

# Herausforderungen und Lösungen für die durchgehende Digitalisierung des Testprozesses

Dr.-Ing. Stefan Unterschütz, Dipl.-Ing. (FH) Thomas Rönpage

IT-Lösungen für Tests  
Werum Software & Systems AG  
Anna-Vogelei-Straße 20  
21337 Lüneburg  
stefan.unterschuetz@werum.de  
thomas.roenpage@werum.de

**Abstract:** In der Produktentwicklung werden zunehmend nicht nur die Ergebnisse aus Validierungs- und produktbegleitenden Tests herangezogen, sondern auch Daten, die während des Betriebs erfasst werden. Die Speicherung dieser Daten erfolgt verteilt auf unterschiedlichsten Medien und Systemen sowie auf cloudbasierten Lösungen. Um diese Daten effektiv nutzen, auswerten und miteinander in Beziehung setzen zu können, verwenden Entwickler und Datenanalysten verschiedenste Systeme – von Eigenentwicklungen über spezifische Lösungen bis hin zu KI-basierten Systemen. Für ganzheitliche Betrachtungen müssen die Testdaten mit weiteren Informationen aus MES (Manufacturing Execution System), PLM (Product Lifecycle Management) und den Daten aus dem Anforderungsmanagement verknüpft werden. In diesem Artikel werden Konzepte für den Aufbau moderner, skalierbarer und anpassbarer Lösungen für einen datengetriebenen Testprozess vorgestellt, die eine umfassende Digitalisierung des Versuchs- und Messdatenmanagements im Prüffeld und bei Feldversuchen ermöglichen.

## 1 Einleitung

Ziel der Digitalisierung ist es, Daten und Prozesse in eine digitale Form zu überführen, um Daten effektiver zu nutzen, den Automatisierungsgrad zu erhöhen, Geschäftsprozesse effizienter zu gestalten, neue Geschäftsmodelle zu entwickeln und die Entscheidungsfindung zu unterstützen. Während die Digitalisierung bereits seit vielen Jahren in unzähligen Systemen der Unternehmen Einzug gehalten hat, liegt der Fokus aktuell auf einer durchgängigen Digitalisierung von Systemen und Prozessen, um nachhaltige Konzepte aufzubauen und agil und resilient auf sich ständig ändernde Rahmenbedingungen reagieren zu können.

Ein aktuelles Beispiel aus dem Bereich der Produktentwicklung ist der digitale Zwilling, der das virtuelle Abbild eines physischen Objekts darstellt. Im Idealfall umfasst er alle Informationen, die während des Lebenszyklus eines Objekts anfallen, von Simulationsdaten über Fertigungsdaten bis hin zu Sensordaten aus dem realen Betrieb.

Als Anbieter von Softwarelösungen im Bereich Testprozesse und Testautomatisierung hat Werum viele Digitalisierungsprojekte seiner Kunden realisiert. Dieses Paper beschreibt die zentralen Herausforderungen dieser Projekte in den Branchen Automotive, Aerospace und Consumer Electronics und skizziert die Lösungsansätze, die zum Erfolg geführt haben. Der Fokus liegt dabei auf einer durchgängigen Digitalisierung des Testprozesses (Abbildung 1), es werden aber auch Anknüpfungspunkte für angrenzende oder unterstützende Prozesse aufgezeigt.



Abbildung 1: Wesentliche Schritte des Testprozess

## 2 Herausforderungen

Um den Testprozess vollständig zu digitalisieren, müssen eine Reihe von Herausforderungen überwunden werden, die teils allgemeiner Natur und teils spezifisch für Testprozesse sind.

Im Testprozess fließen Daten aus einer Vielzahl von Systemen zusammen, was den Prozess grundsätzlich sehr komplex macht. Beispiele sind: IIOT, MES, Ressourcenmanagement, PLM, ERP, Auftragsmanagement, Feldtests, Datenanalyse, Anforderungsmanagement sowie Excel und E-Mail. Bei einer durchgängigen Digitalisierung müssen neue Systeme und Prozesse nahtlos mit bestehenden Systemen zusammenarbeiten, obwohl Daten, Prozesse und Tools häufig heterogen sind.

