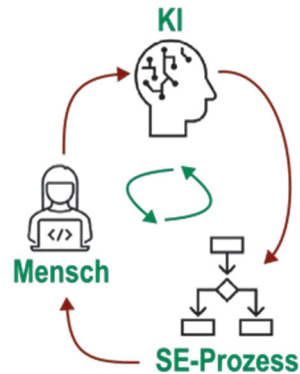


Kollaboration von Mensch und KI zur Unterstützung von Systems Engineering-Prozessen

Schumacher, T.; Inkermann, D.

Dieser Beitrag untersucht die Anwendung von Künstlicher Intelligenz (KI) zur Unterstützung von Prozessen im Systems Engineering (SE). Auf Basis einer Literaturrecherche werden SE-Prozesse und die korrespondierenden Entwicklungstätigkeiten identifiziert, die mithilfe von KI unterstützt werden können. Zudem wird der konkrete Nutzen von KI für die jeweiligen Entwicklungstätigkeiten bestimmt. Außerdem analysiert dieser Beitrag die Kollaboration zwischen Mensch und KI bei der Ausführung von Entwicklungstätigkeiten und unterscheidet vier Stufen der KI-Autonomie.



This article investigates the application of artificial intelligence (AI) approaches to support systems engineering (SE) processes. To this end, a literature review is used to identify SE processes and their corresponding engineering activities that can be supported by AI. Additionally, specific benefits of AI for each respective engineering activity are determined. This article also examines the collaboration between humans and AI while executing an engineering activity, categorizing it into four levels of AI autonomy.

Einleitung und Forschungsfragen

Systems Engineering (SE) ist ein interdisziplinärer Ansatz zur Unterstützung der Entwicklung und Realisierung technischer Systeme. SE betrachtet die Produktentwicklung als Problemlösungsprozess, indem ausgehend von den Kundenbedarfen und den erwarteten Systemfunktionen (*Problem*) ein geeigneter Systementwurf (*Lösung*) erzeugt wird. Außerdem fördert SE die interdisziplinäre Entwicklung, indem der Entwicklungsprozess vom Konzept über die Herstellung bis zur Verwendung des Systems strukturiert wird (*Systems Engineering Vorgehensweise*) und SE die Betrachtung des zu entwickelnden Systems aus unterschiedlichen Perspektiven ermöglicht. Außerdem sind während der Problemlösung die Prinzipien des *Systems Thinkings* zu berücksichtigen. //1/ Abbildung 1 visualisiert die eingeführten Elemente des Systems Engineerings und setzt diese in einen gemeinsamen Kontext. Die Operationalisierung von Systems Engineering erfordert die Einführung von Prozessen, Methoden und Werkzeugen, die sowohl die *technische Systementwicklung* als auch das *Projektmanagement* während der Entwicklung definieren und unterstützen.

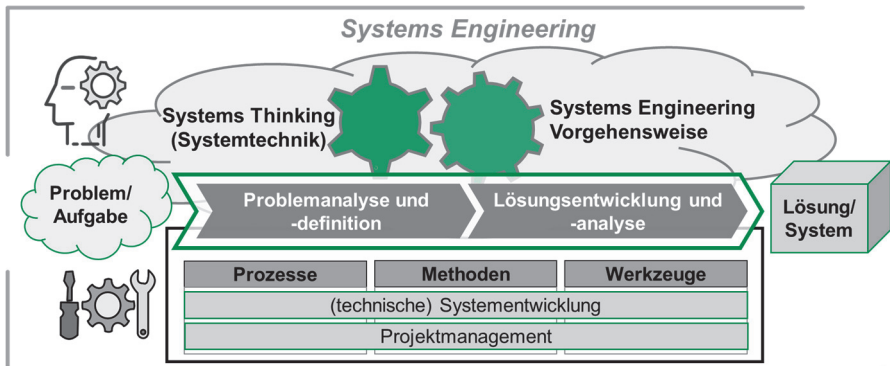


Abbildung 1: Grundverständnis und Elemente des Systems Engineering /2/

Eine Übersicht der notwendigen Prozesse zeigt Abbildung 2 auf Basis der ISO/IEC/IEEE 15288 /3/. Hierbei greift /3/ den Bedarf an Prozessen zur Ausführung der Systementwicklung (*technische Prozesse*) und des Projektmanagements (*technische Managementprozesse*) auf und detailliert diese anhand konkreter Prozessbeschreibungen. Außerdem ergänzt die Norm *Vertrags- und organisatorische Unterstützungsprozesse* als weitere Prozesskategorie, die zur erfolgreichen Ausführung des Entwicklungsprojekts erforderlich sind. Grundsätzlich ist bei der Einführung von Prozessen im Systems Engineering zu beachten, dass die eingeführte Norm durch die Zusammenführung verschiedener Best Practices einen guten Überblick bietet. Es ist jedoch erforderlich, die Prozesse stets an organisationspezifische Anforderungen sowie an externe, beispielsweise rechtliche, Randbedingungen anzupassen. Außerdem bedarf die Ausführung dieser SE-Prozesse konkrete Entwicklungstätigkeiten, wie bspw. die Definition der Systemschnittstellen als Teil der Architekturgestaltung.

