

Scheitert Systems Engineering an seiner eigenen Komplexität?

Wie KI die operative Produktentwicklung befähigt

Sassan Mottaghian,
Abdelaziz Daroui,
Bastian Herrmann,
Lilly-Sophie Rettenbacher,
Shubhankar Valegaonkar und
Nikolas Wiebel*

Der Deloitte Systems Engineering Navigator setzt neue Maßstäbe im Umgang mit der wachsenden Komplexität moderner Produktentwicklungen. Mit generativer, erkläbarer und lernender KI, einer bidirektionalen RFLP-Methodik (Requirements, Functions, Logical Elements, Physical Elements) und nahtloser Datenintegrität ermöglicht er einen entscheidenden Druckpunktwechsel: von fragmentierten und fehleranfälligen Prozessen hin zu einer effizienten, konsistenten und zukunftssicheren Modellierung. Unternehmen profitieren von erheblichen Zeitersparnissen, reduzierter Redundanz und gesteigerter Innovationskraft.

Systems Engineering steht am Scheideweg

Systems Engineering ist die Methodik, um Komplexität in der Produktentwicklung cyber-physicaler Produkte zu beherrschen. Nachdem wir viele Jahre Erfahrung mit dieser Methodik sammeln konnten, stellen wir fest, dass gerade der aufwändige Prozess der Modellierung des impliziten Wissens ein Show-Stopper sein kann. Wie oft bei frontloading-basierten Ansätzen sind hier massive kostenintensive Vorarbeiten notwendig. Mit auf generativer künstlicher Intelligenz (KI) basiertem Systems Engineering kön-

nen Entwicklungsorganisationen bei der Funktions- und Systemmodellierung so unterstützt werden, dass auch konservativ gerechnet mehr als 50 Prozent der Aufwände eingespart werden können, bei gleichzeitig deutlicher Qualitätssteigerung der Modellierung.

Die Methoden und Prozesse, die einst die Entwicklung moderner Produkte revolutionierten sollten, stoßen heute an ihre Grenzen. In einer Welt, die von immer komplexeren cyber-physicalen Systemen geprägt ist – von softwaredefinierten Fahrzeugen über hochsichere Flugzeuge bis hin zu vernetzten IoT-Komponenten – droht das klassische Systems Enginee-

ring unter der Last seiner eigenen Anforderungen zu zerbrechen.

Fehlende Datenkontinuität, unübersichtliche Rückverfolgbarkeit, aufwendige Versionskontrollen und die Nichteinhaltung regulatorischer Standards sind nicht mehr nur Nebenwirkungen, sondern systemische Schwächen. Diese Probleme führen zu exorbitanten Kosten in der Integration, endlosen Verzögerungen und fatalen Fehlerraten. Die Konsequenz: Unternehmen verlieren an Innovationskraft und Wettbewerbsfähigkeit.

Doch genau hier setzt die Lösung an. KI, insbesondere generative und erklärbare KI (vgl. explainable AI, xAI, KI-Erklärbarkeit und Transparenz), bietet die Chance, das klassische Systems Engineering neu zu erfinden. Durch den Einsatz intelligenter Technologien wird die längst überfällige Transformation Realität: KI analysiert unstrukturierte Daten, integriert Domänenwissen, erzeugt präzise Vorhersagen und schafft so die Grundlage, die Komplexität moderner Produkte zu beherrschen – noch bevor sie entsteht.

Das klassische Frontloading, also die frühzeitige Einbeziehung entscheidender Systems-Engineering-Praktiken, kann durch KI revolutioniert werden. Was bis-