Der Austausch zwischen den Systemen ist teilweise eingeschränkt, da die IT-Infrastruktur auf verschiedene Netze (Labor, Büro) oder Standorte verteilt ist und IT-Sicherheitsregeln zu beachten sind.

Eine weitere Herausforderung ist die Skalierbarkeit. Moderne Lösungen müssen mit immer größeren Datenmengen umgehen können, da sich die Variantenzahl erhöht, eine höhere Testtiefe immer mehr Messdaten erzeugt und auch immer neuere Analyseverfahren zusätzliche Daten generieren.

Bei der Einführung eines neuen Systems müssen auch existierende Altdaten berücksichtigt werden, was eine große Herausforderung darstellen kann. Diese Altdaten liegen auf verschiedenen Systemen, in verschiedenen Formaten und enthalten meist unvollständige Metainformationen.

Zusätzlich muss das Thema Cybersecurity bei der Entwicklung neuer Systeme mit hoher Priorität berücksichtigt werden. Hierbei geht es um den Schutz vor Cyberangriffen, Datenverlust und anderen Sicherheitsbedrohungen.

Auch verschiedene Compliance-Anforderungen müssen eingehalten werden. Beispiele hierfür sind Qualitätsregularien, Datenschutzgesetze und -vorschriften wie die EU-Datenschutzgrundverordnung (DSGVO), ASPICE, TISAX, ISO 27001, ISO/IEC 17025 oder auch Exportkontrollen.

Digitalisierungsprojekte betreffen viele Personen in verschiedenen Abteilungen und Positionen. Involvierte Mitarbeiter benötigen umfassendes fachspezifisches und technisches Wissen, um die Digitalisierung erfolgreich durchführen zu können. Auch müssen teilweise Befindlichkeiten zwischen Abteilungen überwunden und eine hohe Akzeptanz bei den Anwendern erreicht werden.

Der Übergang zu neuen digitalen Lösungen erfordert oft Investitionen in neue Hardware, Software und Infrastruktur. Die TCO-Betrachtung (Total Cost of Ownership) muss auch die laufenden Kosten wie beispielsweise Kosten für die bestehende Infrastruktur, Betrieb, Wartung und Weiterentwicklung berücksichtigen.

Für die skizzierten Herausforderungen werden in den folgenden Kapiteln Lösungsansätze für eine durchgängige Digitalisierung erläutert. Der Fokus liegt dabei auf der Harmonisierung, Standardisierung, der Architektur und dem Rollout.

### **3 Harmonisierung und Standardisierung**

Für eine durchgehende Digitalisierung sind die Themen Harmonisierung und Standardisierung von Datenmodellen und Prozessen unerlässlich (HAN21). Sie sind wichtige Erfolgsfaktoren für eine skalierbare, erweiterbare und wartbare Systemlandschaft. Leider stellt dieses Thema auch eine der größten Herausforderungen dar, da es in die „Hoheitsgebiete“ verschiedener Abteilungen eingreift. Deshalb muss eine gemeinsame Lösung gefunden werden. Bestimmte Abläufe sind in den Abteilungen absolut notwendig und müssen erhalten bleiben, aber übermäßiger Protektionismus sollte vermieden werden. Dazu empfiehlt sich eine Benutzerbefragung, eine Prozessanalyse und die Betrachtung der aktuellen Systeme. Die Einbeziehung wichtiger Entscheider und Key-User ist essenziell.

Ein einheitliches Datenmodell bedeutet nicht, dass alle Stellen mit exakt den gleichen Daten arbeiten müssen. Vielmehr geht es darum, sich auf einige Konstanten zu einigen. So sollten z.B. einheitliche Identifikatoren für die Prüflinge verwendet werden, was u.a. die Umsetzung des digitalen Zwillings ermöglicht.

Insbesondere für Messdaten, die abteilungsübergreifend genutzt werden sollen oder deren Verfügbarkeit über mehrere Jahre gewährleistet sein muss, ist eine Standardisierung erforderlich. Hierfür eignen sich Standardformate wie MDF4, HDF5 oder TDMS. Diese Formate werden langfristig von verschiedenen Werkzeugen unterstützt.

