

Prognosefähigkeit „Änderung des Ausfallverhaltens“ - Daten als Wegweiser für die Zukunft

Ein Artikel von OTL Manuel Löwer und OL Ferdinand Huber (PlgABw IV 2 (2))

Die Entwicklung der Prognosefähigkeit im Kontext der Nutzung von Großgeräten erreicht mit dem erfolgreichen Abschluss der Studie **Prognosefähigkeit „Änderung des Ausfallverhaltens“ (PRADA)** einen essentiellen Meilenstein auf dem Weg zur hoch-automatisierten Erstellung von Prognosen im Rahmen des Teilprojektes Steuerung Nutzung (TP StrgNu). Im Ergebnis entstand der *PRADA Web-Service*, der die beiden Software-Demonstratoren für die simulationsgestützte Prognosefähigkeit Kampfhubschrauber TIGER und GTK BOXER auf einer Plattform mit moderner Software-Architektur vereint sowie den Analyseprozess von den Rohdaten aus der Nutzung bis zur Parametrisierung der Simulation automatisiert.

Durch Operationalisierung der im PRADA Web-Service angewandten Methoden aus dem Bereich „Predictive Analytics“ soll militärischen Entscheidungsträgern zusätzlich eine datengetriebene Perspektive geboten werden, die schnellere und besser informierte Entscheidungen sowie den zielgerichteten Einsatz von Ressourcen ermöglicht.

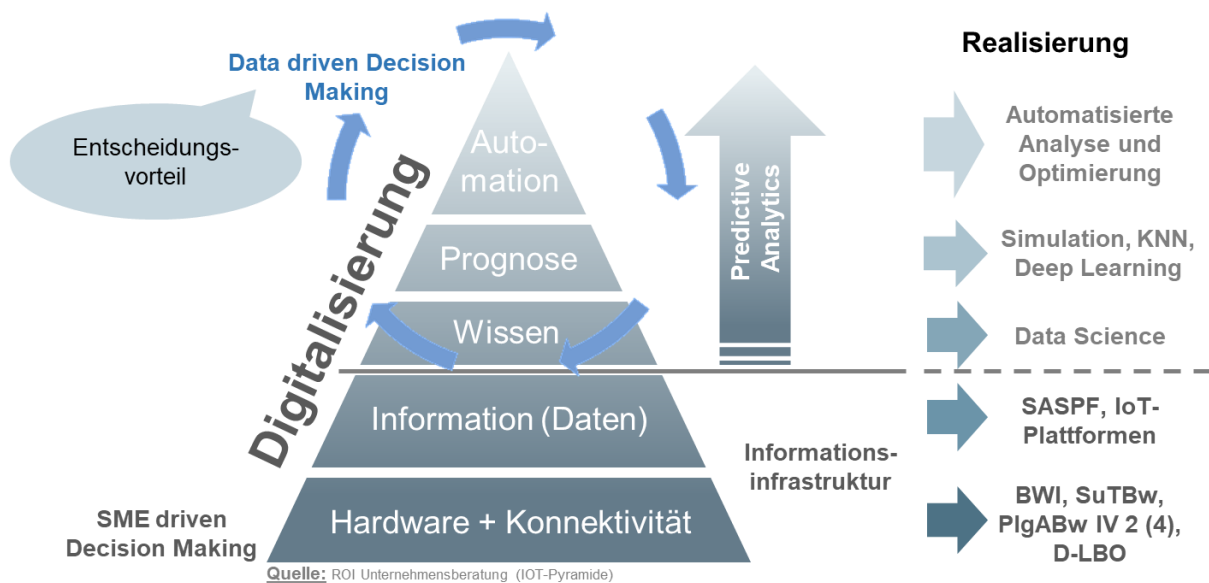


Abbildung 1: Digitalisierungspyramide

Auf dem Fundament einer leistungsfähigen Hardware können umfangreiche Experimente für beide Waffensysteme parallel durchgeführt werden. Der PRADA Web-Service besitzt eine modulare Softwarearchitektur. Die hohe Modularität ermöglicht nicht nur die einfache Integration weiterer Waffensysteme, sondern schafft gleichzeitig die Basis für einen potentiellen Betrieb in einer zukünftigen BwCloud - Umgebung.