* Korrespondenzautor

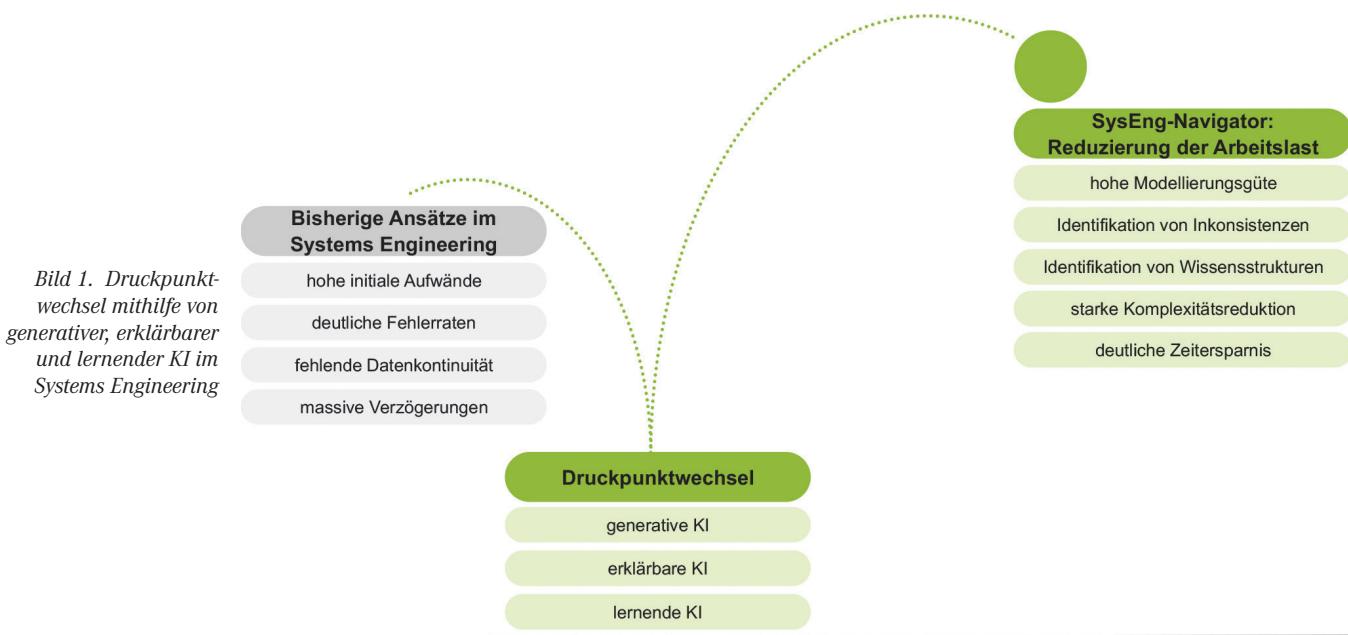
Dipl.-Ing. *Sassan Mottaghian*; Deloitte Consulting GmbH; Rosenheimer Platz 4, 81669 München;
Tel.: +49 (0) 89 290360, E-Mail: smottaghian@deloitte.de

Weitere Autor:innen

Abdelaziz Daroui, M.Sc.; Deloitte Consulting GmbH, Berlin
Bastian Herrmann, M.Sc.; Deloitte Consulting GmbH, Berlin
Lilly-Sophie Rettenbacher, B.Eng.; Deloitte Consulting GmbH, München
Shubhankar Valegaonkar, M.Sc.; Deloitte Consulting GmbH, München
Nikolas Wiebel, M.Sc.; Deloitte Consulting GmbH, Düsseldorf

Hinweis

Bei diesem Beitrag handelt es sich um einen von den Advisory-Board-Mitgliedern des ZWF-Sonderheftes wissenschaftlich begutachteten Fachaufsat (Peer-Review).



lang als mühsam und ressourcenintensiv galt, wird nun assistiert, transparent und skalierbar. Unternehmen, die diesen Druckpunktwechsel annehmen, können nicht nur ihre Prozesse konsequent verbessern, sondern sich nachhaltig als Innovationsführer positionieren.

In der Automobilindustrie zeigt sich das Potenzial dieser Revolution besonders eindrucksvoll. Elektrifizierung, softwaredefinierte Fahrzeuge und zentrale Rechnerarchitekturen erfordern präziseste Planung und Datenstrukturen, die besser durch KI beherrscht werden können. Ebenso sieht sich die Luft- und Raumfahrt mit verschärften Sicherheitsstandards und hochspezialisierten Materialien konfrontiert, während der Industriesektor den steigenden Anforderungen globaler Standards und IoT-Technologien gerecht werden muss.

