

Alternative Ansätze zur Betriebsbewährtheit

Lösungswege auf Basis der novellierten NE 130

#Funktionale Sicherheit #Betriebsbewährtheit #SIL

PLT-Sicherheitseinrichtungen führen Anlagen im Anforderungsfall in einen sicheren Zustand. In ihnen eingesetzte Geräte müssen gem. IEC 61511 betriebsbewährt sein. Oftmals ist der Nachweis der Betriebsbewährtheit auf Grund einer großen Anzahl heterogener Datenquellen nur schwer möglich. Basierend auf der novellierten NE 130 wurde ein Lösungsansatz für diese Problematik entwickelt. Dieser beinhaltet ein Informationsmodell zur prospektiven Strukturierung von PLT-Daten sowie ein Konzept zur Analyse von bestehender PLT-Dokumentation.

PCT safety devices transfer systems into a safe state when required. The involved devices must be well-trying and tested in accordance with IEC 61511. It is often difficult to prove operational reliability due to a large number of heterogeneous data sources. Based on the revised NE 130, a solution to this problem has been developed. This includes an information model for the prospective structuring of PCT data and a concept for analyzing existing PCT documentation.

Nicolas Bennerscheid,
TH Köln;
Tobias Kleinert,
RWTH Aachen

► PEER-REVIEW:
29.06.2025

1. Forschung zur Betriebsbewährtheit

In der Prozessindustrie überführen Prozessleittechnische Sicherheitseinrichtungen (PLT-Sicherheitseinrichtungen) Produktionsanlagen mittels Automatisierungstechnik im Anforderungsfall in einen sicheren Zustand. Für alle in einer solchen Einrichtung eingesetzten PLT-Feldgeräte muss der Betreiber gemäß IEC 61511 [1] und VDI/VDE 2180 [2] einen Nachweis der Betriebsbewährtheit erbringen. Als eine Möglichkeit des Nachweises wird das Verfahren der NAMUR-Empfehlung (NE) 130 [3] benannt. Diese Möglichkeit zum Nachweis der Betriebsbewährtheit war ursprünglich als Übergangslösung nur für PLT-Feldgeräte gedacht, die nicht nach IEC 61508 [4] entwickelt wurden und somit formal keinen PFD-Wert zugewiesen bekommen haben. Inzwischen ist der Nachweis der Betriebsbewährtheit auch für nach IEC 61508 entwickelte Geräte vorgeschrieben, um deren Zuverlässigkeit und Sicherheit auch unter realen Einsatzbedingungen nachzuweisen. Damit wird sichergestellt, dass das Gerät nicht nur theoretisch, sondern auch praktisch die geforderten Sicherheitsanforderungen erfüllt (vgl. 2.1).

Der aktuelle Bericht der Kommission für Anlagensicherheit (KAS) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) zur „Auswertung der Erfahrungsberichte über Prüfungen der Sachverständigen im Sinne von § 29a BImSchG und Veranstaltungen zum Meinungs- und Erfahrungsaustausch im Jahr 2022“ [5] belegt eine hohe Mängelquote in der Kategorie „Chemieanlagen“. Insbesondere bei der Auslegung, Dokumentation und Einstufung nach VDI/VDE 2180 von PLT-Sicherheitseinrichtungen treten Mängel auf (vgl. 2.1.1). Vor dem Hintergrund des verpflichten-

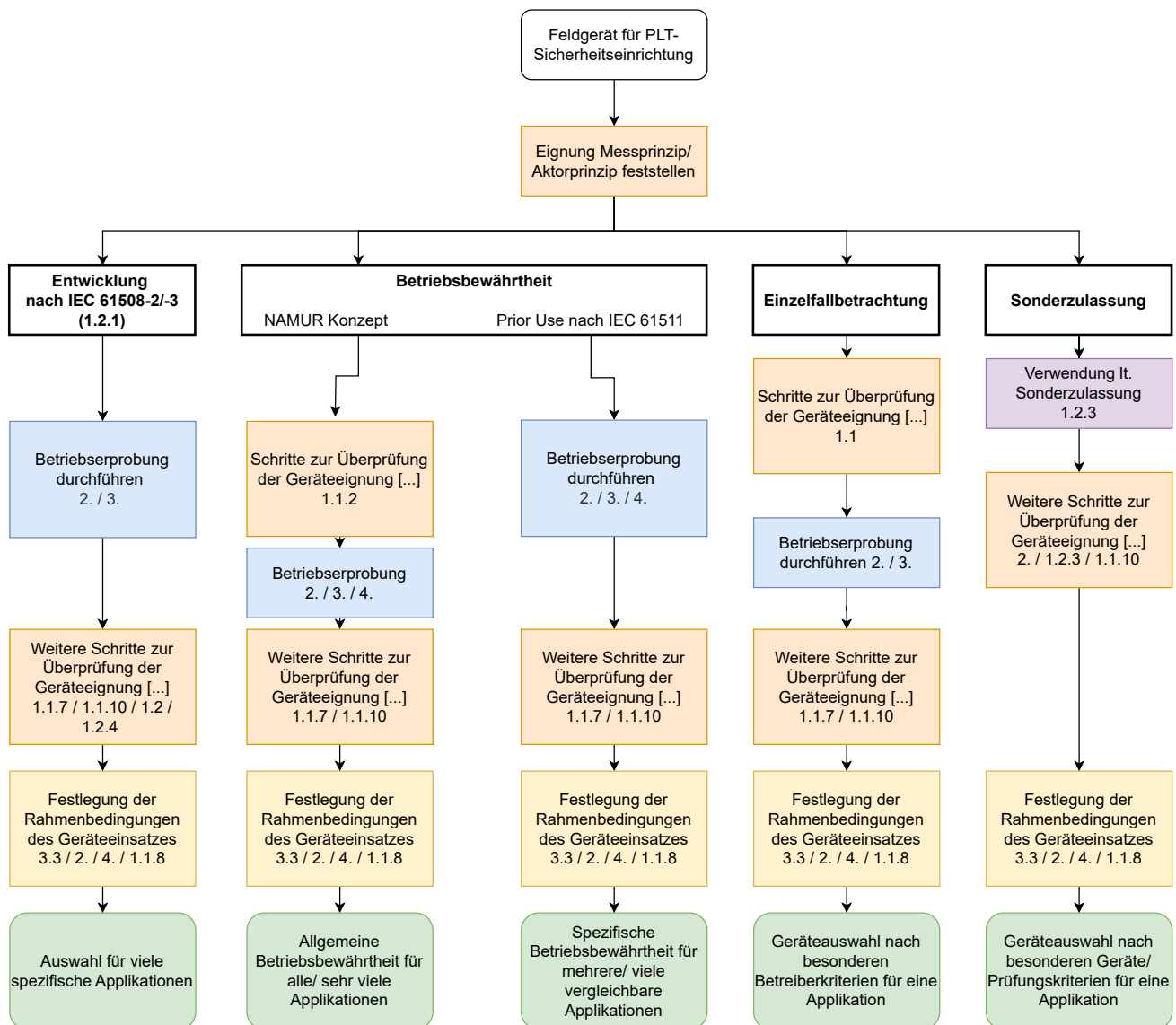


Abbildung 1: Nachweisverfahren zur Betriebsbewährtheit nach NE 130.

den Nachweises der Betriebsbewährtheit für alle in PLT-Sicherheitseinrichtungen eingesetzten Feldgeräte lässt sich damit auf eine hohe Mängelquote hinsichtlich eben dieses Nachweises schließen.

Mittels einer qualitativen Studie [6] wurde untersucht, ob sich die im KAS-Bericht dokumentierte hohe Mängelquote auch in der Praxis beim Nachweis der Betriebsbewährtheit wieder spiegelt. Da die Prozessindustrie auf Grund der Komplexität und Lebensdauer ihrer Anlagen ein großes ungenutztes Potenzial für Digitalisierungsmaß-

nahmen birgt [7], wurde weitergehend betrachtet, ob mit Datenanalysemethoden diese Situation verbessert werden kann. Neben der selbst durchgeführten qualitativen Studie, wurden durch Diskussionen mit Expert*innen des Arbeitskreises 4.5 „Funktionale Sicherheit“ der NAMUR, der Fachgruppe Funktionale Sicherheit der Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. (Dechema), des Fachbereichs 74 „Umwelttechnik und Anlagensicherheit für Chemie und Mineralölraffination“ des Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV), der DEKRA als zuge-

lassene Überwachungsstelle gemäß Gesetz über überwachungsbedürftige Anlagen (ÜAnlG) und Anlagenbetreibern die Anforderungen an Lösungswege definiert.