Die wesentliche Leistung der PRADA - Studie aber ist die Lösung für eines der Hauptprobleme der simulationsgestützten Prognosefähigkeit - die Bereitstellung der umfangreichen Eingangsparameter für die Simulationsmodelle. Die Berechnung dieser Parameter entspricht der Generierung von Informationen (Wissen) aus den Daten, die für die Erstellung von Prognosen erforderlich sind. Sie erfordert eine umfassende, fachlich anspruchsvolle und zeitintensive Datenanalyse im Vorfeld von Simulationsexperimenten. Die Aufarbeitung der Daten stellt daher wiederkehrend eine große Herausforderung für die Nutzer dar. Die Nutzerakzeptanz hingegen ist Schlüssel zum Erfolg der Prognosefähigkeit. Daher wurde im Rahmen der PRADA - Studie eine hoch-automatisierte Fähigkeit zur strukturierten Verarbeitung von Nutzungsdaten sowie deren Aufarbeitung zur Erzeugung von Prognosen entwickelt und implementiert; wir sprechen dabei auch vom *Data-Load-Service (DLS)*.

Der modulare Aufbau der Software - in die Zukunft gedacht - schafft Flexibilität

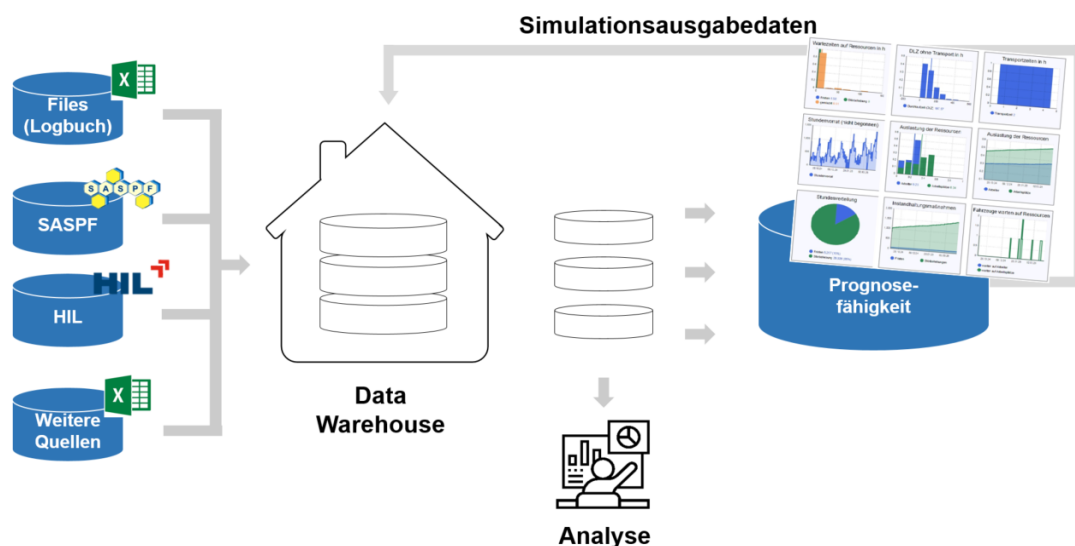


Abbildung 2: PRADA Datenverarbeitungskonzept

Der zentrale Baustein des Data-Load-Service ist ein Data Warehouse für Daten aus der Nutzung sowie der Instandhaltungs- und Logistikprozesse der Waffen- und ERP-Systeme¹ der Bundeswehr und der HIL GmbH. Dabei verläuft die Aufbereitung der Rohdaten innerhalb des Data Warehouse basierend auf Algorithmen komplett automatisiert ab. Die Kombination und Verarbeitung von Daten aus verschiedenen Quellsystemen in einer zentralen Plattform ermöglicht es, bisher ungenutztes Potential in den Daten auszuschöpfen und eine höhere Datenqualität durch Ableitung und Nutzung von Qualitätskriterien zu gewährleisten. Ein nützlicher Nebeneffekt des Data Warehouse ist die Möglichkeit zur Erstellung von Analysen für vielfältige Fragestellungen auf Ebene des Waffensystemmanagements, die über den Bedarf der Simulation hinausgehen. Die wesentliche Aufgabe besteht darin, die vorhandenen Simulationsmodelle der Waffensysteme KH Tiger und GTK BOXER mit den notwendigen Daten zu versorgen, damit diese die Realität hinreichend genau wider-

