



Das Verständnis des Begriffs „technische Änderung“ in der Karlsruher Schule für Produktentwicklung

Albert Albers¹ · Alex Martin¹ · Moritz Altner² · Lars Gesmann¹ · Tobias Düser¹

Eingegangen: 29. Juli 2025 / Angenommen: 14. Oktober 2025 / Online publiziert: 7. November 2025
© The Author(s) 2025

Zusammenfassung

Technische Änderungen sind ein zentraler Bestandteil der Produktentwicklung. Mit der zunehmenden Komplexität moderner Produkte und Entwicklungsprozesse wird der Umgang mit technischen Änderungen jedoch zunehmend herausfordernd. Sie stellen nicht nur bedeutende Kosten- und Risikotreiber dar, sondern sind zugleich ein wesentliches Instrument zur Stärkung des Innovationspotenzials von Unternehmen. Eine zentrale Voraussetzung für einen effektiven Umgang mit technischen Änderungen ist ein einheitliches Begriffsverständnis innerhalb der Organisation. Trotz ihrer hohen Relevanz existiert bislang weder in der Literatur noch innerhalb der Karlsruher Schule für Produktentwicklung (KaSPro) ein konsistentes und allgemein anerkanntes Verständnis des Begriffs „technische Änderung“. Ziel dieser Arbeit ist es, auf Basis der in KaSPro verankerten Ansätze, Prozesse und Modelle ein konsistentes Begriffsverständnis zu entwickeln. Hierzu werden relevante Aspekte innerhalb der KaSPro identifiziert, bestehende Definitionen aus der Literatur hinsichtlich ihrer Eignung analysiert und ein Begriffsrahmen vorgeschlagen. Das entwickelte Begriffsverständnis verortet technische Änderungen disziplinübergreifend über den gesamten Produktlebenszyklus und berücksichtigt deren system- sowie entwicklungsgenerationsübergreifenden Charakter. Damit leistet diese Arbeit einen wesentlichen Beitrag zur Schaffung eines ganzheitlichen Verständnisses technischer Änderungen im Kontext komplexer Entwicklungsprozesse.

1 Technische Änderungen und ihre Bedeutung im Produktentstehungsprozess

Technische Änderungen sind im Produktentstehungsprozess allgegenwärtig. Sie vereinnahmen einen nicht zu vernachlässigbaren Anteil der Entwicklungskosten und können

große Risikotreiber sein. Auf der anderen Seite sind technische Änderungen und das dazugehörige Management unverzichtbare Instrumente, um das Innovationspotential von Produkten und Systemen zu stärken, und damit ein Erfolgsfaktor für viele Unternehmen. Ein guter Umgang mit technischen Änderungen erscheint damit alternativlos. Doch was sind technische Änderungen und wo treten sie im Produktentstehungsprozess auf?

Die globalen Megatrends sind das Spiegelbild sozioökonomischer Veränderungen und technologischen Fortschritts [1]. Sie prägen entscheidend die technischen Systeme der Gegenwart und der Zukunft und sind gleichzeitig unerschöpfliche Treiber für die zunehmende Komplexität moderner Produkte und ihrer Entwicklungsprozesse [1, 2]. Ganz konkret lässt sich die stetig steigende Komplexität am Beispiel eines modernen Fahrzeugs darstellen. Denn neben der zunehmenden Elektronik hat sich insbesondere die Komplexität von Softwarefunktionen bei Fahrzeugen in den letzten zehn Jahren in etwa verdreifacht [3]. Diese Entwicklung stellt Unternehmen vor große Herausforderungen und hat auch im technischen Änderungsmanagement einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss [4]. So können Änderungsauswirkungen aufgrund komplexer Abhängigkeiten nicht mehr von einzelnen Personen überblickt werden und

✉ Alex Martin
alex.martin@kit.edu

Albert Albers
albert.albers@kit.edu

Moritz Altner
moritz_magnus.altner@mercedes-benz.com

Lars Gesmann
lars.gesmann@kit.edu

Tobias Düser
tobias.dueser@kit.edu

¹ IPEK – Institut für Produktentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe, Deutschland

² Mercedes-Benz PKW Entwicklung, Mercedes-Benz AG, Sindelfingen, Deutschland

die Wahrscheinlichkeit für eine unvorhersehbare Folgeänderungen wächst mit der Komplexität eines technischen Systems [5].

Technische Änderungen treten im iterativen und hochdynamischen Produktentstehungsprozess [6] in großer Zahl auf [7]. Da die allermeisten Produkte und Systeme in Generationen entwickelt werden [8], finden technische Änderungen nicht nur innerhalb einer Systemgeneration zwischen verschiedenen Entwicklungsgenerationen statt, sondern sind auch generationsübergreifend vorzufinden. Bedingt durch die enge Vernetzung des technischen Änderungsmanagements im Produktentstehungsprozess sind technische Änderungen oft disziplin- und domänenübergreifend [9]. Die genannten Umstände führen dazu, dass technische Änderungen hohe Risiken [10], aber auch enorm hohe Kosten sowie einen hohen zeitlichen Aufwand – etwa 20 bis 30 % der verfügbaren Entwicklungsressourcen [10, 11] – in der Produktentstehung verursachen.