Auf Basis dieser Praxisanforderungen wurden ein prospektives Informationsmodell (vgl. 4) als Leitfaden zur Strukturierung von Gerätedaten und ein retrospektiver Ansatz (vgl. 5) zur Auswertung heterogener Brownfield-Daten entwickelt. Beide Lösungswege wurden mit der aktuellen NE 130 harmonisiert. Basierend auf dem retrospektiven Ansatz, wurde mittels Glue-Code

in einer prototypischen Umsetzung die Funktionalität des Lösungsweges erfolgreich validiert. Als Datengrundlage wurden PLT-Daten eines Erdölcrackers verwendet.

2. Nachweis der Betriebsbewährtheit

2.1 Stand der Technik

Betreiber von Prozessanlagen müssen im Rahmen ihrer Betreiberpflichten Maßnahmen zum Schutz vor Immissionen gefährlicher Stoffe für die Umwelt (Immissionsschutz) und für beschäftigte Personen (Arbeitsschutz) ergreifen.

Das Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes Immissionsschutzgesetz – BImSchG) und das Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG) definieren die gesetzlichen Anforderungen an Anlagen hinsichtlich des Umweltschutzes. Die Anforderungen des BImSchG hinsichtlich Prozessanlagen werden in der zwölften Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz (12. BImSch, auch Störfall-Verordnung (StöV) genannt) konkretisiert. § 4 Nr. 4 der StöV fordert, „die Anlage mit ausreichend zuverlässigen Messeinrichtungen und Steuer- oder Regelungseinrichtungen auszustatten, die, soweit dies sicherheitstechnisch geboten ist, jeweils mehrfach vorhanden, verschiedenartig und voneinander unabhängig sind“. PLT-Sicherheitseinrichtungen oder SIFs (Safety Instrumented Functions nach IEC 61511) erfüllen diesen Zweck. Auch die Vollzugshilfe zur StöV fordert zuverlässige PLT-Feldgeräte und stellt sowohl einen Bezug zur VDI/VDE 2180 sowie zum Arbeitsschutz her. Hier regeln Gesetze, wie das Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) und die Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV), die

Verantwortung der Betreiber für sichere Arbeitsbedingungen.

Prozessanlagen, die explosionsgefährdete Bereiche oder Druckbehälter umfassen, unterliegen besonderen Prüfpflichten durch zugelassene Überwachungsstellen nach ÜAnIG. Die technischen Regeln zur Betriebssicherheit (TRBS) konkretisieren die Anforderungen der Gesetze und Verordnungen. TRBS 1115 [8] erwähnt explizit die Betriebsbewährtheit von PLT-Feldgeräten als Voraussetzung für sicherheitsrelevante Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen, benennt jedoch kein Nachweisverfahren. Ein Nachweis der Betriebsbewährtheit ist demnach gesetzlich für alle Geräte in PLT-Sicherheitseinrichtungen erforderlich. Eine Entwicklung nach IEC 61508 ersetzt diesen Nachweis nicht.

In den Normen zur Funktionalen Sicherheit in der Prozessindustrie, der IEC 61511, sowie der VDI/VDE 2180, wird explizit das Nachweisverfahren nach NE 130 benannt. Die NE 130 gilt auf Grund der technischen Komplexität der Systeme nicht für speicherprogrammierbare oder verdrahtungsprogrammierbare Steuerungen (SPS/VPS) sowie für die zugehörigen Eingangs- und Ausgangsmodule (E-/A-Module). Im Jahr 2023 wurde sie novelliert und um den Pfad der Einzelfallbetrachtung sowie der Sonderzulassung ergänzt (vgl. Abbildung 2 1). In der qualitativen Studie (vgl. 2.2.2) fiel auf, dass oftmals nur die Betriebserprobung, jedoch nicht der gesamte Prozess zur Betriebsbewährtheit bekannt ist. Zusätzlich zu Anforderungen der sogenannten „Betriebs-erprobung“, die 10.000 Stunden in zehn verschiedenen Anwendungen zur allgemeinen Betriebsbewährtheit oder 100.000 Stunden in einer spezifischen Applikation zur applikativen Betriebsbewährtheit umfassen, beinhaltet das

Verfahren noch weitere Schritte (vgl. Abbildung 1). Die einzelnen Schritte sind der NE 130 der NAMUR sowie in der Dissertation von Prof. Dr.-Ing. Nicolas Bennerscheid zu finden. Sie werden in Abbildung 1 schematisch dargestellt, wobei die Schritte zur Überprüfung der Geräteeignung sowie Festlegung der Rahmenbedingungen des Geräteeinsatzes zusammengefasst wurden.

Alle Pfade des Schemas in Abbildung 1 setzen die Auswahl geeigneter Aktoren bzw. Sensoren voraus. Grundsätzlich gilt nachgewiesene Betriebsbewährtheit nur für einen Gerätetyp bzw. eine Baureihe. Die Abgrenzung einzelner Baureihen eines Typs erfolgt mittels der Hardware- und Software-Version nach NE 53 [9]. Die Betriebsbewährtheit ist kein Dauerzustand, sondern durch den Betreiber zyklisch oder ereignisbezogen zu überprüfen. Kernpunkt der NE 130 ist die Betriebsbewährtheit aus Sicht der NAMUR (vgl. Abbildung 1). Ist eine Typprüfung nach NE 95 nicht vorhanden, so kann der Weg der „Prior Use“ gemäß IEC 61511 gewählt werden. Eine Sonderzulassung, z. B. in Form einer Baumusterprüfbescheinigung, ist ein weiterer Weg zum Nachweis der Betriebsbewährtheit. Eine weitere Möglichkeit zur Betriebsbewährtheit betrifft Geräte, die nach IEC 61508 entwickelt wurden. Liegen weder Sonderzulassung, Typprüfung nach NE 95 oder eine Entwicklung nach IEC 61508 vor und gibt es außerdem nicht ausreichend Geräte eines Typs, um eine Betriebsbewährtheit nach Prior Use zu erwirken, bleibt dem Betreiber nur der Weg einer Einzelfallbetrachtung. Hierbei wird eine applikative Betriebsbewährtheit nur unter exakt vergleichbaren Einsatzbedingungen nachgewiesen. Eine Übertragung der Ergebnisse auf ähnliche Einsatzbedingungen ist nicht ohne weiteres zulässig. Nach einigen Schritten zur Überprüfung der grundsätzlichen Geräteeignung, wird die