¹ Enterprise Ressource Planning; in diesem Fall das SASPF-System der Bw und das HIL-SAP-System

spiegeln können. Mit den im Aufsetzpunkt eingestellten Parametern sowie der Konfiguration eines Experimentes über das Design of Experiments kann die Simulation Prognosen erstellen und diese in den Simulationsausgabedaten strukturiert ablegen.

Aus der Menge an Simulationsausgabedaten lassen sich anschließend Fragestellungen wie „Mit wie vielen Ausfällen pro abgebildeter Baugruppe pro Jahr kann unter den eingestellten Parametern gerechnet werden?“ oder „Wie wirken sich Änderungen im Instandhaltungssystem auf die Einsatzbereitschaft der Flotte aus?“ beantworten. Für das TP StrgNu produziert der PRADA Web-service zusätzlich Ausgabedaten entlang des Kennzahlensystems StrgNu und ist somit in der Lage, den Zielsetzungs- und Zielnachhaltungsprozess substantiell zu unterstützen.

Der Nutzungsprofilservice – Ein Meilenstein der Automation der Prognosefähigkeit

Der sogenannte „**Nutzungsprofilservice**“ entspricht der „Krone“ der Digitalisierungspyramide aus *Abbildung 1* und ist der Schlüssel zur hoch-automatisierten, datengetriebenen Entscheidungsunterstützung. Der Nutzungsprofilservice besitzt die Aufgabe, die Simulation mit den Eingabeparametern aus der Datenanalyse zu versorgen. Dazu gehören u.a. die Anfangsbedingungen zum beabsichtigten Startzeitpunkt der Simulation, dem sogenannten Aufsetzpunkt mit allen Informationen über die Waffensystemflotte, das Instandhaltungs- und Logistiksystem sowie die geplante Nutzung. Hinzu kommen Metriken zur Beschreibung des Ausfallverhaltens² der Großgeräte und deren Hauptbaugruppen sowie die *Look-Up-Table-Faktoren*³, welche das nutzungsabhängige Ausfallverhalten in der Simulation bestimmen. Die Befähigung zur automatisierten Bestimmung nutzungsabhängiger Änderungen im Ausfallverhalten war Schwerpunkt der PRADA-Studie.