Wie in Bild 1 dargestellt, ist die Einführung von generativer, lernender und erkläbarer KI, als Assistenz für die Entwickler, mehr als ein technologischer Fortschritt. Sie stellt einen Druckpunktwechsel dar. Sie hilft den Systemingenieur dabei,

- die Komplexität und Qualität der Modellierung zu handhaben,
- Inkonsistenzen zu identifizieren (Nachverfolgbarkeit der Wirkbeziehungen zwischen Anforderungen, Funktionen, Systemen und der physischen Struktur),

- implizites Wissen und Informationen zu dem System zu identifizieren,
- komplexe Modellierungswerzeuge zu bedienen, anspruchsvolle Modellierungssprachen anzuwenden und isolierte Systemarchitekturen aufzulösen.

So wird der initiale Aufwand der Modellierung deutlich reduziert – während zeitgleich die Qualität steigt. Insbesondere Unternehmen mit einer langen Historie haben genau hier einen Konflikt: Sie sitzen auf einem riesigen Schatz impliziten Wissens und Produkterfahrung. Dieser Vorteil kehrt sich jedoch in einen Nachteil, weil der Aufwand der Kodifizierung in Modellbasiertes Systems Engineering (MBSE) immens hoch ist.

Generative KI im Systems Engineering bricht Silos auf, vernetzt Disziplinen, macht verborgene Synergien nutzbar und unterstützt so den Ingenieur aktiv bei Lösungsvorschlägen. Sie ist nicht nur ein Werkzeug, sondern der Beschleuniger für die Transformation eines Systems, das bislang droht, an seiner eigenen Komplexität zu scheitern.

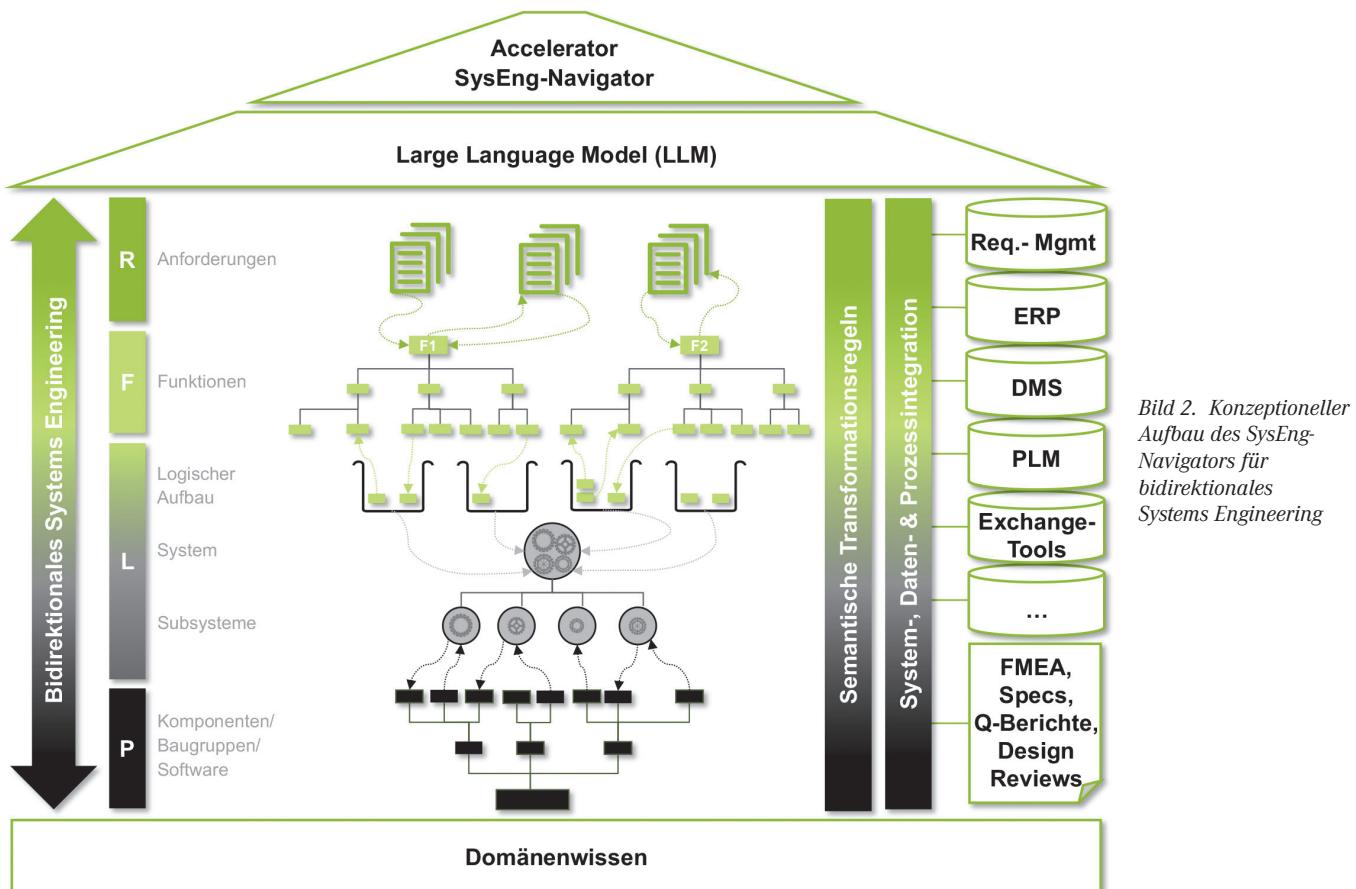
KI-gestützter SysEng-Navigator als Schlüssel zur operativen Umsetzung in der Industrie