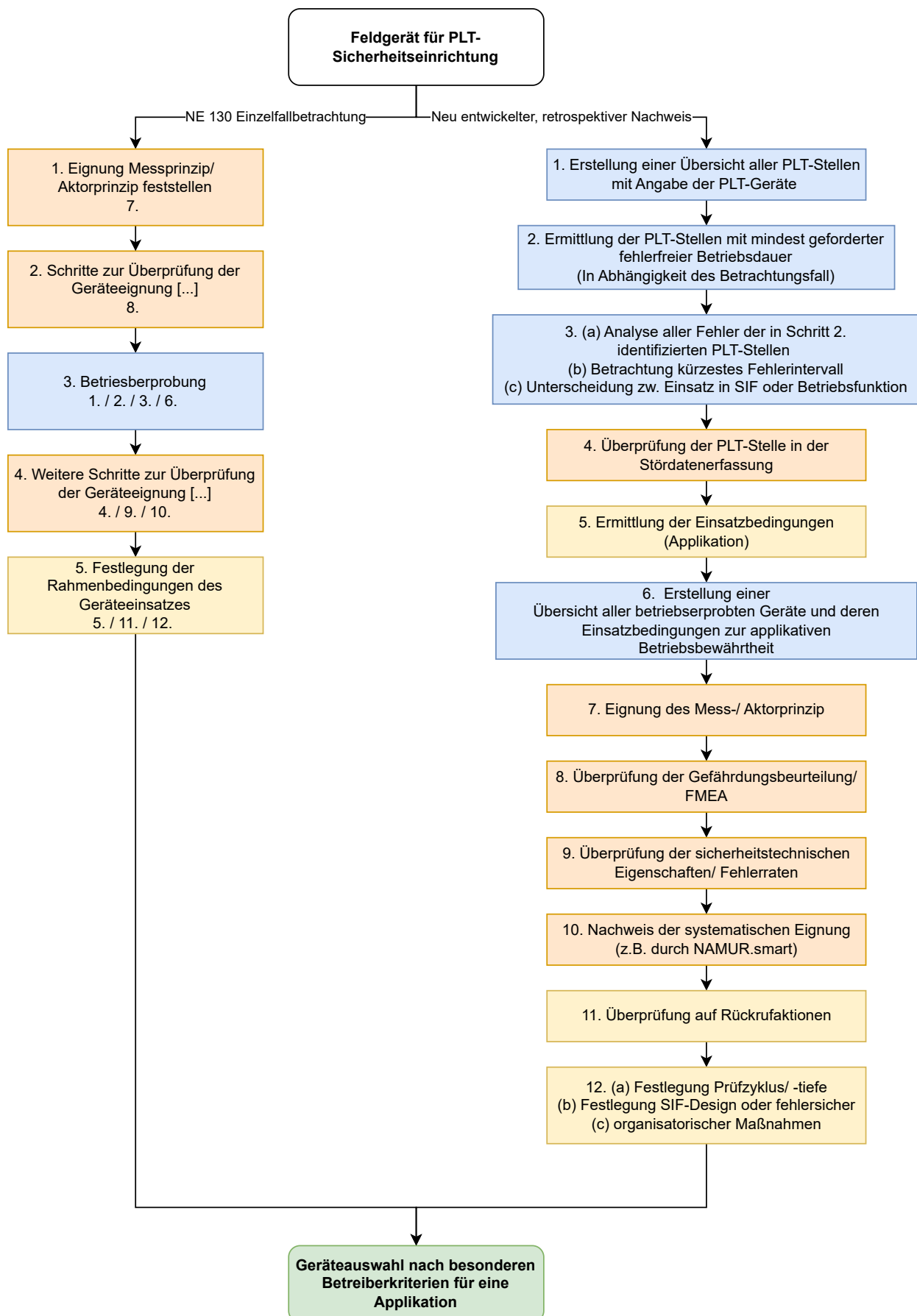


Abbildung 2: Inhalt und Struktur des prospektiven Informationsmodells.

Betriebserprobung durchgeführt bzw. die Betriebsdaten werden ausgewertet. Es folgen weitere Schritte zur Überprüfung der Geräteeignung. Außerdem wie in allen Pfaden die Festlegung der Rahmenbedingungen des Geräteeinsatzes.

2.2 Aktuelle Situation in der Prozessindustrie

2.2.1 Ergebnisse KAS-Bericht 64 und NAMUR-Studie

Die Kommission für Anlagensicherheit (BMUV) bemängelt in ihrem Bericht „Auswertung der Erfahrungsberichte über Prüfungen der Sachverständigen im Sinne von § 29a BImSchG“ (2019–2021), auch „KAS-Bericht 64“ genannt, insbesondere die Einstufung und Ausführung von PLT-Einrichtungen sowie die Gefährdungsbeurteilungen. Laut Leitfaden KAS-36 [11] gelten Mängel, die einen unsicheren Zustand der Anlage verursachen oder verursachen können, als bedeutsam. Besonders betroffen ist der Bereich der „Chemieanlagen“, in der die allgemeine Mängelquote 43,8 % vorliegt. Dabei wurden von 2.783 bedeutsamen Mängeln 136 auf Lücken in der Dokumentation von PLT-Einrichtungen zurückgeführt, während in 28 Fällen keine Einstufung nach VDI/VDE 2180 vorlag. Zudem fehlten in 99 Fällen systematische Gefahrenanalysen, und 117 Mängel waren auf fehlende Schutzkonzepte zurückzuführen. Insgesamt hängen mehr als 12 % der Mängel direkt oder indirekt mit der unzureichenden Anlagendokumentation zusammen. Darüber hinaus wurde im Jahr 2016 durch die NAMUR eine Durchfallquote von über 20 % bei der Typprüfung gemäß NE 95 [10] ermittelt [12]. Bis zur Novellierung der NE 130 im Jahr 2023 und der Einführung von Sonderzulassung sowie Einzelfallbetrachtung (vgl. Abbildung 1) war die Typprüfung Grundvoraussetzung für den Nachweis der Betriebsbewährtheit. Auf Basis der

beiden Berichte lässt sich von einem Defizit im Bereich des Nachweises der Betriebsbewährtheit ausgehen. Dessen Folge könnte ein frühzeitiger Austausch von Geräten verbunden mit hohen Kosten und Ermangelung an Nachhaltigkeit, ein verspäteter Austausch verbunden mit einem Sicherheitsrisiko oder ein Verstoß gegen die Betreiberpflichten sein.

2.2.2 Eigene Studie zur Betriebsbewährtheit

In einer qualitativen Studie wurde mittels Interviews mit Anwender*innen aus der Prozessindustrie untersucht, ob sich die Ergebnisse des KAS-Berichtes sowie der NAMUR-Studie zur Typprüfung auf den Nachweis der Betriebsbewährtheit übertragen lassen. Die Studienergebnisse bestätigen die Resultate des KAS-Berichts 64 hinsichtlich der Dokumentation von PLT-Feldgerätedaten in PLT-Sicherheitseinrichtungen. Die von den Expert*innen angesprochenen Herausforderungen im Bereich der Betriebsbewährtheit lassen sich in sechs Bereiche unterteilen. Zunächst werden die Themen „Verantwortlichkeit“ und „unklare Prozesse“ als organisatorische Herausforderungen identifiziert. Die Zuständigkeiten für den Nachweis der Betriebsbewährtheit sind in der Unternehmensstruktur nicht eindeutig festgelegt. Der Nachweis wird teils von der Fachabteilung für Prozessleittechnik und Funktionale Sicherheit, teils von den Betriebsingenieuren aufgrund der unterschiedlichen Delegation der Betreiberverantwortung erbracht. Außerdem ist der Prozess der Betriebsbewährtheit einigen Befragten nicht klar. Manche befragte Personen orientieren sich an der NE 130 andere nutzen eine Standardgeräteliste oder persönliche Bewertungen basierend auf Erfahrungen im PLT-Fachausschuss. Eine weitere Gruppe hat kein Fachwissen zum Thema Betriebsbewährtheit. Zu den weiteren Problemen

zählen der hohe Aufwand des manuellen Nachweises der Betriebsbewährtheit, Schwierigkeiten beim Zugriff auf alle erforderlichen PLT-Feldgerätedaten und die oft fehlende Abgrenzung der Gerätetypen (z. B. Unterschiede in Software- und Hardware-Versionen sowie beim Prozessanschluss), wie sie in der NE 53 gefordert werden. Die Daten zu den Geräten sind in unterschiedlichen Datenbanken gespeichert. Verwendet werden spezifische PLT-Verwaltungssysteme wie „Planets“ oder „PEC“ (AGU), Engineering-Systeme wie COMOS (Siemens) oder Engineering-Base (AUCTOTEC) sowie Flatfile-Datenbanken wie Excel (Microsoft). Auch bei der Speicherung von Ereignisdaten, die für die Betriebserprobung notwendig sind, kommen verschiedene Datenbanken zum Einsatz. Die Bandbreite reicht von der NAMUR-smart-Datenbank über gesetzlich vorgeschriebene Störstatistiken und ERP-Systeme wie SAP bis hin zu PLT-Verwaltungssystemen wie „PEC“ oder Vespland (Planets).