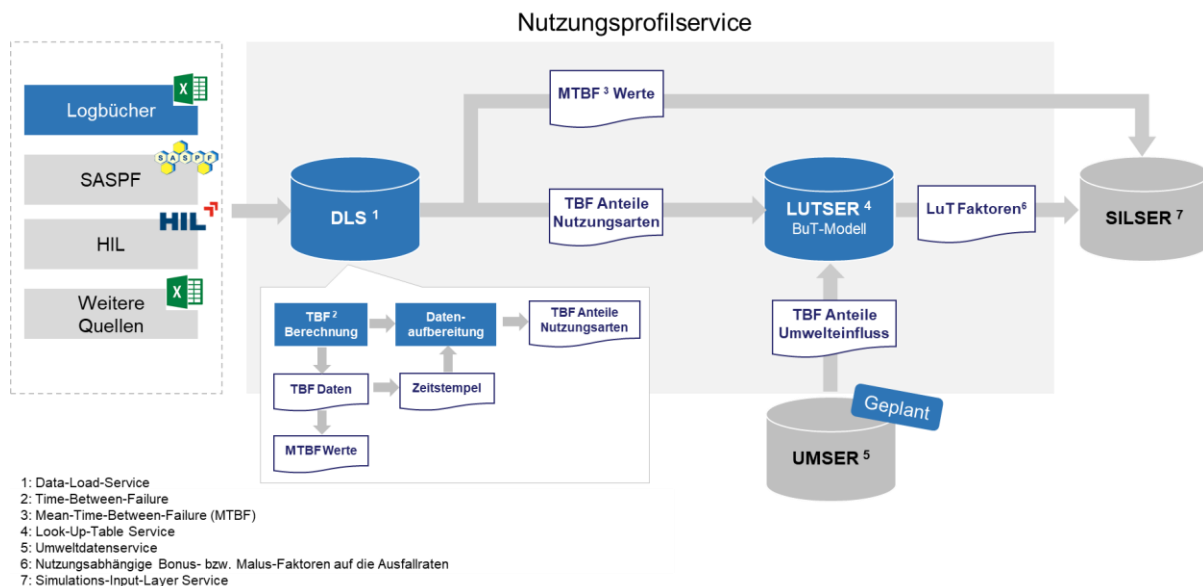


Abbildung 3: Prinzipskizze – Einbindung Nutzungsprofilservice in den PRADA Web-Service⁴

² Mean-Time-Between-Failure (MTBF)

³ Nutzungsabhängige Bonus- bzw. Malus-Faktoren auf die Ausfallraten

⁴ UMSE: Umweltdatenservice, welcher ausschließlich Umweltdaten speichert und aufbereitet
 SILSER: Simulation-Input-Layer-Service, welcher den Aufsetzpunkt der Simulation erstellt

Ausgelöst durch den Upload neuer Rohdaten über den Data-Load-Service werden aus den Störmeldungen automatisiert *Time-Between-Failure (TBF)-Daten*⁵ berechnet. Daraus werden die MTBF-Werte für die Hauptbaugruppen abgeleitet. Für die Dimension Land werden zusätzlich Zeitstempel für die Selektion der Fahrzeuglogbücher generiert, um das nutzungsabhängige Ausfallverhalten zu berechnen. Das Ausfallverhalten in der Dimension Luft ist je Standort rein flugstundenbasiert abgebildet. Flugstunden als Nutzungsparameter sind eine operative Vorgabe und müssen durch den Nutzer als manuelle Eingabeparameter konfiguriert werden.

Da der PRADA Web-Service keine automatisierten Schnittstellen zu externen Datenquellen besitzt, muss der Upload manuell durchgeführt werden. Ab hier läuft alles vollautomatisch. Zur Sicherung der Datenqualität werden durch den Data Load Service schon beim Hochladen neuer Daten standardisierte Qualitätskriterien abgeprüft, um beispielsweise fehlerhafte Logbücher sowie nicht plausible Meldungsdaten herauszufiltern und Lücken in den Daten durch Interpolation von Betriebswerten zu schließen. Prüfkriterien werden dabei direkt aus den Daten ermittelt. Nach der Bereinigung der Daten werden die zuvor genannten Zeitstempel im Data Warehouse mit den Logbüchern, also den Informationen darüber, welche Abfolge von Nutzungsmustern⁶ ein System in diesem Nutzungszeitraum erfahren hat, verschmolzen.

Alle Logbuchdaten, die einem bestimmten TBF-Zeitfenster zugeordnet werden können, werden nach ihrem Anteil an den verschiedenen Nutzungsarten ausgewertet. Hierbei wird in der Dimension Land zwischen vier Nutzungsarten unterschieden. Dazu gehören beim GTK BOXER unter anderem „Straßen- und Geländennutzung“. Wie in Abbildung 4 exemplarisch dargestellt, kann der Data Load Service aufgrund der feststellbaren Muster am Verlauf der Geschwindigkeits-, der Drehzahl- und Schaltvorgänge Straßen- und Geländennutzung unterscheiden. Diese beiden Nutzungsarten unterscheiden sich gravierend. Während im Straßenmarsch überwiegend einer befohlenen Marschgeschwindigkeit konstant gefolgt wird, deren Aufrechterhalten in einem nahezu gleichförmigen Drehzahlverlauf im selben Gang möglich ist, lässt sich die Nutzung im Gelände an den häufigen Schaltvorgängen und wechselnden Geschwindigkeiten im niedrigen Bereich identifizieren.