Bei prozessübergreifenden Systemen ist es wichtig, ein führendes System klar zu definieren. Dies ist besonders entscheidend, wenn Daten redundant in verschiedenen Systemen vorgehalten werden. So muss festgelegt werden, welches System Änderungen unter bestimmten Statusbedingungen durchführen darf. Zum Beispiel sollten nach der Übermittlung eines Testauftrags vom Testmanagementsystem an die Prüfstandsautomatisierung keine weiteren Modifikationen mehr an der Parametrisierung des Testauftrags durch das Testmanagementsystem erfolgen.

## **4 Architektur**

In gewachsenen, heterogenen Unternehmensstrukturen ist eine komplette Neuentwicklung aller Geschäftsanwendungen nahezu unmöglich. Stattdessen bietet sich eine Integrationsarchitektur an, die den Datenfluss zwischen verschiedenen Systemen und Anwendungen innerhalb eines Unternehmens ermöglicht. Hierzu werden im Folgenden wichtige Konzepte vorgestellt.

### **4.1 Infrastruktur**

Bei der Überlegung, ob der Betrieb on-premise oder in der Cloud erfolgen soll, wird in vielen Fällen ein Mischbetrieb sinnvoll sein. Auch wenn die Vorteile von cloud-basierten Lösungen durch hohe Kostenkontrolle, vielfältige und flexible Angebote überwiegen und auch den globalen Betrieb wesentlich vereinfachen, gibt es bei einigen Anwendungen gute Gründe, diese on-premise zu betreiben. So können Regularien wie die Datensicherheit, aber auch hohe Leistungsanforderungen z.B. bei der Messdatenerfassung den on-premise Einsatz erfordern.

Darüber hinaus bietet die Unterstützung von Containerisierung wie bspw. durch Docker viele Vorteile. So können Orchestrierungsplattformen wie Kubernetes zur Skalierung eingesetzt werden und die Laufzeitumgebung kann einfach aktualisiert werden. Auch das Ausrollen neuer Software über Continuous Integration/Delivery Pipelines ist damit möglich.

Um einen autarken Betrieb zu gewährleisten, muss eine lose Kopplung der Systeme realisiert werden. So kann z.B. eine Prüfstandsautomatisierung einen Testauftrag inkl. Prüfprogramm komplett laden und cachen, anstatt diesen sukzessive zur Laufzeit abzurufen. Durch Caching werden auch temporäre Netzwerkausfälle überbrückt.

Da im Testprozess verschiedene Dienste aus unterschiedlichen Netzwerksegmenten miteinander kommunizieren müssen, sind Sicherheitsaspekte von Firewalls und Netzwerkfreigaben zu berücksichtigen. Während das Testmanagement im Büronetzwerk stattfindet, das in der Regel mit dem Internet verbunden ist, erfolgt die Testdurchführung durch die Prüfstandsautomatisierung im stärker gesicherten Labornetzwerk. Die Kommunikationsrichtung sollte immer vom sicheren zum unsicheren Netzwerk verlaufen.

## 4.2 Schnittstellen und Datenaustausch

Damit verschiedenen Systeme im Testprozess ihre Daten digital austauschen können, sind leicht zugängliche, gut dokumentierte und robuste Schnittstellen erforderlich. Hierfür hat sich die Webtechnologie REST etabliert, die eine breite Unterstützung vieler Programmier- und Skriptsprachen ermöglicht und durch Einfachheit, Flexibilität und Sicherheit überzeugt.

Um einen effizienten Datenaustausch über die Schnittstellen zu ermöglichen, ist die Einführung eines standardisierten Datenmodells (Abschnitt 3) notwendig. Insbesondere Altsysteme weichen jedoch von Standards ab und können oft nicht mehr angepasst werden. Hier kann ein Konnektor helfen, um eine (teil-)automatische Verknüpfung mit anderen Systemen zu erreichen. Der Konnektor dient dabei als Vermittler und Transformator zwischen zwei Diensten, wobei die Systeme selbst entkoppelt bleiben, was ein großer Vorteil ist.