Die Herausforderungen moderner Produktentwicklungen erfordern mehr als

inkrementelle Verbesserungen, sie verlangen einen echten Wandel. Genau hier setzt unser KI-gestützter System Engineering Navigator (SysEng-Navigator) an. Mit den Möglichkeiten generativer KI-Modelle, insbesondere solcher, die auf Natural Language Processing (NLP) basieren, wird nicht nur eine Beschleunigung, sondern eine grundlegende Transformation der anforderungsbasierten Modellierung erreicht. Studien belegen das enorme Potenzial: *Wie Patel et al. [2] zeigen*, können generative KI-Modelle die Erstellung von Anforderungen und die Modellierung von Systemelementen aus unstrukturierten Daten signifikant verbessern. Auf dem INCOSE International Symposium [1] zeigte *Brian Johns* eindrucksvoll, dass ein NLP-fähiger MBSE-Assistenzansatz eine massive Zeitersparnis von bis zu Faktor 300 ermöglichen kann.

Doch die Herausforderungen bleiben: Redundanzen, Inkonsistenzen und Abweichungen, die bisher oft untrennbar mit komplexen Entwicklungsprozessen verbunden waren, müssen gezielt adressiert werden [1]. Dieser Ansatz ist darauf ausgelegt, diese Schwächen zu überwinden und die Modellierung in eine neue Ära zu führen.

Der SysEng-Navigator basiert auf der RFLP-Kette. Dieser Ansatz verknüpft Anforderungen mit Funktionen, Systemen und der physischen Produktstruktur,



nicht nur in einer Richtung, sondern bidirektional (Bild 2):

- *Von Anforderungen zu Funktionen und Systemen*
Anforderungen werden systematisch analysiert und in Funktionen und logische Elemente überführt.
- *Von der physischen Struktur rückwärts zu Funktionen und Systemen*
Die zugrundeliegenden Anforderungen und Funktionen werden aus bestehenden physischen Elementen rekonstruiert.

Eine Brücke zwischen Vergangenheit und Zukunft

Der SysEng-Navigator (Bild 2) wurde speziell für Unternehmen entwickelt, die sich in einem Spannungsfeld zwischen etablierten Produkten und der Notwendigkeit neuer Innovationen befinden. Bild 2 zeigt die bidirektionale Verbindung von Anforderungen, Funktionen, logischem Aufbau und physischen Komponenten mithilfe ei-

nes Large Language Models, das Domänenwissen und semantische Transformationsregeln integriert. Dadurch können bestehende Systemelemente nahtlos mit neuen Entwicklungen verknüpft werden, ohne wertvolles Wissen zu verlieren.

Hier trifft technische Innovation auf folgende praktische Anwendbarkeit:

Transformationsmatrix und Domänenwissen

Der SysEng-Navigator nutzt industriespezifische Transformationsmatrizen, die typische funktionale und systemische Zusammenhänge abbilden. Er erkennt unternehmensspezifische Begriffe und Variationen, wie z.B. die unterschiedlichen Bezeichnungen für „Adaptive Cruise Control“ in der Automobilindustrie (Abstandsregeltempomat, automatische Distanzregelung, aktive Geschwindigkeitsregelung, adaptive Abstandskontrolle). Dies ermöglicht eine präzise Zuordnung und schafft eine Grundlage für konsistente Modellierung über Domäengrenzen hinweg.