In der aktuellen SE-Fachliteratur werden vermehrt Ansätze der Künstlichen Intelligenz diskutiert und vorgestellt, um die Ausführung verschiedener SE-Prozesse zu unterstützen, siehe bspw. /4/. Daher verfolgt dieser Beitrag die Zielstellung, anhand einer Literaturrecherche den Einsatz von KI zur Unterstützung von SE-Prozessen zu untersuchen. Hierbei wird folgende übergeordnete Forschungsfrage untersucht: *Welche SE-Prozesse können durch den Einsatz von KI unterstützt werden und was ist der konkrete Nutzen?* Ausgehend von dieser Forschungsfrage wurden folgende detailliertere Fragestellung abgeleitet:

- RQ1: Welche SE-Prozesse können durch KI unterstützt werden?
- RQ2: Bei welchen konkreten Entwicklungstätigkeiten kann KI den jeweiligen SE-Prozess unterstützen?
- RQ3: Welche Vorteile/Nutzen bietet die KI-Unterstützung?

Außerdem untersucht dieser Beitrag unterschiedliche Autonomiegrade Künstlicher Intelligenz bei der Ausführung von Entwicklungstätigkeiten. Hierbei wird insbesondere die Kollaboration zwischen Mensch und KI untersucht.

Technische Prozesse		Technische Management-Prozesse		Vertragsprozesse		
1	Geschäfts- oder Auftragsanalyse	8	Integration	1	Beschaffung	
2	Definition der Stakeholder-Bedarfe und -Anforderungen	9	Verifikation	2	Liederung	
3	Definition der Systemanforderungen	10	Übergabe	3	Organisatorische Unterstützungsprozesse	
4	Architektur-gestaltung	11	Validierung	4		1
5	Entwurf	12	Betrieb	5	2	Infrastruktur-management
6	Systemanalyse	13	Wartung	6	3	Portfoliomanagement
7	Umsetzung	14	Entsorgung	7	4	Personalmanagement
				8	5	Qualitätsmanagement
					6	Wissensmanagement

Abbildung 2: Systemlebenszyklusprozesse nach /3/

Der nachfolgende Abschnitt erläutert zunächst die Ergebnisse der durchgeführten Literaturrecherche und beantwortet grundlegend die aufgeworfenen Forschungsfragen.

Literaturrecherche: KI zur Unterstützung von SE-Prozessen

Die durchgeführte Literaturrecherche soll den Nutzen von KI bei der Ausführung von SE-Prozessen untersuchen. Tabelle 1 stellt das Ergebnis der Studie dar, indem die identifizierten SE-Prozesse und die konkreten Entwicklungstätigkeiten, bei denen KI unterstützen kann, sowie der resultierende Nutzen zusammengefasst werden. Grundlage für die Literaturstudie ist folgender Suchstring, der innerhalb von Google Scholar als Titel-Search angewendet wurde: *"Systems Engineering" AND "Artificial Intelligence" OR "AI"*.

Table 1: Ergebnis Literaturrecherche zum Einsatz von KI zur Unterstützung von SE-Prozessen