Die zentralen Ergebnisse der Studie zeigen unklare Prozesse, hohen manuellen Aufwand, Probleme beim Datenzugriff aufgrund der Vielzahl an Datenbanken und Unsicherheiten bei der Abgrenzung von Gerätetypen. Probleme wie die fehlende Einstufung von PLT-Einrichtungen nach geltendem Regelwerk sowie unzureichende Ausführungen von PLT-Einrichtungen, die im KAS-Bericht bemängelt wurden, treten auch in der Studie auf und lassen sich auf den Nachweis der Betriebsbewährtheit übertragen. Unklare Verantwortlichkeiten und Arbeitsanweisungen können die Umsetzung des Nachweises der Betriebsbewährtheit beeinträchtigen und möglicherweise die Ausführung von PLT-Einrichtungen beeinflussen. Die VDI/VDE 2180 fordert explizit die Betriebsbewährtheit für PLT-Sicherheitseinrichtungen. Fehlt dieser Nach-

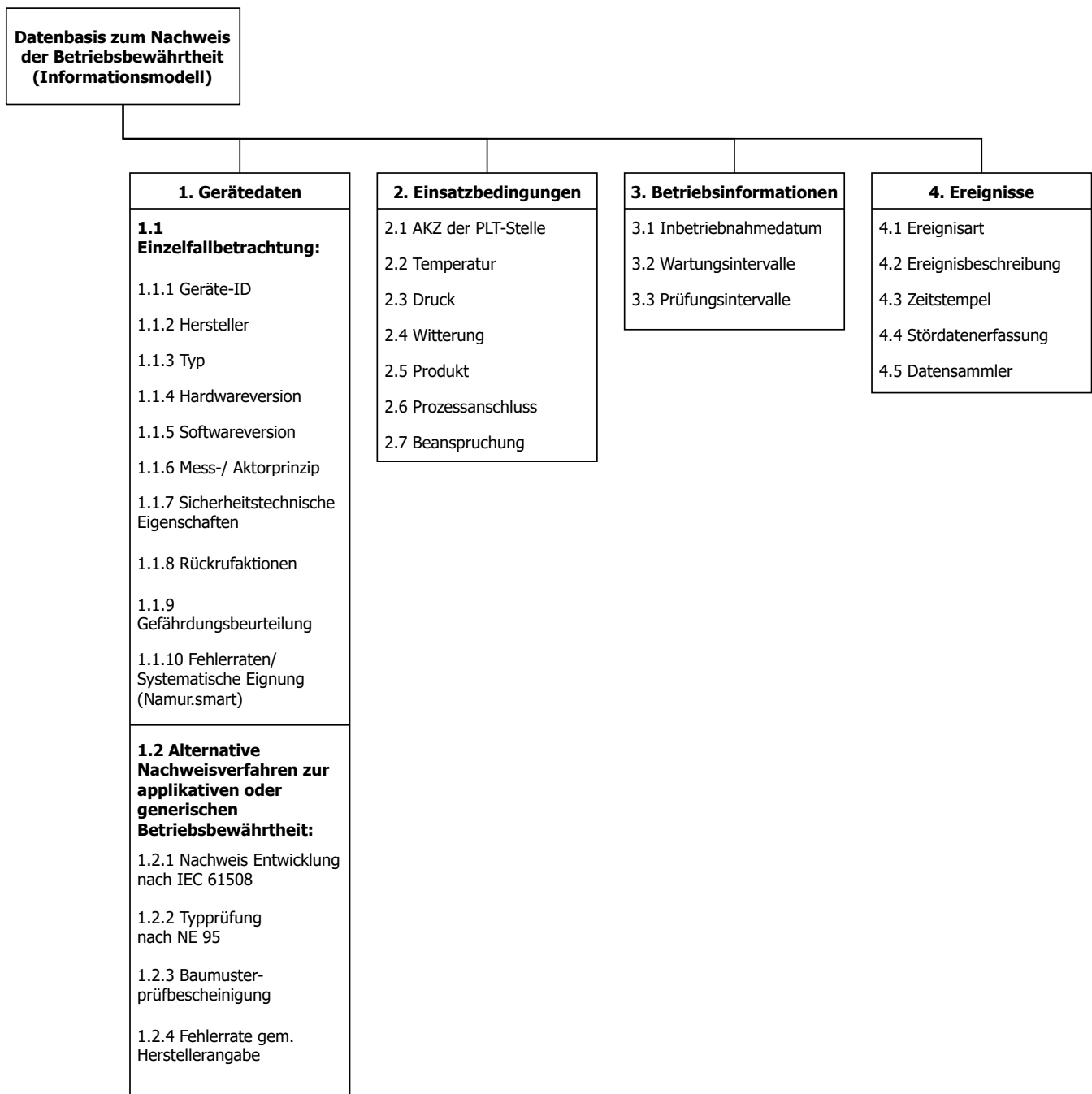


Abbildung 3: Retrospektiver Lösungsweg mit Bezug zur schematischen Darstellung der Einzelfallbetrachtung nach NE 130.

weis, etwa durch eine nicht erfolgte Einstufung als PLT-Sicherheitseinrichtung, hat das die gleichen negativen Auswirkungen wie das Fehlen einer systematischen Gefahrenanalyse und des Anlagenschutzkonzepts. Aufgrund der unterschiedlichen Datenquellen ist es nur mit hohem Aufwand möglich, systemanalytische Betrachtungen zum Nachweis der Betriebsbewährtheit

durchzuführen. Es besteht folglich der Bedarf zweier Lösungswege. Auf der einen Seite bedarf es einer Lösung, um die aktuell heterogenen Datenbanken zu analysieren, auf der anderen Seite einer Lösung, um die Daten zukünftig prospektiv entlang der Gerätelebenszyklen zu erfassen und zu strukturieren, um jederzeit die Betriebsbewährtheit der Feldgeräte zu bewerten.

3. Anforderung der Branche

Nachdem die selbst durchgeführte qualitative Studie den Transfer der Ergebnisse des KAS-Berichtes 64 auf den Nachweis der Betriebsbewährtheit belegen konnte, wurden die detaillierten Anforderungen an die Lösungswege der Expert*innen des Arbeitskreis 4.5 „Funktionale Sicherheit“ der NAMUR, der Fachgruppe

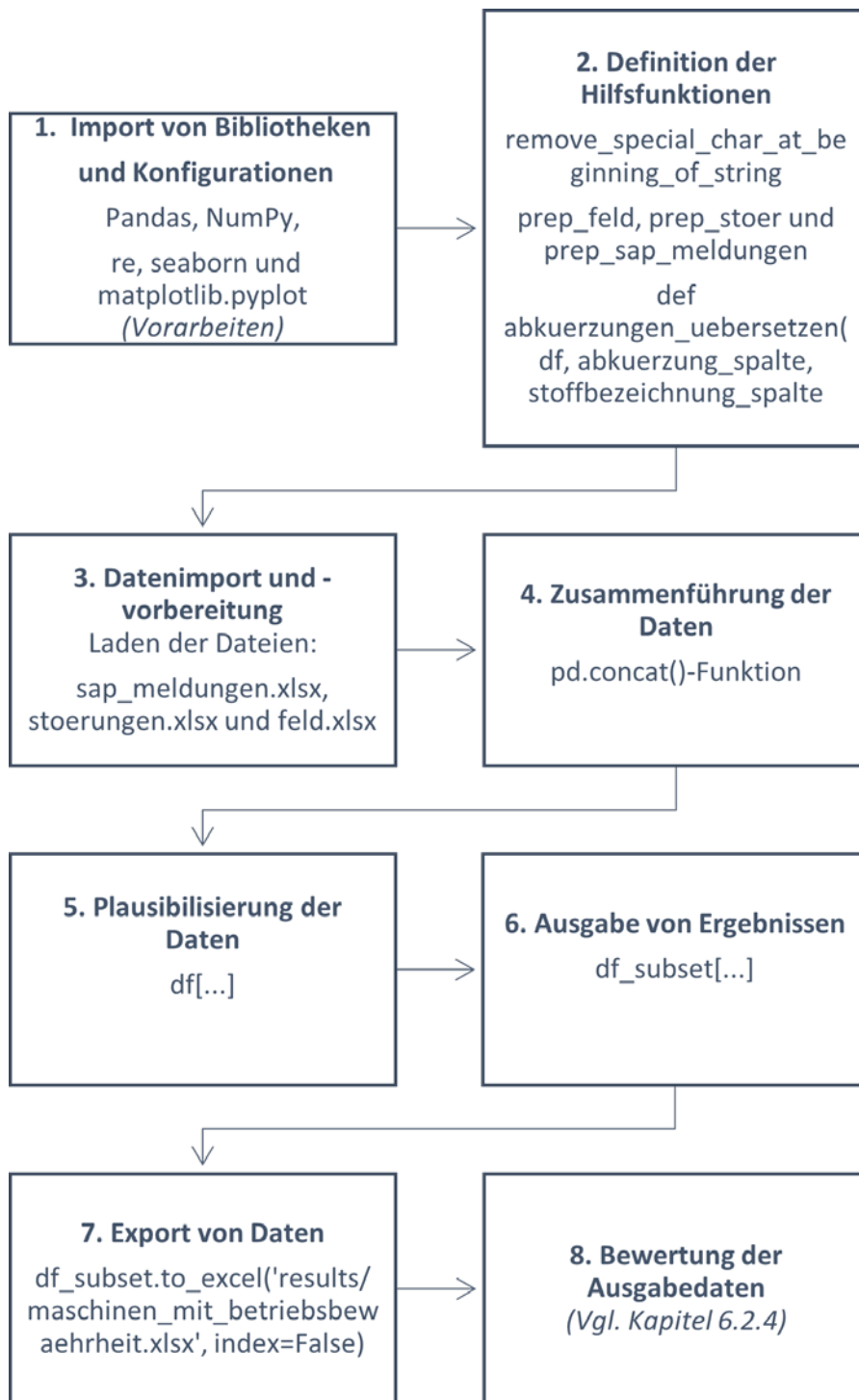


Abbildung 4: Aufbau des Prototyps.