Einlernen von Kontext

Durch die Integration von Domänenwissen und unternehmensspezifischen Daten wird der SysEng-Navigator zu einem Experten für die Sprache, Prozesse und Anforderungen seines jeweiligen Einsatzbereichs. Er kann Gesetze, Normen und Vorschriften in konkrete Systemanforderungen übersetzen und ist so nicht nur ein Werkzeug, sondern ein strategischer Partner in der Produktentwicklung.

Semantische Transformationsregeln
ein Satz semantischer Regeln verleiht der KI ein tiefes Verständnis für den Systemkontext. Diese Regeln ermöglichen eine präzise Interpretation von Anforderungen, die Aufschlüsselung in Funktionen und logische Korrelationen sowie die Zuordnung zu physischen Elementen – alles innerhalb klar definierter Systemgrenzen.

Generative Künstliche Intelligenz
Generative KI eröffnet neue Möglichkeiten, indem sie Inhalte wie Texte, Audios

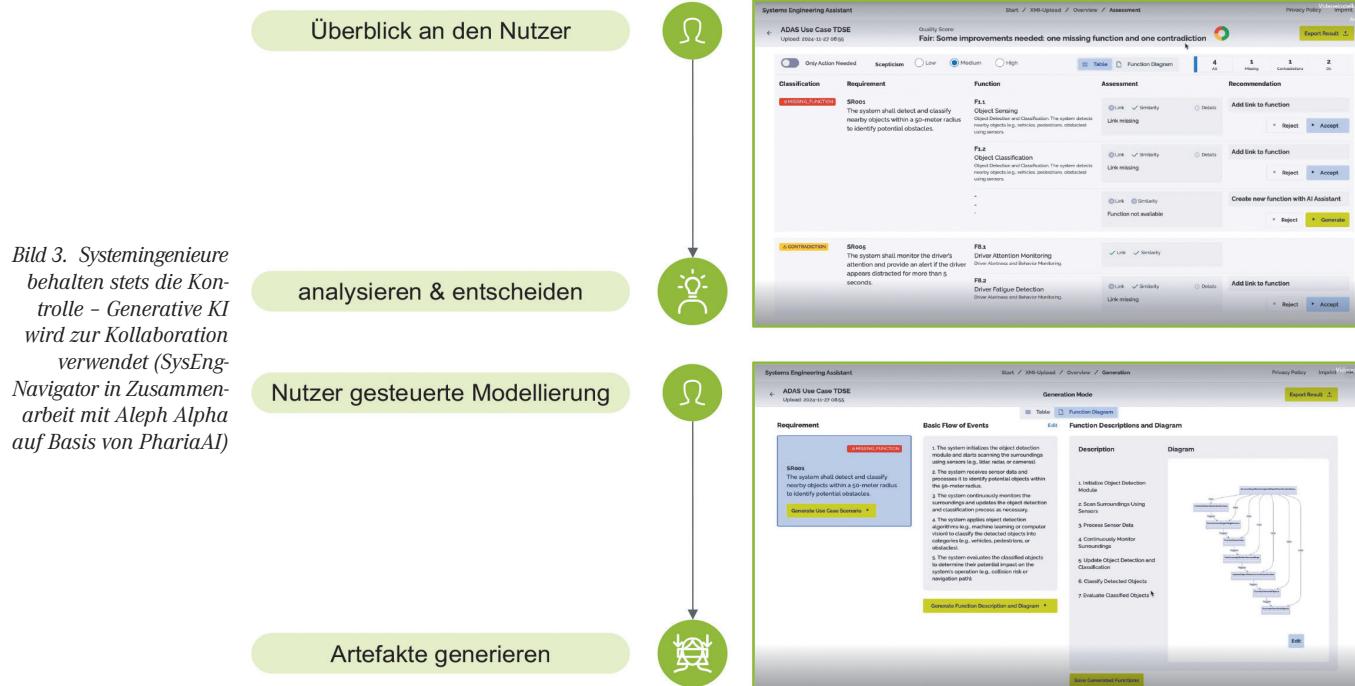


Bild 3. Systemingenieure behalten stets die Kontrolle – Generative KI wird zur Kollaboration verwendet (SysEng-Navigator in Zusammenarbeit mit Aleph Alpha auf Basis von PhariaAI)