SE-Prozess (RQ1)	Entwicklungstätigkeiten (RQ2)	Vorteile/Nutzen (RQ3)	Ref.
Anforderungs-entwicklung	Anforderungen erfassen und formulieren; Anforderungen priorisieren und zusammenfassen; Qualitätsprüfung der Anforderungen (Mehrdeutigkeit, Inkonsistenzen); Analyse von Trace-Links und Änderungsauswirkungen	Schnellere Erhebung von Anforderungen; höhere Anforderungsqualität; frühe Fehlerentdeckung; bessere Nachverfolgbarkeit	/5/ /6/ /7/ /8/ /9/
(Modellbasierte) Architektur-entwicklung	Überführung natürlicher Sprache, Skizzen, Abbildungen in Modelle; Mustererkennung; Modellanalysen; Konsistenzprüfungen	Geringere Einstiegshürde; schnelleres Modellieren; konsistente Reviews; Modellwiederverwendung	/6/ /7/ /9/ /10/
Systementwurf	Bewertung von Entwurfsalternativen; generatives Design; Sensitivitäts-/ Robustheitsanalyse	Schnellere Auflösung von Zielkonflikten (Leistung/ Gewicht/ Kosten/ Energie); Schnellere Entscheidungsfindung	/8/ /11/ /13/
Integration	Kompatibilitätsprüfungen von Schnittstellen; Integrationsreihenfolge/-planung	Weniger Integrationsfehler; reduzierter Zeitaufwand; frühere Fehlerentdeckung; robustere Schnittstellen	/11/ /12/
Konfigurations-/ Änderungsmanagement	Change-Impact-Prognose; Versionierung von Cls, Daten und Modellen; Wahrung und Prüfung der Traceability	Bessere Compliance und Auditierbarkeit; sichere Updates/Rollbacks; bessere Impact-sichtbarkeit	/11/ /12/
Verifikation, Validierung & Absicherung	Generierte Testfälle, priorisierte Testfälle; Überprüfung von Modellen und Spezifikationen	Frühere Fehlerfindung; höhere Abdeckung mit weniger Tests; stärkere Evidenz/Vertrauen	/6/ /14/ /15/

Die in Tabelle 1 dargestellten Ergebnisse zeigen grundsätzlich auf, dass in der aktuellen Literatur KI überwiegend zur Unterstützung technischer SE-Prozesse eingesetzt wird, wie Anforderungs- und Architekturentwicklung sowie Integration und Verifizierung. Dabei unterstützt KI nicht die Ausführung des jeweiligen SE-Prozesses selbst, sondern wird zur Ausführung konkreter Entwicklungstätigkeiten eingesetzt, die zur Bearbeitung des SE-Prozesses beitragen, wie bspw. die Bewertung verschiedener Entwurfsalternativen innerhalb des Systementwurfs. Die Literaturanalyse zeigt jedoch auch auf, dass ebenfalls technische Managementprozesse, wie das Konfigurationsmanagement, mit KI unterstützt werden können. Dabei kann KI bspw. die durchgängige Versionierung von Konfigurations-Items (CIs), Daten und Modellen unterstützen, um somit die Fehlerhäufigkeit bei Updates zu reduzieren. Daher lässt sich grundlegend schlussfolgern, dass durch den Einsatz von KI die Ausführung konkreter Entwicklungstätigkeiten im Systems Engineering unterstützt werden kann und somit sowohl die Entwicklungseffizienz als auch die Entwicklungsqualität potenziell gesteigert werden können. Die dargestellten Ergebnisse können jedoch nicht als abschließend betrachtet werden, da die Literaturanalyse durch weitere Veröffentlichungen angereichert werden könnte und sich die verfügbaren KI-Technologien derzeit stark weiterentwickeln.

Die Anwendung von KI im Systems Engineering birgt auch Herausforderungen und Risiken. Erste Analysen zeigen, dass die automatisierte Erstellung von Systementwürfen oder Dokumentationen oft nicht alle Designaspekte, wie Herstellbarkeit, Rückverfolgbarkeit oder Konformität, berücksichtigt, was zu höheren Entwicklungsaufwänden in den folgenden Entwicklungsphasen führen kann /4,16/. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass bspw. die Entwicklung eines Systementwurfs immer als iterativer Prozess zu betrachten ist. Dies ist auch bei einer KI unterstützenden Entwicklung des Systementwurfs zutreffend. Diese Iterationen können sowohl eigenständig durch die KI als auch in Kooperation mit Entwicklern durchgeführt werden. Daher untersucht der folgende Abschnitt verschiedene Stufen der KI-Autonomie bei der Bearbeitung von Entwicklungstätigkeiten.

