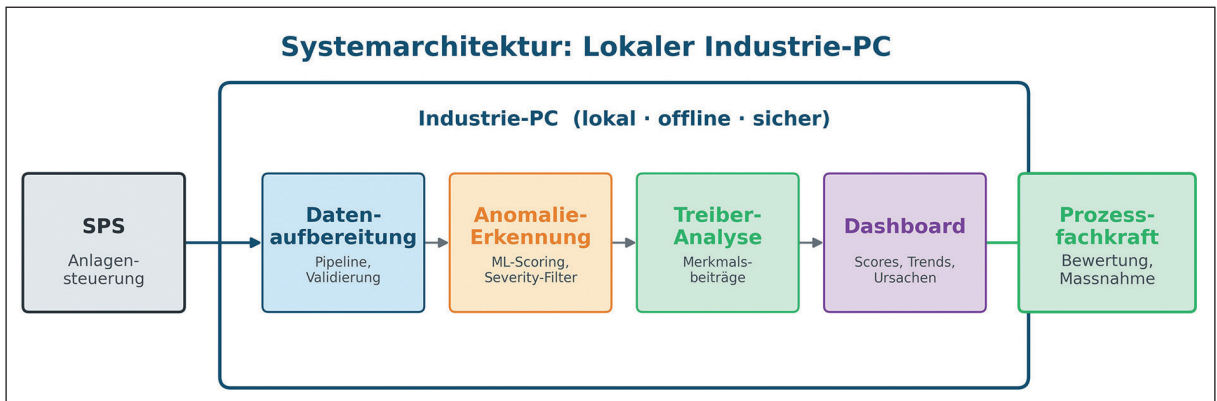
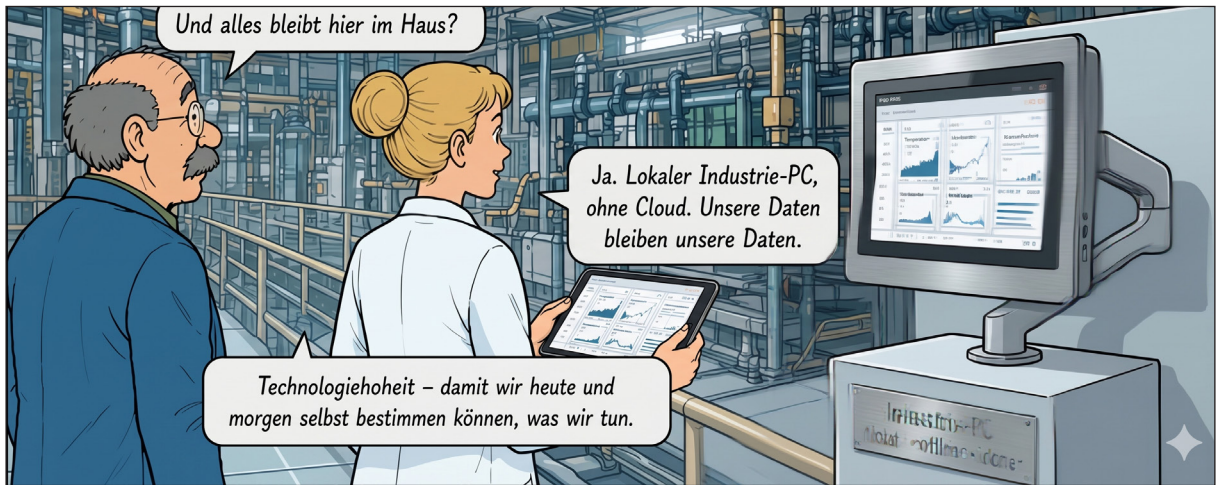


Abb. 5: Sensordaten fließen lokal von der Steuerung zur Prozessfachkraft – ohne Cloud



verlangt genau das – menschliche Kontrolle und Eingriffsfähigkeit.“

Eder: „Und wer hat das programmiert?“

Lea: „Ein Physiker, der als Oberflächentechnikmeister angefangen hat – mit fünfzehn hat er Entmetallisierungen ausgeschaufelt und Filter gewechselt, bevor er studiert hat. Der versteht die Prozesse und die Mathematik. Er hat die Software so gebaut, dass sie zu unseren Daten passt – nicht andersrum.“

Es war still geworden. Durch die Scheibe sah man die Anlage laufen.

Eder: „Weißt du, was mich am meisten beeindruckt? Dass die Galvanikerin in dir immer noch lauter ist als die Informatikerin.“ Eder stand auf und ging zur Tür. An der Schwelle drehte er sich um. „Lea – in der Sparspüle nach dem Nickel fehlt der Schaum, in sechs Stunden hast du eine porige Schicht.“

Lea lächelte. In ihren Daten war nichts aufgefallen – die Netzmitteldosierung des Nickelbades läuft händisch, ohne Anbindung an die Steuerung. Kein Sensor, kein Score. Dass die Chemie nicht stimmte, hatte Eder beim Rundgang am fehlenden Schaum erkannt; ihm genügt der Blick auf die Badoberfläche.

!Hier zeigt sich: Die Technologie wirkt als Verstärker der menschlichen Fähigkeiten. Instinkt, kritisches Denkvermögen und Erfahrung bilden die notwendige Basis für ihren wertschöpfenden Einsatz. Der Schutzengel tippt auf

die Schulter – das letzte Wort am Beckenrand hat die qualifizierte Fachkraft.

Hinweis: Die abgebildeten Daten sind synthetisch erzeugt, die Verfahren schematisch vereinfacht dargestellt – so, dass sie von Galvanik-Fachkräften ohne Vorkenntnisse in Datenanalyse nachvollzogen werden können. Das System wird derzeit im prototypischen Betrieb mit einem Pilotkunden validiert und nach dem TÜV Austria Trusted AI Standard geprüft. Die begleitende Comic-Sequenz wurde mit Chat GPT erzeugt.

www.secure-galvano-ai.com



DER AUTOR

Stefan Maier

Umweltphysiker, Oberflächentechnikmeister und KI-Entwickler, Alberschwende – 23 Jahre Praxiserfahrung an Galvanikanlagen. Karrierebeginn als Galvaniseur und Oberflächentechnikmeister,

danach Studium der Umweltphysik. Entwickelt KI-Software für Anomalieerkennung, Predictive Maintenance und Prozessoptimierung für die Galvanotechnik. Seine Lösungen sind nach dem Trusted AI Standard des TÜV Austria aufgebaut und entsprechen den Anforderungen von EU AI Act, ISO 42001 und IEEE 7000.

LITERATUR

[1] ISO 8000-8:2015: Data quality – Part 8: Information and data quality: Concepts and measuring.

[2] ZVO: Geschäftsbericht 2024.

[3] Verordnung (EU) 2024/1689 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juni 2024 zur Festlegung harmonisierter Vorschriften für künstliche Intelligenz (AI Act).