Funktionale Sicherheit der Dechema, des Fachbereichs 74 „Umwelttechnik und Anlagensicherheit für Chemie und Mineralölraffination“ des LANUV, der DEKRA als zugelassene Überwachungsstelle gemäß Gesetz über ÜAnIG, sowie diverser Anlagenbetreiber ermittelt.

Die nachfolgenden Anforderungen dienen als Grundlage der Entwicklung eines prospektiven Lösungsansatzes, als Grundlage der zukünftigen Strukturierung von PLT-Gerätedaten, z. B. in einer Verwaltungsschale. Darüber hinaus wurden auch Kriterien für einen retrospektiven Lösungsansatz gesam-

melt, um Analysen bereits bestehender heterogener PLT-Dokumentation, wie sie im KAS-Bericht bemängelt wurde, durchführen zu können. Es handelt sich um die Kurzfassung der Kriterien. Die ausführliche Darstellung der Kriterien findet sich in [5].

- **Einhaltung gesetzlicher und normativer Vorgaben:** Das Modell muss sicherstellen, dass alle Geräte, die in PLT-Sicherheitseinrichtungen eingesetzt werden, einen Nachweis der Betriebsbewährtheit erbringen. Es soll die Anforderungen der NE 130 und der IEC 61511 erfüllen und den zukünftigen Anforderungen der Digitalisierung gerecht werden.
- **Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse:** Die Ergebnisse des Nachweises der Betriebsbewährtheit müssen für Sachverständige und Zulassungsbehörden nachvollziehbar sein. Dies betrifft insbesondere die Prüfung von Geräten bei der Inbetriebnahme und bei Änderungen sowie die regelmäßige Arbeit von Prüfbehörden.
- **Unabhängigkeit von gängigen Qualitätsnachweisen:** Da nicht zu allen Geräten standardisierte Qualitätsnachweise nach IEC 61508 oder Typprüfungen vorliegen, muss der Ansatz auch für Geräte ohne diese Nachweise die Betriebsbewährtheit bewerten lassen.
- **Eindeutige Identifikation des Gerätes:** Jedes Gerät muss eindeutig identifiziert werden können, insbesondere durch die Seriennummer und die genaue Angabe der PLT-Stelle, an der es eingesetzt wird.
- **Erfassung von Geräteinformationen:** Das Modell muss eine Vielzahl an spezifischen Gerätedaten erfassen, z. B. Hardware- und Software-Versionen nach NE 53, Einsatzbedingungen, und sicherheitstechnische Eigenschaften, um eine konsistente Bewertung der Betriebsbewährtheit zu ermöglichen.

- **Erfassung der Betriebsbedingungen:** Für die Betriebserprobung müssen die Bedingungen wie Temperatur, Druck, Medium und andere relevante Einsatzdaten zum Zeitpunkt der ersten Beanspruchung des Gerätes im Prozess erfasst werden.
- **Erfassung von Ereignisdaten:** Das Modell muss Ereignisse wie Wartungsmaßnahmen, Ausfälle und Prüfungen dokumentieren. Diese Daten müssen kategorisiert und in eine Stördatenbank integriert werden können.
- **Einordnung in etablierte Standards:** Der Ansatz sollte auf Branchenstandards basieren, um eine breite Akzeptanz und Implementierung zu fördern, z. B. Internet of Production und Verwaltungsschale.
- **Datenqualität:** Das Modell muss den Anforderungen der ISO 8000 [13] für Datenqualität entsprechen, insbesondere in Bezug auf Eignung, Zuverlässigkeit, Aktualität und Richtigkeit der Daten. Im retrospektiven Lösungsweg muss es heterogene Daten analysieren können.

4. Prospektives Informationsmodell

Auf Basis der Anforderungen aus der Branche wurde ein prospektives Informationsmodell entwickelt. Das Informationsmodell gliedert sich in verschiedene Kategorien, deren Struktur und Inhalte in Abbildung 4 dargestellt sind. Die Nummerierung stellt den Bezug zu den in Abbildung 1 gezeigten Prozessschritten der NE 130 her und belegt somit die Harmonisierung des Lösungsweges mit der Norm. Das prospektive Modell ist flexibel gestaltet und umfasst sowohl die für die applikative Betriebsbewährtheit relevanten Datenquellen als auch die Datenquellen zur Erlangung einer generischen Betriebsbewährtheit. Bei einer Änderung des Ablaufs der NE 130 kann die Zuordnung der Inhalte an die neue Reihenfolge der Prozessschritte angepasst werden,

ohne dass das Grundkonzept des Modells verändert werden muss.

Das Informationsmodell nach Abbildung 2 ist in die Kategorien Gerätedaten, Einsatzbedingungen, Betriebsinformationen und Ereignisse unterteilt. Diese vier Kategorien beinhalten folgenden Informationen:

1. Gerätedaten:

Diese Kategorie umfasst grundlegende Informationen über das Feldgerät.

1.1. Einzelfallbetrachtung

1.1.1. Geräte-ID: Identifikationsnummer des PLT-Feldgerätes

1.1.2. Hersteller: Hersteller des PLT-Feldgerätes

1.1.3 Typ: Modell- oder Typenbezeichnung des PLT-Feldgerätes

1.1.4. Hardware-Version: Nummer der Hardware-Version gem. NE 53 [31]

1.1.5. Software-Version: Nummer der Software-Version gem. NE 53 [31]

1.1.6. Mess-/Aktorprinzip: Physikalisches Wirkprinzip des Sensors oder Aktors

1.1.7. Sicherheitstechnische Eigenschaften: Sicherheitstechnische Eigenschaften des Gerätes

1.1.8. Rückrufaktion: Rückrufaktionen des Herstellers

1.1.9. Gefährdungsbeurteilung: Vorliegen einer FMEA

1.2. Alternatives Nachweisverfahren zur applikativen oder generischen Betriebsbewährtheit (Daten, die für die Betriebsbewährtheit der Fälle Entwicklung nach IEC 61508, „Prior Use“

nach IEC 61511 oder „Sonderzulassung“ benötigt werden)

1.2.1. Nachweis der Geräteentwicklung nach IEC 61508

1.2.2. Typprüfung nach NE 95

1.2.3. Baumusterprüfbescheinigung: Herstellererklärung der Einhaltung der EU-Anforderungen

1.2.4. Fehlerrate gem. Herstellerangabe

2. Einsatzbedingungen

Hier werden Informationen zu den Einsatzbedingungen und zur Beanspruchung des Gerätes erfasst.

2.1. AKZ der PLT-Stelle: Anlagenstrukturkennzeichen

2.2. Temperatur: Betriebstemperaturbereich des Gerätes

2.3. Druck: Betriebsdruckbereich des Gerätes

2.4. Witterung: Witterungsbedingungen z. B. Informationen über die Umgebungseinflüsse, wie Feuchtigkeit, UV-Strahlung usw.

2.5. Produkt: Chemische Zusammensetzung der Substanzen, mit denen das Gerät in Kontakt kommt

2.6. Prozessanschluss: Art des Anschlusses eines Gerätes an der Prozessanlage

2.7. Beanspruchung: Art und Häufigkeit der Beanspruchung z. B. vollkontinuierlicher Betrieb vs. seltene Batch-Chargen, aber auch Vibration, Kavitation oder Druckstöße

3. Betriebsinformationen

Hier werden Daten zum Betrieb und zur Wartung des Gerätes erfasst.