Autonomiestufen Künstlicher Intelligenz

Die durchgeführte Literaturstudie zeigt auf, dass KI bei vielfältigen Entwicklungstätigkeiten unterstützen kann. Dabei wird zunehmend deutlich, dass KI nicht nur als isolierte Automatisierungstechnologie dient, sondern zunehmend als aktiver Partner in die Ausführung von Entwicklungstätigkeiten integriert wird. Aktuelle Studien untersuchen daher die Zusammenarbeitsformen zwischen Mensch und KI-System und beschreiben dies als *Co-Creation*. Hierbei tragen menschliche Entwickler:innen und KI-Systeme gemeinsam unter verschiedenen Kooperationsstrategien (menschengeführt, maschinengeführt oder ausgewogen) zur Generierung, Bewertung und Auswahl von Designalternativen bei /17/. Hierzu lassen sich vier Stufen der KI-Autonomie unterscheiden /18/:

1. **Menschbasiertes Engineering.** Alle Entwicklungsschritte werden von den Entwickler:innen manuell durchgeführt. KI-Systeme dienen lediglich als passive Artefaktmanipulatoren, z.B. manuelle CAD-Modellierung. Die Planung, Analyse, Synthese und Entscheidungsfindung bleiben vollständig menschengesteuert.
2. **Erweiterte Engineering-Aufgaben.** Die Entwickler:innen behalten die Verantwortung für die Aufgabenplanung und Entwicklungsentscheidungen, während KI die definierten Teilaufgaben wie die regelbasierte Dimensionierung oder die automatisierte Überprüfung übernimmt. Die Automatisierung dieser Aufgaben kann sich auf vor- oder nachgelagerte Aufgaben auswirken; die Interpretation und Kontrolle verbleiben jedoch beim Menschen.
3. **Autonome Entwicklungsunterstützung.** Die Entwickler:innen definieren Ziele und Einschränkungen, während die KI die jeweiligen Teilaufgaben selbstständig plant und ausführt. Beispiele hierfür sind die LLM-basierte Analyse von Anforderungen zur Identifizierung von Lücken oder Inkonsistenzen. Das KI-System liefert kontextbezogene Rückmeldungen und Erklärungen, doch die endgültige Entscheidungsgewalt verbleibt beim Menschen.
4. **Mensch-KI-Co-Design.** Menschen und KI tragen gemeinsam zur Planung, Synthese, Analyse und Entscheidungsfindung bei. Generative KI-Systeme schlagen Architekturvarianten vor, bewerten deren Leistungsfähigkeit und erläutern Zielkonflikte, während adaptive KI-Assistenten Intentionen interpretieren und ihr Verhalten dynamisch anpassen. Die Verantwortung ist in dieser Autonomiestufe zwischen Mensch und KI verteilt.

Die eingeführten Autonomiestufen der KI veranschaulichen, wie sich die Initiative von menschlicher Dominanz schrittweise zu geteilter Kontrolle verlagert. Mit zunehmender Autonomie werden vorwärts- und rückwärtsgerichtete Aufgaben zunehmend miteinander verknüpft, und die KI entwickelt sich von einem passiven Aufgabenausführer zu einem aktiven, mitdenkenden Partner.

Zusammenfassung

Dieser Beitrag analysiert die Anwendung von KI zur Unterstützung von Systems Engineering-Prozessen und unterscheidet vier Kollaborationsformen zwischen Mensch und KI. Hierzu wurde eine Literaturrecherche durchgeführt, in der SE-Prozesse identifiziert und die konkrete KI-Unterstützung analysiert wurden. Außerdem werden die Vorteile bzw. der Nutzen der KI-Unterstützung für den jeweiligen SE-Prozess benannt. Anhand der Literaturanalyse konnte identifiziert werden, dass KI-Systeme sowohl die technische Systementwicklung als auch das Projektmanagement unterstützen können, indem konkrete Entwicklungstätigkeiten bei der Ausführung von SE-Prozessen teilweise oder vollständig automatisiert von

KI-Systemen ausgeführt werden. Um den Grad der KI-Autonomie zu bestimmen und zukünftig in der Produktentwicklung zu berücksichtigen, wurden vier Stufen der KI-Autonomie erläutert. Beginnend bei einer menschenbasierten Entwicklung, bei der die Verantwortung vollständig bei den Entwickler:innen liegt und die KI nur Artefaktanpassungen durchführt, bis hin zum Mensch-KI-Co-Design, in dem die Entwicklungsverantwortung und -tätigkeiten zwischen Menschen und KI verteilt sind. Zukünftige Forschungsarbeiten sollen insbesondere unterschiedliche Kollaborationsformen zwischen Mensch und KI bei der Ausführung von SE-Prozessen auf Grundlage der eingeführten Autonomiestufen untersuchen.