⁵ Ein TBF-Datum markiert demnach einen Zeitabschnitt, in dem ein Gefechtsfahrzeug ohne Störung genutzt wurde.

⁶ Gesamtheit zu erwartender, wiederkehrender Belastungen, die auf eine idealtypische Betrachtungseinheit eines Produkts im Rahmen ihrer bestimmungsgemäßen Benutzung einwirken. (DBTerm Bw)

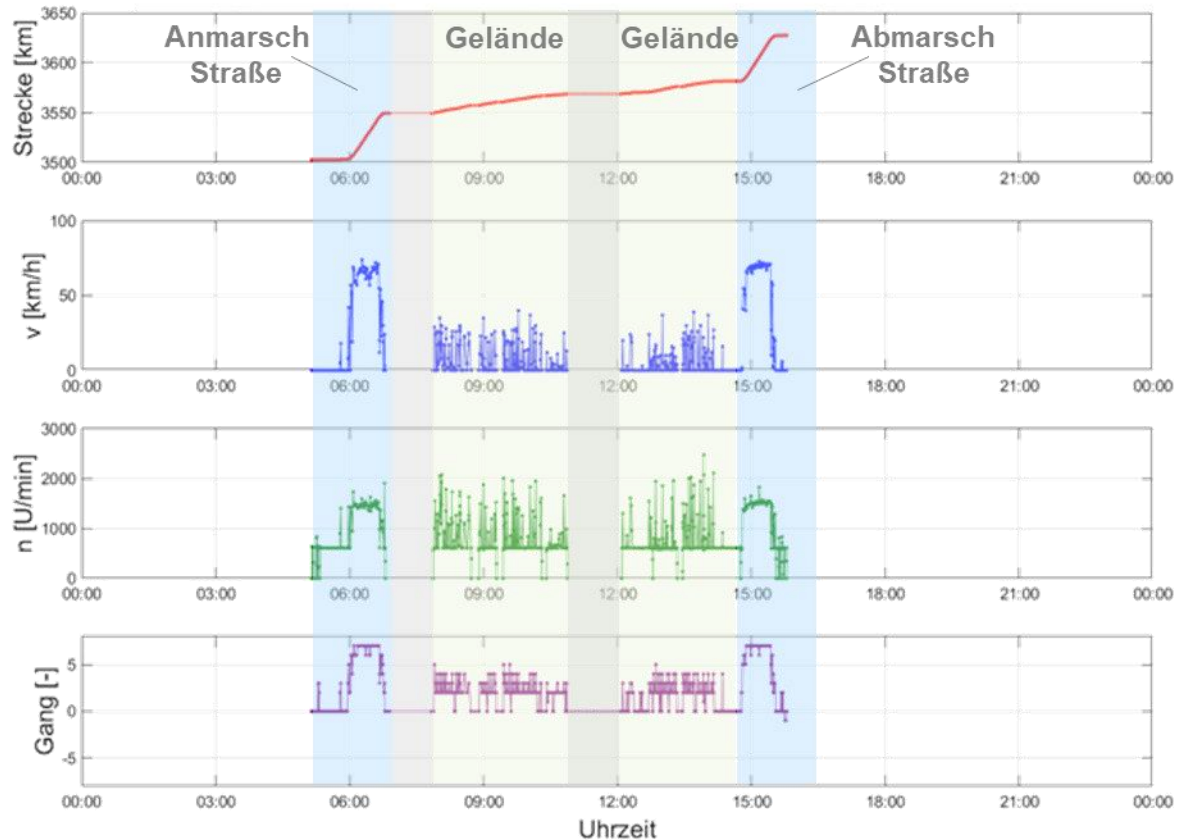


Abbildung 4: Exemplarisches Nutzungsmuster eines Gefechtstages generiert aus den Logbuchdaten eines GTK BOXER. Hier erkennbar Mischnutzung aus Straßenmarsch (blau) und Nutzung im Gelände (grün).