oder Modelle eigenständig erstellt und dabei Muster und Strukturen aus ihren Trainingsdaten nutzt. Im Systems Engineering Navigator wird ein instanziiertes Large Language Model (LLM) eingesetzt, das speziell auf die Verarbeitung domänenspezifischer Daten abgestimmt ist. Dieses LLM analysiert unstrukturierte Daten in natürlicher Sprache, integriert spezifisches Fachwissen und leitet daraus strukturierte Informationen ab. So können technische Artefakte wie UML- und SysML-Diagramme automatisiert generiert werden, was die Modellierung konsistenter, effizienter und auf die individuellen Anforderungen der Domäne zugeschnitten macht.

Nahtlose Integration und Flexibilität
Der SysEng-Navigator integriert sich nahtlos in bestehende Informationstechnologie-Landschaften (IT), unterstützt gängige Formate wie ReqIF oder SysML und ermöglicht so einen reibungslosen Austausch von Daten. Er ist darauf ausgelegt, langfristig in den Unternehmensprozess eingebettet zu werden und sich an individuelle Anforderungen anzupassen.

Die Systemingenieure behalten stets die Kontrolle

Der SysEng-Navigator weist kollaborativ auf Fehler und Lücken hin und präsen-

tiert Lösungsvorschläge. Er fordert gezielt Interaktionen ein, um sicherzustellen, dass alle generierten Inhalte auf die spezifischen Bedürfnisse und Ziele abgestimmt sind. Während die KI administrative Aufgaben übernimmt, können sich die Entwicklungsteams auf die strategische und kreative Modellierung konzentrieren (Bild 3). Wie die Mensch-Roboter-Kollaboration in der Fertigung ermöglicht der SysEng-Navigator eine Mensch-KI-Kollaboration.

Kontinuierliches Lernen und Verbesserung

Durch vorab trainierte Modelle und dynamisches Lernen während der Anwendung passt sich der SysEng-Navigator kontinuierlich an die Bedürfnisse seines Nutzerinnen und Nutzer an. Mit jeder Interaktion wird er präziser, effizienter und effektiver.

Datenintegrität, Qualität und transformative Effizienz bringen großen Nutzen

Der KI-gestützte SysEng-Navigator ist weit mehr als ein Werkzeug – er ist der Schlüssel zur Transformation. Sein Kern liegt in der Befähigung von Unternehmen, Komplexität zu beherrschen und

ihre Innovationskraft nachhaltig zu steigern. Dabei stehen Datenintegrität und unternehmensspezifische Flexibilität im Mittelpunkt:

Datenintegrität als Basis für Vertrauen und Exzellenz

Der SysEng-Navigator gewährleistet eine konsistente, fehlerfreie Datenbasis über den gesamten Lebenszyklus hinweg. Durch die Integration gängiger Standards wie ReqIF und SysML sowie semantischer Transformationsregeln werden Informationen nicht nur korrekt übertragen, sondern auch sinnvoll verknüpft. Diese Datenkontinuität verhindert Medienbrüche und reduziert Risiken in späteren Entwicklungsphasen – ein entscheidender Faktor für die Qualität und Wettbewerbsfähigkeit moderner Produkte.

Skalierbare Liefermodelle für maximale Anpassung

Unternehmen sind verschieden, und der SysEng-Navigator berücksichtigt die in Bild 4 dargestellten flexiblen Liefermodelle:

Impact as a Service

Unternehmen können den SysEng-Navigator als cloudbasierte Lösung nutzen, ohne hohe Implementierungskosten oder IT-Anpassungen. Dies er-