3.1. Inbetriebnahmedatum: Datum, an dem das Gerät installiert wurde

3.2. Wartungsintervalle: Zeitintervalle und -punkte, in denen Wartungsarbeiten durchgeführt werden sollen

3.3. Prüfungsintervalle: Zeitintervalle und -punkte, in denen das Gerät auf seine Funktionsfähigkeit überprüft werden soll

4. Ereignisse

Hier werden alle Ereignisse und Störungen erfasst, die während des Betriebs auftreten. Darüber hinaus werden auch die Ergebnisse aus den Prüfungen dokumentiert.

4.1. Ereignisart: Unterscheidung nach Wartung, Inspektion (Prüfung) und Instandsetzung

4.2. Ereignisbeschreibung: Details eines Ereignisses

4.3. Zeitstempel: Datum und Uhrzeit eines Ereignisses

4.4. Stördatenerfassung: Einträge gefährlicher Fehler der SIFs

4.5. Datensammler: Freier Datencontainer

5. Retrospektive Datenanalyse

Um auf Basis bestehender PLT-Dokumentation einen Nachweis der Betriebsbewährtheit erstellen zu können, auch wenn gängige Qualitätsnachweise fehlen, wurde der Weg der Einzelfallbetrachtung der NE 130 genutzt.

In Abbildung 3 werden auf der rechten Seite die Prozessschritte dargestellt. Darüber hinaus wird farblich die Harmonisierung zur NE 130 belegt. Wie in Abbildung 1 sind auch hier die einzelnen Schritte der NE 130 zusammengefasst.

1. Erstellung einer Übersicht aller PLT-Stellen mit Angabe des Herstellers und Typs der eingesetzten PLT-Feldgeräte: Zu Beginn wird eine vollständige Übersicht aller eingesetzten PLT-Feldgeräte erstellt. Dabei werden Hersteller und Gerätetyp ermittelt. Die genaue Erfassung der Hardware- und Software-Versionen ist hilfreich, aber nicht zwingend notwendig. Geräte werden in Gruppen zusammengefasst, wobei bei Abweichungen innerhalb einer Gruppe eine genauere Untersuchung der Geräteeigenschaften erfolgt.

2. Ermittlung der PLT-Stellen mit mindestens geforderter fehlerfreier Betriebsdauer: Die zu bewertenden Geräte müssen eine fehlerfreie Betriebsdauer von mindestens 100.000 Stunden erreicht haben, um als betriebsbewährt zu gelten. Geräte mit einer Betriebsdauer von über 100.000 Stunden können ohne zusätzliche Prüfungen als applikativ betriebsbewährt erklärt werden. Geräte zwischen 25.000 und 100.000 Stunden erfordern detailliertere Prüfungen.

3. Analyse aller Fehler der identifizierten PLT-Stellen: Alle Fehler der identifizierten Geräte werden analysiert. Dabei wird das kürzeste Fehlerintervall betrachtet und zwischen Geräten in Sicherheitsfunktionen (SIF) und solchen in Betriebsfunktionen unterschieden. Besonders die Geräte, die als PLT-Sicherheits-einrichtung dienen, werden kritischer bewertet und genauer untersucht.

4. Überprüfung der PLT-Stelle in der Stördatenerfassung: Es wird überprüft, ob Geräte in Störfällen involviert waren, insbesondere in Bezug auf gesetzliche Anforderungen und Sicherheitsnormen. Störfalldaten werden sekundär überprüft, da solche Ereignisse bereits durch Betreiber und Behörden untersucht wurden. Der Fokus liegt darauf, ob Geräte aus

Störfällen in anderen PLT-Stellen weiterhin verwendet werden.

5. Ermittlung der Einsatzbedingungen (Applikation): Für qualifizierte Geräte werden die Einsatzbedingungen ermittelt, insbesondere das verwendete Medium. In einigen Fällen werden auch zusätzliche Parameter wie Witterungsbedingungen berücksichtigt. Die Entscheidung, ob diese zusätzlichen Bedingungen aufgenommen werden, liegt beim Betreiber.

6. Erstellung einer Übersicht aller betriebserprobten Geräte und ihrer Einsatzbedingungen: Zum Abschluss wird eine Übersicht aller qualifizierten Geräte mit ihren Einsatzbedingungen erstellt. Hierbei wird das letzte Fehlerereignis erfasst und eine finale Bewertung durch den Betreiber vorgenommen. Weitere relevante Daten werden aus Standardgerätelisten oder PLT-Planungsunterlagen extrahiert und manuell bestätigt.

7. Eignung des Mess-/Aktor-Prinzips: Die Eignung des Mess- und Aktorprinzips wird überprüft, um sicherzustellen, dass die Geräte korrekt für den vorgesehenen Einsatz ausgewählt wurden. Bei Altgeräten wird geprüft, ob sich die Anforderungen im Betrieb geändert haben und ob das Gerät noch geeignet ist.

8. Überprüfung der Gefährdungsbeurteilung: Es wird geprüft, ob eine FMEA (Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse) vorliegt, was in den meisten Fällen nur für spezielle Anforderungen erforderlich ist.

9. Überprüfung der sicherheitstechnischen Eigenschaften: Die sicherheitstechnischen Eigenschaften des Geräts müssen gemäß den Anforderungen der NE 130 überprüft werden. Dazu gehören unter anderem die Vollständigkeit von Herstellererklärungen, das Vorliegen eines Sicherheitshandbuchs und die Identifikation von möglichen funktionshemmenden Fehlern.

10. Nachweis der systematischen

Eignung: Der Nachweis der systematischen Eignung erfolgt durch den Abgleich der Gerätedaten mit der NAMUR.smart-Datenbank, um zu überprüfen, ob es in anderen Betrieben bereits Störungen mit dem eingesetzten Gerät gab. Dieser Punkt wird vom Betreiber manuell bestätigt.

11. Überprüfung auf Rückrufaktionen:

Der Betreiber prüft, ob Rückrufaktionen für das Gerät vorliegen. Falls Unsicherheiten bestehen, sollte der Hersteller kontaktiert werden, um einen schriftlichen Nachweis zu erhalten, dass keine Rückrufaktionen bestehen.

12. Festlegung Prüfzyklus/-tiefe, SIF-Design oder fehlersicher, organisatorische Maßnahmen:

Basierend auf den Ergebnissen wird der Prüfzyklus festgelegt, das SIF-Design überprüft und organisatorische Maßnahmen definiert.

Wenn alle Schritte erfolgreich abgeschlossen sind, kann der applikative Nachweis der Betriebsbewährtheit ausgesprochen werden.

Der Prozess des Nachweises der Betriebsbewährtheit erfordert eine regelmäßige Überprüfung der Geräte und ihrer Einsatzbedingungen. Der Nachweis wird durch Datenanalyse und die Bestätigung bestimmter sicherheitstechnischer Anforderungen sowie der Überprüfung von Fehlern, Einsatzbedingungen und der Eignung des Mess-/Aktorprinzips erlangt. Der Nachweis muss regelmäßig aktualisiert werden, da er keinen dauerhaften Status besitzt.

6. Prototypische Umsetzung

Im Rahmen der retrospektiven Validierung der Betriebserprobung von PLT-Feldgeräten wurde ein Prototyp entwickelt, der die ersten sechs Schritte des retrospektiven Ansatzes

zur Betriebserprobung umsetzt (vgl. Abbildung 3). Ziel dieser Entwicklung war es, durch die Auswertung realer PLT-Daten eines Erdöl-Crackers den Nachweis der Betriebsbewährtheit basierend auf strukturierten Datenanalysen zu erbringen. Der entwickelte Prototyp stellt somit eine praxisorientierte Lösung zur Überprüfung des retrospektiven Ansatzes dar und dient als methodische Grundlage für die retrospektive Analyse der Betriebserprobung von PLT-Feldgeräten.

Die Implementierung des Prototyps erfolgte in der Programmiersprache Python unter Verwendung der Softwareumgebung JupyterLab, einer Open-Source-Plattform, die für datenintensive Anwendungen eine benutzerfreundliche Schnittstelle bietet. Python wurde aufgrund seiner Vielseitigkeit, Plattformunabhängigkeit und seiner umfangreichen Standardbibliotheken gewählt, die eine effiziente Handhabung von Daten ermöglichen. Die Wahl von Python stellt sicher, dass die Implementierung sowohl von Fachleuten mit begrenzten Programmierkenntnissen als auch von spezialisierten Ingenieuren nachvollziehbar und anpassbar bleibt.