Konnektoren werden typischerweise verwendet, um z.B. verschiedene Prüfstände oder Prüfstandsautomatisierungen mit einem Testdatenmanagementsystem zu verbinden. Die Konnektoren können die Daten aus den verschiedenen Prüfständen in eine einheitliche Struktur überführen, bevor sie an das Testdatenmanagementsystem übergeben werden. Die Daten müssen nicht immer sofort übertragen werden. Im Hinblick auf den autonomen Betrieb und die Ausfallsicherheit ist es sinnvoll, die Daten lokal zu puffern und gebündelt zu übertragen.

Neben Konnektoren bietet sich auch ein Datenaustausch über Publish/Subscribe-Mechanismen bzw. Eventbusse an. Typische Vertreter im Bereich der Testprozesse sind OPC-UA, MQTT, DDS. Bei einem Bus kann sich ein Daten- oder Ereignisproduzent mit einem Topic-Namen registrieren und dann bei Bedarf Messdaten, Ereignisse oder auch Statusinformationen publizieren. Interessierte Konsumenten können dann asynchron auf diese Daten zugreifen.

Abbildung 2 zeigt beispielhaft, wie die Kommunikation in einer größeren Systemlandschaft aussehen kann.

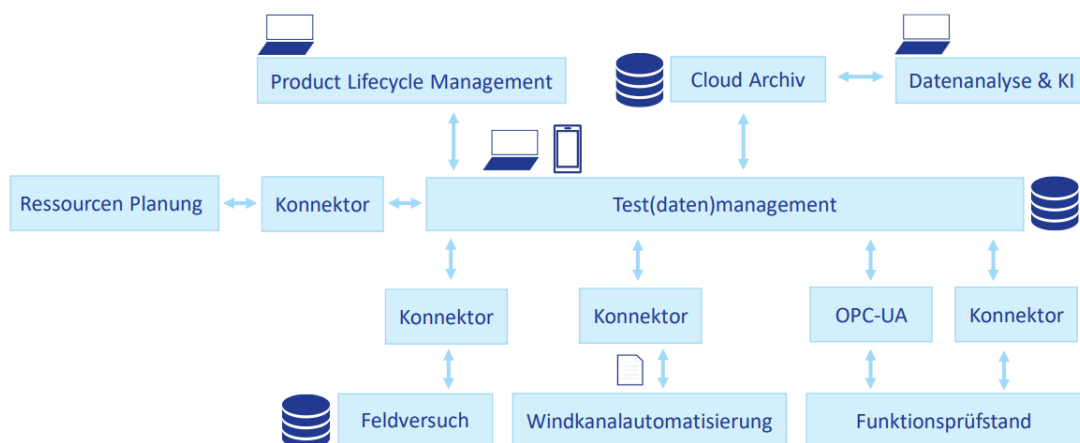


Abbildung 2: Beispielhafter Systemaufbau

### 4.3 Data-Ingestion und Data-Analytics

In den vorherigen Abschnitten lag der Fokus auf Systemen und der Kommunikation zwischen diesen. In diesem Kapitel wird beschrieben, wie solche Systeme im Sinne einer Toolchain fachlich zusammenarbeiten. Für den Testprozess sind die Themen Datenerfassung bzw. Datenimport sowie Datenspeicherung und -verarbeitung von großer Bedeutung. Hier bietet sich der Einsatz einer Data Analytics Toolchain an (BOH20), um die Daten für interdisziplinäre Auswertungen einheitlich zur Verfügung zu stellen. Ein Beispiel dafür ist in Abbildung 3 dargestellt. Die Toolchain dient als Brücke zwischen Datenproduzenten und Datenkonsumenten.

Der Import von Daten bzw. die Eingabe von Ergebnissen kann automatisch oder manuell erfolgen. Der automatische Upload kann über Übergabeverzeichnis oder Web-Schnittstellen erfolgen. Die Übertragung erfolgt kontinuierlich im Stream oder in Batches. Letzteres wird z.B. bei Versuchsfahrten verwendet, bei denen das Versuchsfahrzeug keine kontinuierliche Verbindung zum Datenspeicher hat und die Daten zunächst temporär sammelt (ZEU23).