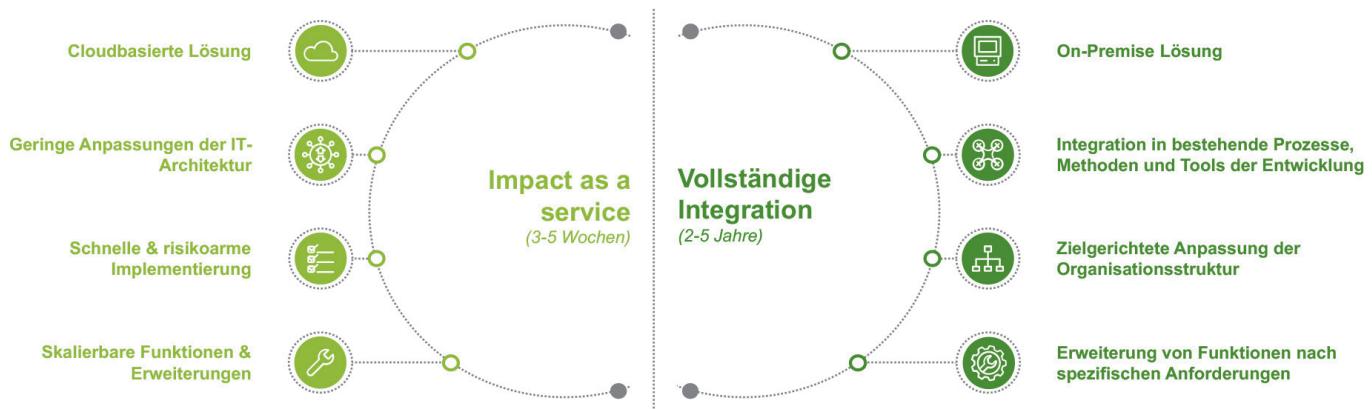


Bild 4. Liefermodelle des SysEng-Navigators im Vergleich

möglich eine schnelle, risikoarme Einführung mit skalierbaren Funktionen, die je nach Bedarf erweitert werden können.

■ Vollständige Integration

Für Organisationen mit spezifischen Anforderungen wird der SysEng-Navigator direkt in die bestehende IT-Landschaft des Kunden integriert. Hierbei bleibt die volle Kontrolle über Daten und Prozesse beim Unternehmen.

Zeitgewinn und Effizienz

Mit einer Effizienzsteigerung im Gesamtprozess der SysEng-Modellierung sehen wir eine Einsparung von mehr als 50 Prozent [1].

Fehlerreduktion und Qualitätssicherung

Redundanzen, Inkonsistenzen und Abweichungen werden frühzeitig eliminiert. Der SysEng-Navigator sorgt dafür, dass Fehler gar nicht erst entstehen. Das Ergebnis sind qualitativ hochwertigere Systeme, die den steigenden Anforderungen moderner Märkte gerecht werden.

Wissen als strategische Ressource

Der SysEng-Navigator sichert unternehmensspezifisches Wissen und macht es langfristig nutzbar, indem er explizite und implizite Daten intelligent verbindet. Gleichzeitig eröffnet er neue Synergien zwischen Disziplinen und Prozessen, die bisher ungenutzt blieben.

Mitarbeiter im Mittelpunkt

Systemingenieure bleiben in der Kontrolle. Während die KI administrative Aufga-

ben übernimmt, wie das Verwalten von Traces und Modellierungsdetails, können sich die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf strategische und kreative Aufgaben konzentrieren. Das stärkt die Innovationskraft und entlastet gleichzeitig den Menschen.

Mit diesen Vorteilen wird der SysEng-Navigator zu einem zentralen Baustein einer nachhaltigen und zukunftsorientierten Produktentwicklung.

Fazit: Eine neue Ära des Systems Engineering

Die wachsende Komplexität moderner Produkte ist nicht nur eine Herausforderung, sondern eine einzigartige Chance. Der KI-gestützte SysEng-Navigator zeigt, dass Systeme, die einst als schwerfällig und fehleranfällig galten, durch den Einsatz von KI und einer durchgängigen Datenstrategie zu agilen, leistungsfähigen Entwicklungsplattformen werden können. Die Verbindung aus Datenintegrität, domänen spezifischem Wissen und skalierbaren Liefermodellen macht den SysEng-Navigator zu einem „Game Changer“. Unternehmen profitieren von einer einheitlichen, fehlerfreien Datenbasis, die Transparenz schafft und Silos aufbricht. Flexible Liefermodelle ermöglichen eine schnelle Einführung oder vollständige Integration, passend zu den individuellen Bedürfnissen jedes Unternehmens.