Abbildung 4 zeigt den Ablauf und die zugehörigen Programmierbefehle des Prototyps zur retrospektiven Betriebserprobung von PLT-Feldgeräten. Sie veranschaulicht den gesamten Prozess der Datenaufbereitung und -analyse, der die verschiedenen Schritte vom Import heterogener Datenquellen über deren Bereinigung und Vereinheitlichung bis hin zur Datenkonsolidierung und Plausibilitätsprüfung umfasst. Die Abbildung stellt die wichtigsten Programmierschritte dar, die notwendig sind, um die Daten in eine geeignete Form zu bringen, damit sie anschließend für die retrospektive Analyse der Betriebsbewährtheit genutzt werden können.

Der erste Schritt der prototypischen Umsetzung bestand im Import und der Aufbereitung heterogener PLT-Daten aus verschiedenen Quellen. Diese Daten, die aus den Bereichen SAP-Meldungen, Störungsprotokollen und Feldaufzeichnungen stammten, wurden aus Excel-Dateien extrahiert und durch die Python-Bibliothek „Pandas“ in das System geladen. Die Aufbereitung der Daten beinhaltete die Bereinigung von Inkonsistenzen und die Vereinheitlichung von Formaten, insbesondere im Hinblick auf Datumsangaben, die in unterschiedlichen Formaten vorlagen, sowie die Entfernung von Sonderzeichen und die Vereinheitlichung von PLT-Stellenbezeichnungen.

Die Datenaufbereitung hatte das Ziel, die Daten so zu transformieren, dass sie für die anschließende Analyse geeignet sind. Hierzu wurden unter anderem die folgenden Schritte durchgeführt:

- Standardisierung von Datumsformaten
- Angleichung von Benennungen, um inkonsistente Schreibweisen (z. B. „T 100“ vs. „T100“) zu vereinheitlichen
- Umbenennung von Spalten und Vereinheitlichung von Bezeichnungen für eine klarere Struktur
- Entfernen von doppelten PLT-Stellen, wobei die neueste Version basierend auf dem Einbaudatum ausgewählt wurde

Diese Schritte sind entscheidend, um die Datenqualität zu sichern und sicherzustellen, dass nur konsistente und korrekte Informationen in die Analyse einfließen.

Der genaue Ablauf der Datenaufbereitung und die zugehörigen Programmierbefehle sind in Abbildung 4 detailliert dargestellt. Die Abbildung zeigt den gesamten Prozess der Datenvorbereitung, von der Ladefunktion bis hin zur

Bereinigung der Daten und der Vereinheitlichung von PLT-Stellenbezeichnungen.

Nach der Aufbereitung wurden die Daten aus den verschiedenen Quellen zusammengeführt. Dies geschah durch die Verwendung der „pd.concat()“-Funktion von Pandas, welche die Datenrahmen aus den einzelnen Excel-Dateien zu einem größeren Datensatz kombiniert. Nach der Zusammenführung wurden die Daten nach dem Datum der letzten Meldung sortiert, um eine chronologische Reihenfolge sicherzustellen und die Datenanalyse zu optimieren. Die Konsolidierung der Daten ermöglichte eine umfassende Sicht auf die relevanten PLT-Daten, einschließlich Fehlerarten, Betriebsstunden und anderer betriebsrelevanter Kennzahlen. Diese konsolidierten Datensätze bilden die Grundlage für die nachfolgende Analyse der Betriebserprobung und sind erforderlich, um den retrospektiven Nachweis der Betriebsbewährtheit zu erbringen.

Im nächsten Schritt wurden die konsolidierten Daten einer Plausibilitätsprüfung unterzogen. Diese Validierung diente dazu, sicherzustellen, dass alle erforderlichen Felder korrekt ausgefüllt und die Daten frei von Inkonsistenzen sind. Besondere Aufmerksamkeit galt dabei der Überprüfung der Betriebsstunden ohne Fehler, da dies eine zentrale Kennzahl für die Beurteilung der Betriebserprobung darstellt. Die Plausibilisierung umfasste mehrere Teilschritte, darunter:

- Identifikation fehlender oder unvollständiger Daten
- Überprüfung der Übereinstimmung von Geräten mit den festgelegten Normen und Standards
- Validierung der Fehlermeldungen und Betriebsstunden
- Analyse der Häufigkeit von Feh-

lern und der Häufigkeit von Wartungsintervallen

Fehlende Daten wurden markiert, um gegebenenfalls gezielte Nachfragen bei den Betreibern zu ermöglichen. In Fällen, in denen Inkonsistenzen oder unvollständige Datensätze festgestellt wurden, wurden diese durch manuelle Ergänzungen oder durch die Konsultation externer Datenquellen ergänzt, um die Datenqualität zu gewährleisten.

Nach der Plausibilisierung wurden die konsolidierten und validierten Daten einer detaillierten Analyse unterzogen. Ziel war es, die Betriebsbewährtheit der PLT-Feldgeräte auf der Grundlage der vorhandenen Daten zu beurteilen. Ein zentrales Kriterium dieser Analyse war die Berechnung der Betriebsstunden ohne Fehler. Geräte, die mehr als 100.000 fehlerfreie Betriebsstunden erreicht hatten, wurden als betriebsbewährt angesehen. Darüber hinaus wurden folgende Analysen durchgeführt:

- Berechnung der Betriebsstunden und Fehlerhäufigkeit
- Identifikation von Geräten mit wiederkehrenden Fehlern oder ungewöhnlich hohen Ausfallraten
- Analyse der Zeitspanne bis zum ersten Fehler und der Häufigkeit von Wartungsintervallen

Die Analyse umfasste außerdem statistische Berechnungen, die dazu dienten, die Qualität der Daten zu bewerten und zu bestimmen, ob die Geräte die erforderlichen Betriebsbedingungen erfüllen. Ergänzend dazu wurden Diagramme und Visualisierungen erstellt, um die Ergebnisse der Analyse anschaulich darzustellen. Dazu gehören unter anderem Histogramme, die die Verteilung der Wartungsintervalle zeigen sowie Boxplots, die die Verteilung der Betriebsstunden ohne Fehler veranschaulichen.

Die Ergebnisse der Datenanalyse wurden in einer strukturierten Excel-Tabelle exportiert, die folgende Informationen enthält:

- AKZ/PLT-Stelle: Eindeutige Identifikation der PLT-Stelle
- Hersteller und Gerätetyp: Bezeichnung des Herstellers und des Gerätetyps (sofern verfügbar)
- Produkt/Medium: Das Produkt oder Medium, für das das Gerät eingesetzt wird
- Einbaudatum: Datum der Inbetriebnahme des Geräts
- Kategorie: Klassifizierung des Geräts (z. B. Messstelle, Signal, Stellstelle)
- Wartungsmeldung und Maßnahme: Zuordnungen der Wartungs- und Fehlerbehebungsmaßnahmen
- Betriebsintervall ohne Fehler: Anzahl der Betriebsstunden ohne Fehler
- Überprüfung des Grenzwerts: Überprüfung, ob 100.000 fehlerfreie Betriebsstunden erreicht wurden, gemäß den Vorgaben der IEC 61511

Die Evaluierung der Umsetzung des Prototyps hinsichtlich der Erfüllung der Anforderungen der NE 130 und weiterer Anforderungen an das Konzept zeigt sowohl Stärken als auch Herausforderungen auf. Die Einhaltung der gesetzlichen und normativen Vorgaben wird weitgehend erfüllt, jedoch gibt es Einschränkungen bei der normgerechten Identifikation des Geräts, da Seriennummern und Hardware- oder Software-Versionen nicht in den Daten enthalten sind. In Bezug auf die Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse erfüllt der Prototyp alle Anforderungen, da die Darstellung der Ergebnisse benutzerfreundlich und nachvollziehbar ist, während der Quellcode für Behörden und ZÜS überprüfbar bleibt. Der Prototyp ist unabhängig von der Entwicklung nach IEC 61508 und der Typprüfung nach NE 95, was die Flexibilität der Anwen-

ung unterstreicht. Bei der eindeutigen Identifikation des Geräts gibt es jedoch Defizite, da diese Information nur unvollständig vorliegt. Die Erfassung der Betriebsbedingungen ist teilweise unzureichend, insbesondere fehlen Angaben zu wichtigen Parametern wie Betriebsdruck und Witterungsbedingungen, die bei Bedarf manuell ergänzt werden müssten. Bei der Erfassung von Ereignisdaten erfüllt der Prototyp die Anforderungen durch die Nutzung von ERP-Systemen und Stördatenerfassungen. In Bezug auf die Einordnung in etablierte Standards ist der Ansatz gut integriert, da er auf bestehenden Software-Umgebungen basiert und die Prinzipien der funktionalen Sicherheit berücksichtigt. Schließlich wird die Anforderung an die Datenqualität erfüllt, da der Prototyp eine umfassende Datenvorverarbeitung nutzt, um eine möglichst vollständige und konsistente Datenbasis zu gewährleisten. Insgesamt zeigt der Prototyp eine gute Erfüllung der meisten Anforderungen, weist jedoch bei der Geräteidentifikation und der Erfassung vollständiger Betriebsbedingungen noch Verbesserungspotential auf.