Die Weiterverarbeitung umfasst die Bereinigung, Anreicherung und Harmonisierung der Daten sowie die Aufbereitung der Metadaten. Die Daten werden vorzugsweise in Object Stores oder Dateisystemen gespeichert, während die Metadaten in relationalen Datenbanken verwaltet werden. Die Qualität der Metadaten ist dabei entscheidend, da sie für die Suche und Auswertung verwendet werden. Die Metadaten sollten daher den Test umfassend und standardisiert beschreiben, beispielsweise durch die Angabe der genutzten Ressourcen.

Die Datenanalyse und -auswertung ist ein zentraler Bestandteil der Werkzeugkette. Durch die Integration unterschiedlicher Analysesoftware, können neben der explorativen Analyse einzelner Daten auch standardisierte Auswertungsroutinen realisiert werden. Darüber hinaus eröffnen Technologien wie Machine Learning und KI neue Anwendungsmöglichkeiten. So können durch Predictive Maintenance Anomalien in Datensätzen frühzeitig und automatisch erkannt werden.

Der Zugriff und die Verteilung der Daten erfolgt über gesicherte Weboberflächen und Webschnittstellen. Dies ermöglicht unter anderem die Einschränkung der Sichtbarkeit auf bestimmte Datensätze aber auch die Einhaltung von Compliance-Anforderungen.

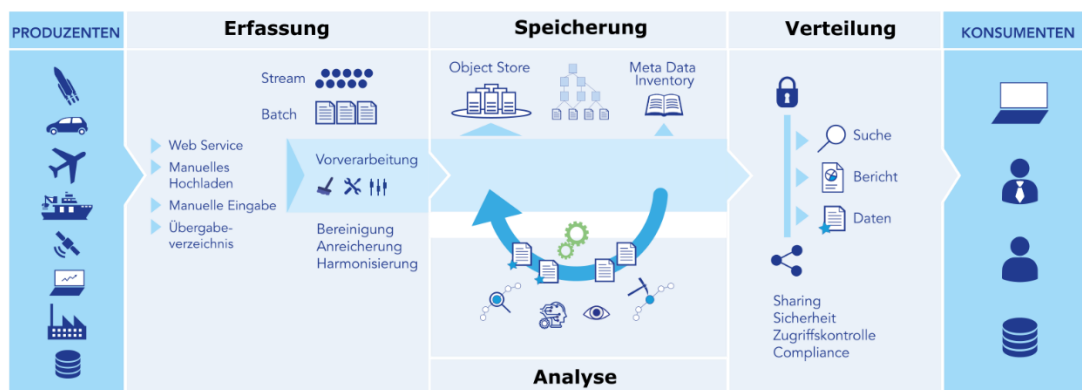


Abbildung 3: Funktionaler Aufbau der Data Analytics Toolchain

#### **4.4 Compliance - Sicherheit - Governance**

Neben den funktionalen Anforderungen an Systeme und Anwendungen sind heute weitere Anforderungen im Bereich Compliance, Security und Governance zu erfüllen. Insbesondere bei der Beschaffung neuer Software sollten die nachfolgenden Funktionen bereits integriert sein, um die Zukunftssicherheit zu gewährleisten.

Für die Authentifizierung werden in der Regel zentrale Single-Sign-On-Dienste verwendet, die über Standardprotokolle wie SAML, OAuth2 oder OpenID Connect angesprochen werden. Verschiedene Dienste können hier auf einheitliche Benutzerkonten zurückgreifen. Dies ist für den Benutzer komfortabel und reduziert den Administrationsaufwand erheblich. Für eine zentrale Konfiguration der Autorisierung, d.h. die Prüfung von Berechtigungen im Testprozess, ist ein ähnlicher Ansatz möglich. Teilweise werden jedoch sehr komplexe Berechtigungsprüfungen benötigt, sodass die Prüfung von einem konkreten Dienst übernommen werden muss.

Im Umgang mit Testdaten sind Nachvollziehbarkeit, Transparenz und Auditierbarkeit erforderlich. Dafür müssen Mechanismen integriert werden, um Änderungen an den Daten zu protokollieren. Diese Anforderungen sind insbesondere für Qualitätsstandards wie ISO 17025 relevant.