Literatur

- /1/ Walden, D.D.; Roedler, G.J.; Forsberg, K.; Hamelin, R.D.; Shortell, T.M.: Systems engineering handbook: A guide for system life cycle processes and activities, 4. Edition, Hoboken, NJ: Wiley, 2015, ISBN 9781118999400
- /2/ Ammersdörfer, T.; Inkermann, D.; Müller, J., et al. Supporting Systems Engineering Activities by Artifact-oriented Description and Selection of Methods, Proceedings of the Design Society, 2023, 3, 3245-3254. doi:10.1017/pds.2023.325
- /3/ ISO/IEC/IEEE: Systems and software engineering - System life cycle processes, ISO 15288, Düsseldorf, 2015
- /4/ Choudhury, M.M.; Eisenbart, B.; Kuys, B.: Artificial Intelligence (AI) in the Design Process – a Review and Analysis on Generative AI Perspectives, Proc. of the Design Society 5:631–40, 2025, DOI:10.1017/pds.2025.10077.
- /5/ Siddique, I.: Harnessing Artificial Intelligence for Systems Engineering: Promises and Pitfalls, European Journal of Advances in Engineering and Technology, 2022, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4885910>
- /6/ Berardinelli, L et al.: Model Driven Engineering, Artificial Intelligence, and DevOps for Software and Systems Engineering: A Systematic Mapping Study of Synergies and Challenges, ACM Trans. Softw. Eng. Methodol., 2025, <https://doi.org/10.1145/3759454>
- /7/ Poulsen, V. V.; Guertler, M.; Eisenbart, B.; Sick, N.: Advancing systems engineering with artificial intelligence: a review on the future potential, challenges and pathways, Proceedings of the Design Society, 5, 359–368, 2025, DOI:10.1017/pds.2025.10050
- /8/ John, A.; Oosthuizen, R.; Fanta, G.: Artificial Intelligence Integration in Systems Engineering: Navigating Opportunities and Risks Across The System Lifecycle, SAIE34, Vanderbijlpark, South Africa, DOI:10.52202/078172-0039.
- /9/ Cotter, M.; Markina-Khusid, A.; Gadewadikar, J.; Hadjimichael, M.: Applications of Artificial Intelligence to Model Based Systems Engineering: Initial Case Studies, IEEE Aerospace Conference, Big Sky, MT, USA, 2025, pp. 1-7, 2025, DOI: 10.1109/AERO63441.2025.11068562.
- /10/ Hagedorn, T.; Bone, M.; Kruse, B.; Grosse, I.; Blackburn, M.: Knowledge Representation with Ontologies and Semantic Web Technologies to Promote Augmented and Artificial Intelligence in Systems Engineering, INSIGHT, 15-20, 2020, <https://doi.org/10.1002/inst.12279>
- /11/ Adeyeye, O.; Akanbi, I.: Artificial Intelligence For Systems Engineering Complexity: A Review On The Use Of Ai And Machine Learning Algorithms, Computer Science & IT Research Journal, 5, 787-808, 2024, DOI:10.51594/csitrj.v5i4.1026.

- /12/ Yu, Y.; Lakemond, N.; Holmberg, G.: AI in the Context of Complex Intelligent Systems: Engineering Management Consequences, IEEE Transactions on Engineering Management, vol. 71, pp. 6512-6525, 2024, DOI: 10.1109/TEM.2023.3268340
- /13/ Schneider, B.; Riedel, O.; Bauer, W.: Review: Model-based Systems Engineering and Artificial Intelligence for Engineering of Sustainable Systems – What contribution can systems engineering and artificial intelligence provide for the engineering of sustainable systems as of today?, Schriftenreihe der WGAB, S. 37-59, 2022, https://doi.org/10.30844/WGAB_2022_3
- /14/ Lockett, J. et al.: Systems Engineering Processes to Test AI Right (SEPTAR), IEEE Autotestcon, National Harbor, USA, 2024, pp. 1-10, DOI: 10.1109/AU-TOTESTCON47465.2024.10697513.
- /15/ Raz, A.K.; Blasch, E.P.; Chang, K.: A Systems Engineering Perspective on AI Test and Evaluation: Explainability and Counterfactuals, ISIF Perspectives On Information Fusion, 7, pp. 13 – 19, 2024
- /16/ Yüksel, N.; Börklü, H.R.; Sezer, H.K.; Canyurt, O.E.: Review of Artificial Intelligence Applications in Engineering Design Perspective. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 118, 2023, DOI:10.1016/j.engappai.2022.105697.
- /17/ Ma, K. et al.: Human-AI Collaboration Among Engineering and Design Professionals: Three Strategies of Generative AI Use, Int. Conf. on Design Theory and Methodology (DTM), Washington, DC, USA: American Society of Mechanical Engineers, 2024.
- /18/ Inkermann, D.: Rethinking design methods in the age of AI - Consequences for practice, education, and research, Design Conference, Dubrovnik, 2026 (Status: in review)