Dieser Ansatz ermöglicht nicht nur Effizienzsteigerungen, sondern auch eine nachhaltige Sicherung von Innovationskraft und Wettbewerbsfähigkeit. Der SysEng-Navigator transformiert das Systems

Engineering und bricht alte Grenzen auf: Er bietet die Präzision und Transparenz, die in einer komplexen Welt unverzichtbar sind, und macht den Weg frei für die nächste Generation von Produkten.

Die Zukunft des Systems Engineering ist da, und sie wird von Datenintegrität, KI und menschlicher Kreativität gemeinsam gestaltet. Der SysEng-Navigator beweist, dass Innovation nicht das Ende bestehender Methoden bedeutet, sondern deren nächste, stärkere Entwicklungsstufe.

Literatur

1. Johns, B. et al.: AI Systems Modeling Enhancer (AI-SME): Initial Investigations into a ChatGPT-enabled MBSE Modeling Assistant. INCOSE International Symposium 34 (2024) 1, S. 1149–1168
DOI:10.1002/iis.2.13201
2. Patel, A.; Maheshwaran, Y.; Santhya, P.: Easing Adoption of Model-based System Engineering with Application of Generative AI. In: IEEE Space, Aerospace and Defence Conference (SPACE). IEEE, 2024, S. 871–874
DOI:10.1109/SPACE63117.2024.10667868

Die Autor:innen dieses Beitrags

Dipl.-Ing. Sasan Mottaghian, geb. 1969, machte sein Diplom am WZL der RWTH Aachen mit dem Schwerpunkt Entwicklungssystematik. Von seinen knapp 30 Jahren Berufserfahrung war er jeweils zur Hälfte in der Industrie (Airbus, Audi) und in der Beratung für Prozesse, Methoden und Tools der Produktentwicklung. Seit 2022 verantwortet er als Direktor bei Deloitte Consulting das Thema Systems Engineering und Digital Twin.

Abdelaziz Daroui, M.Sc., geb. 1995, studierte Maschinenbau an der Technischen Universität Berlin und an der University of Cambridge.

Bastian Herrmann, M.Sc., geb. 1990, studierte Wirtschaftsingenieurwesen mit dem Schwerpunkt Maschinenbau an der Technischen Universität Berlin.

Shubhankar Valegaonkar, M.Sc., geb. 1994, studierte Systems Engineering mit dem Schwerpunkt Maschinenbau an der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg.

Nikolas Wiebel, M.Sc., geb. 1997, studierte Maschinenbau mit dem Schwerpunkt Digital Engineering an der Ruhr-Universität Bochum.

Lilly-Sophie Rettenbacher, B.Eng., geb. 2000, Deloitte Consulting, München, studiert im Masterstudium Systems Engineering an der Hochschule München.

Sie sind alle im Bereich Product and Systems Engineering bei Deloitte Consulting tätig.

Abstract

The Deloitte Systems Engineering Navigator sets new standards in dealing with the growing complexity of modern product development. With generative, explainable and self-learning AI, bidirectional RFLP1 methodology and seamless data integrity, it enables a decisive pressure point change: from fragmented and error-prone processes to efficient, consistent, and future-proof modeling. Companies benefit

from significant time savings, reduced redundancy, and increased innovative strength.

Schlüsselwörter

Systems Engineering, Modellbasiertes Systems Engineering (MBSE), Produktentwicklung, Künstliche Intelligenz (KI), Large Language Model (LLM), Generative KI (GenAI), V-Modell, RFLP, Systemebenen, Systementwicklung, SysEng-Navigator

Keywords

Systems Engineering, Model Based Systems Engineering (MBSE), Product Development, Artificial Intelligence (AI), Large Language Model (LLM), Generative AI (GenAI), V-Model, RFLP, System Levels, System Development, SysEng-Navigator

Bibliography

DOI:10.1515/zwf-2025-0008
 ZWF 120 (2025) Special Issue; page 90 – 95
 Open Access. © 2025 bei den Autoren,
 publiziert von De Gruyter. 
 Dieses Werk ist lizenziert unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz.
 ISSN 0947-0085 · e-ISSN 2511-0896