7. Zusammenfassung

Ziel dieser Forschungsarbeit war die Nutzung vorhandener Datenquellen, um gesetzliche und normative Anforderungen zu erfüllen und Anwender*innen bei ihren Entscheidungen hinsichtlich des Nachweises der Betriebsbewährtheit zu unterstützen. Es wurden zwei Ansätze entwickelt: Ein retrospektiver

Ansatz zur Analyse bestehender Daten und ein prospektiver Ansatz, der ein Informationsmodell zur strukturierten Dokumentation bietet. Grundlage war der KAS-Bericht 64, der Defizite in der Dokumentation von PLT-Sicherheitseinrichtungen aufzeigt. Eine qualitative Studie bestätigte diese Mängel und identifizierte geeignete Datenquellen zur Anwendung der NE 130.

Der retrospektive Ansatz zeigte, dass eine Mindestqualität der Daten erforderlich ist, um gesetzliche Vorgaben zu erfüllen, und erlaubt die Analyse großer Datenmengen. Der prospektive Ansatz liefert Handlungsempfehlungen zur Verbesserung der Dokumentation z. B. mittels einer Verwaltungsschale. Insgesamt wurde die Anwendbarkeit von Datenanalysemethoden im Kontext der Betriebsbewährtheit erfolgreich nachgewiesen.

Referenzen

- [1] International Electrotechnical Commission. (2016). IEC 61511 - Functional safety - Safety instrumented systems for the process industry sector, Standard.
- [2] Verein der Ingenieure e.V. / Verband der Elektrotechnik e.V. (2019). VDI/VDE 2180 - Funktionale Sicherheit in der Prozessindustrie, Standard.
- [3] NAMUR. (2023). NE 130 - Auswahl von Feldgeräten für PLT-Sicherheitseinrichtungen unter Berücksichtigung von Betriebsbewährung, Standard.
- [4] International Electrotechnical Commission. (2011). IEC 61508 - Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme, Standard.
- [5] Kommission für Anlagensicherheit des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. (2022). KAS 64 - Bericht des Ausschusses Erfahrungsberichte - Auswertung der Erfahrungsberichte über Prüfungen der Sachverständigen im Sinne von § 29a BImSchG und Veranstaltungen zum Mei-

nungs- und Erfahrungsaustausch im Jahr 2022.

- [6] Bennerscheid, N. (2025). Retrospektiver Ansatz zur Betriebserprobung von PLT-Feldgeräten: Entwicklung und Implementierung eines Prototyps, Dissertation, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen.
- [7] Verband der chemischen Industrie e.V (VCI). (2016). Thesen zur Industrie 4.0 in der chemisch-pharmazeutischen Industrie, Frankfurt am Main.
- [8] Bundesrepublik Deutschland. (2021). TRBS 1115 - Sicherheitsrelevante Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen.
- [9] NAMUR. (2021). NE 53 - Software- und Hardware-Kennzeichnung von Feldgeräten und signalverarbeitenden Geräten, Standard.
- [10] NAMUR. (2013). NE 95 - Grundlagen der Typprüfung, Standard.
- [11] NAMUR. (2016). NE 93 - Nachweis der sicherheitstechnischen Zuverlässigkeit von PLT-Sicherheitseinrichtungen durch Betriebserfahrung, Standard.
- [12] Kommission für Anlagensicherheit (KAS) des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. (2024). KAS 36 - Leitfaden: Jährliche Erfahrungsberichte der Sachverständigen nach § 29b Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG).
- [13] Mühlkamp, S., Back, M. (2015). Namur-Typprüfung – aktuell wie nie in Bericht von der Namur-Hauptsitzung (2. Tag). Abgerufen von: <https://www.process.vogel.de/namur-typpruefung-aktuell-wie-nie-a-510833/>
- [14] International Standards Organization. (2022). ISO 8000 - Data quality, Standard.

Nicolas Bennerscheid ist seit Mai 2025 Professor für Prozessleittechnik an der Technischen Hochschule Köln und leitet dort das PLT-Labor. Dieses ist insbesondere für seine enge Verzahnung mit der industriellen Praxis sowie die Durchführung anwendungsnahe Forschungs- und Entwicklungsprojekte bekannt. Die inhaltlichen Schwerpunkte liegen u. a. in den Bereichen Advanced Physical Layer (APL), Module Type Package (MTP), Funktionale Sicherheit und Explosionsschutz. Parallel zu seiner Hochschultätigkeit ist Bennerscheid Mitglied der Geschäftsführung der TUEG Schillings GmbH. Im Rahmen seiner Promotion am IAT der RWTH Aachen forschte er zum Nachweis der Betriebsbewährtheit von PLT-Feldgeräten auf Basis alternativer Datenquellen.

Prof. Dr.-Ing. Nicolas Bennerscheid

Technische Hochschule Köln
Campus Deutz
Betzdorfer Straße 2
50679 Köln
+49 221-8275-2146
nicolas.bennerscheid1@th-koeln.de

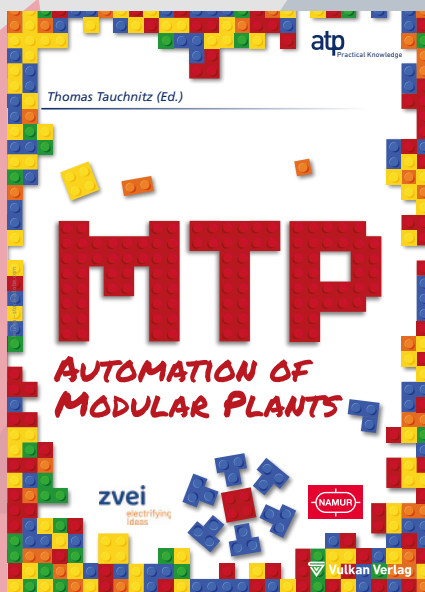
Tobias Kleinert ist seit 2020 Leiter des Lehrstuhls für Informations- und Automatisierungssysteme der RWTH. Schwerpunkte in Forschung und Lehre sind das industrielle Datenmanagement sowie flexible industrielle Automatisierung, mit Anwendungen u.a. in den Bereichen Metallrecycling oder Thermoprozesstechnik. Tobias Kleinert ist u.a. in Gremien der Plattform Industrie 4.0, GMA, DKE und IEC tätig.

Prof. Dr.-Ing. Tobias Kleinert

Lehrstuhl für Informations- und Automatisierungssysteme
für die Prozess- und Werkstofftechnik
Turmstr. 46
52064 Aachen
+49 241 80 97737
kleinert@iat.rwth-aachen.de

Automation of MODULAR PLANTS

**BOOK
SUGGESTION**



Your added value:

- gives information to understand and use the MTP-based concept for modular automation
- contains illustrations and tables
- suitable for Process Engineers, Automation Engineers

Editor.: Thomas Tauchnitz
Data: 1. Edition 2022 | Scope: 312
Broschur: ISBN: 978-3-8356-7467-7 | Item number: 74677
eBook: ISBN: 978-3-8356-7468-4 | Item number.: 74684
Price: 79,00 €

Order here:
www.vulkan-shop.de

 **Vulkan Verlag**