Die jeweiligen Anteile unterschiedlicher Nutzungsarten in einem TBF-Abschnitt werden im Data Warehouse mit den Zeitstempeln zusammengefasst abgelegt.

Quantitative Analyse „at work“, Automatisierte Bewertung von Nutzungsparametern

Jetzt folgt die wichtigste Aufgabe des Nutzungsprofilservice - die Quantifizierung der Look-Up-Table Faktoren für die Nutzungsarten. Dazu wurden insgesamt fünf verschiedene Berechnungsmodelle entwickelt und getestet. Im Ergebnis hat sich das sog. „btu-Modell“⁷ durchgesetzt, das jetzt im Look-Up-Table-Service implementiert ist und die Nutzungsbeurteilung durchführt. Dieses löst im Grunde ein Optimierungsproblem. Nutzungsmuster können in einem TBF-Zeitraum grundsätzlich beliebig zusammengesetzt sein. Daher stellt sich die Frage, wie der Einfluss eines beliebigen Nutzungsmusters auf das Ausfallverhalten eines Systems in der Simulation „einzahlen“ soll.

Das btu-Modell als Herzstück des Nutzungsprofilservice berechnet den optimalen Look-Up-Table Faktor für eine oder mehrere definierte Nutzungsarten, in unserem Fall Straßen und Geländennutzung aus der Gesamtmenge der vorhandenen qualitätsgesicherten Nutzungsdaten. Dabei wird die Nutzungsart „Straßennutzung“ als Referenzgröße mit dem Faktor 1.0 angenommen.

⁷ benannt nach dem Urheber, des Unterauftragnehmers der Studie „Brandenburgisch, technische Universität Cottbus“

Mit einem standardisierten Verfahren zur numerischen Optimierung, dem sog. *Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno- (BFGS)* Verfahren, nähert es sich schrittweise einer optimalen Kennzahl für den Einflussfaktor, der am Ende in der Look-Up-Table hinterlegt wird. Mit Hilfe dieses Verfahrens konnte erstmalig nachgewiesen werden, dass ein Kilometer im Gelände zu einer um den Faktor 1,27 höheren Ausfallrate führt, als ein gefahrener Kilometer auf der Straße. Demzufolge fällt das Gefechtsfahrzeug im Vergleich zur Straßennutzung etwa 27% häufiger aus. Dies lässt noch keine Rückschlüsse auf Ausfälle von Einzelbaugruppen zu.

Die Simulation zieht diesen Faktor zur Berechnung des Ausfallverhaltens entsprechend des konfigurierten Nutzungsprofils heran. Die hinterlegte MTBF wird entsprechend einer mit den beiden Faktoren (1,0 und 1,27) berechneten gewichteten Summe angepasst. Somit generieren die GTK BOXER in der Simulation mit zunehmender Nutzung im Gelände einen höheren Instandhaltungsaufwand. Dies ist gültig für Nutzungsmuster bestehend aus einer beliebigen Abfolge aus Straßen- und Geländennutzung.

Der erfolgreiche Abschluss der Studie markiert das Erreichen eines Meilensteins für die Entwicklung der simulationsgestützten Prognosefähigkeit, da wesentliche Fähigkeitsbausteine implementiert sind. Aufgrund der Datenlage bleibt die Quantifizierung von Umwelteinflüssen, beispielsweise die Geländebewertung, auf das Ausfallverhalten als offenes Arbeitspaket. Durch die Verfügbarkeit zusätzlicher Daten, z.B. GPS-Daten, kann diese Lücke zukünftig geschlossen werden. Der PRADA Web-Service ist bereit für eine Erweiterung mit neuen Simulationsmodellen und die vertiefte Analyse des Baugruppenverhaltens. Somit schlägt die Entwicklung der pilotierten Prognosefähigkeit mit Abschluss der PRADA - Studie ein neues Kapitel auf.