Generell muss während des gesamten Testprozesses eine gute Daten-Governance gewährleistet sein. Diese umfasst unter anderem die Sicherstellung der Richtigkeit, der Qualität und des Zugangs zu den Daten. In Bezug auf die DSGVO müssen weitere Funktionen wie Zugriffsschutz, Anonymisierung und Löschfunktionen implementiert werden.

Zusätzlich müssen Sicherheitsrichtlinien umgesetzt werden, um einen sicheren Betrieb der Software zu gewährleisten. Dazu gehören der Einsatz von Firewalls, Verschlüsselung und regelmäßige Sicherheitsüberprüfungen, um die eingesetzten Softwarebibliotheken und Systeme auf Sicherheitslücken zu überprüfen und die Integrität und Vertraulichkeit der Daten zu gewährleisten. Hervorzuheben ist hier das Open Worldwide Application Security Project (OWASP), das Richtlinien, Tools und Best Practices für den sicheren Betrieb von Software zur Verfügung stellt.

#### **5 Rollout**

Besonders in größeren Projekten ist ein Rollout als „Big Bang“ ausgeschlossen. Beim „Big Bang“ findet der Wechsel auf die neuen Systeme in kürzester Zeit ohne Rückfallmöglichkeiten auf vorherige Systeme statt. Das Risiko von Produktionsausfällen und Datenverlusten ist hoch, da selbst umfangreichste Vorabtests nie alle Eventualitäten abdecken können.

Erfolgreiche Rollouts bedienen sich der folgenden Konzepte:

- Start mit einem Pilotbetrieb oder Parallelbetrieb mit bestehenden Systemen
- Schrittweises Onboarding von Personen, Abteilungen und Projekten

- Schrittweise Bereitstellung von neuen Funktionen
- Schrittweise Integration von Systemen bzw. Konnektoren zu den Systemen
- Falls erforderlich, schrittweise Übernahme von Altdaten
- Aufbau von Test-, Qualitäts- und Produktivsystem für das Ausrollen von Software.

Zudem ist ein angemessenes Erwartungsmanagement wichtig. Fehlen zum Start wichtige Funktionen, die später hinzugefügt werden sollen, dann muss den Beteiligten klar gemacht werden, dass bestimmte Funktionen erst in späteren Releases unterstützt werden. Wenn man den Erstnutzern die Möglichkeit gibt, mit ihrem Feedback aktiv an der Verbesserung teilzunehmen, erhöht das die Akzeptanz. Auch sind eine gute Einweisung und Wissensmanagement wichtig für Akzeptanz und Produktivität.

## **6 Zusammenfassung & Ausblick**

In diesem Paper wurden verschiedene Konzepte für eine durchgängige Digitalisierungslösung im Testprozess vorgestellt. Aus Werums langjähriger Erfahrung in den verschiedensten Industriebereichen haben sich diese Konzepte als Best Practice erwiesen. Allerdings hat sich auch gezeigt, dass es keine „Patentlösung“ gibt, sondern dass stets individuelle Kundenanforderungen berücksichtigt werden müssen. Zudem sollte die Digitalisierung eher als kontinuierlicher Prozess und weniger als einmalige Aktivität verstanden werden.

Aktuell steht neben der digitalen Transformation auch die KI-Transformation im Fokus. Bei der Definition der Unternehmensprozesse und dem Aufbau neuer Systeme sollte bereits heute Künstliche Intelligenz berücksichtigt werden. Die Bandbreite möglicher Use Cases ist vielfältig: Von einfachen Wissensabfragen oder Korrekturaufgaben bis hin zur Ausführung komplexer Datenextraktionen, Auswertungen und Datenanalysen ist vieles möglich. Besonders Tätigkeiten, die sich gut beschreiben lassen, können mit großen Sprachmodellen (LLMs) automatisiert werden.

## **7 Literaturverzeichnis**

- [BOH20] Hendrik Bohlen und Stefan Unterschütz, From Data to Company Values, ATZelectronics worldwide 15, 2020
- [HAN21] Björn Hansen, Standardisierte Lösungen in komplexen Systementwicklungsprozessen, ATZextra 6, 2021
- [ZEU23] Uwe Zenker und Thomas Rönpage, Milliarden Messwerte im Validierungstest, HANSER automotive 2, 2023