Doch neben den erheblichen Herausforderungen, die technische Änderungen mit sich bringen, sind sie zusammen mit dem dazugehörigen Änderungsmanagement ein entscheidender Erfolgsfaktor im Produktentstehungsprozess [12]. Denn das technische Änderungsmanagement dient als wichtiges Instrument, um auf Änderungen im technologischen, organisatorischen und prozessualen Umfeld reagieren zu können und damit das Innovationspotential von Entwicklungsprojekten zu stärken [6].

Ein erfolgreicher Umgang mit technischen Änderungen trägt somit maßgeblich dazu bei, wettbewerbsfähige Produkte zu realisieren und einen langfristigen, nachhaltigen Unternehmenserfolg zu sichern. Voraussetzung hierfür ist – neben geeigneten Prozessen und Methoden – eine gemeinsame Sprache innerhalb der Organisation [13]. Diese bildet eine notwendige Grundlage für eine konsistente, disziplin- und domänenübergreifende Kommunikation zwischen allen Akteuren innerhalb des Produktentstehungsprozesses.

In der Literatur wird der Begriff „technische Änderung“ sehr heterogen beschrieben, wodurch es kein allgemein gültiges Verständnis für diesen Begriff gibt [9]. Ziel dieses theoriebildenden Beitrags ist es daher, ein konsistentes Verständnis für den Begriff „technische Änderung“ im Rahmen der Modelle, Methoden und Prozesse der Karlsruher Schule für Produktentwicklung (KaSPro) zu erarbeiten. Zugleich soll ein Vorgehen für die Herleitung einer Begriffsbestimmung für technische Änderungen im Geltungsbereich einer Organisation aufgezeigt werden.

2 Technische Änderungen aus der Perspektive der Karlsruher Schule für Produktentwicklung – KaSPro

Ein Produkt durchläuft während seiner gesamten Existenz unterschiedliche Phasen, wie etwa die Produktentstehung, Fertigung oder Nutzung – dieser Verlauf wird als Produktlebenszyklus bezeichnet [14]. Technische Änderungen treten besonders häufig während des Produktentstehungsprozesses auf, sind jedoch auch in anderen Phasen des Produktlebenszyklus, wie der Fertigung oder Nutzung, zu beobachten [15].

Technische Änderungen treten nicht unvermittelt auf sondern werden durch Soll-Ist-Abweichungen ausgelöst, die nach einer Bewertung auf einen hinreichenden Grund für die Änderung hindeuten [16, 17]. Hinter einem Änderungsauslöser, der sich als Symptom äußert, lassen sich eine oder mehrere Ursachen identifizieren. Für die Identifikation von relevanten Ursachen können Fehlerbaumanalysen durchgeführt werden [17].

Beim Umgang mit technischen Änderungen werden verschiedene Modelle, Methoden, Prozesse und Ansätze eingesetzt, die Entwicklerinnen und Entwickler bei ihren Analyse- und Syntheseaktivitäten im Produktentstehungsprozess unterstützen [18]. Da mit diesem Beitrag der Begriff der technischen Änderung innerhalb der Forschungsumgebung des IPEK – Institut für Produktentwicklung analysiert und beschrieben werden soll, werden im Folgenden relevante Modelle, Prozesse und Methoden der KaSPro beleuchtet und technische Änderungen aus diesem Blickwinkel thematisiert.

Technische Änderungen stellen im Kontext eines Unternehmens nur einen Teil an möglichen Änderungen dar. Neben technischen Änderungen müssen Unternehmen auch mit ökonomischen, organisationalen, kulturellen und sozialen Änderungen umgehen können [6, 15]. Dies zeigt die Bandbreite an Themen auf, die dem Änderungsmanagement zugeordnet werden können. Der Fokus dieses Beitrags richtet sich jedoch ausschließlich auf technische Änderungen (Englisch: engineering change), die für die Produktentstehung eine essentielle Rolle spielen.

Wie bereits erwähnt, umfasst die Produktentstehung einen Teil des Produktlebenszyklus und beschreibt den Prozess von der Produktidee bis zum Serienanlauf [19]. Diese Phase beinhaltet drei Hauptaufgabenbereiche: strategische Produktplanung, Produktentwicklung und Produktionssystementwicklung [14, 19]. In allen drei Bereichen treten technische Änderungen auf, die einen maßgeblichen Einfluss auf die Eigenschaften des Produktes haben [9, 15]. Zur Beschreibung des Produktentstehungsprozesses werden verschiedene Modelle verwendet. In der KaSPro wird dafür das integrierte Produktentstehungsmodell (iPeM) herange-

zogen. Es basiert auf der Systemtheorie der Technik nach Ropohl sowie dem ZHO-Modell [6].

Mit der Systemtheorie nach Ropohl [20] können technische Systeme durch drei Konzepte beschrieben werden: funktionales, struktureles und hierarchisches Konzept. Das funktionale Konzept betrachtet das System als eine „Black Box“. Mit dem Fokus auf das Systemverhalten werden die von außen wahrnehmbaren Zustände und die Interaktion mit der Umwelt durch die Ein- und Ausgangsgrößen des Systems beschrieben. Das strukturelle Konzept beschreibt den Umstand, dass ein System die Gesamtheit seiner Elemente darstellt und damit mehr ist als nur die Summe der Elemente. Für die Erfassung der Ganzheit eines Systems ist ebenfalls die Berücksichtigung der Relationen zwischen den Elementen vonnöten. Das hierarchische Konzept zeigt, dass jedes System aus Subsystemen besteht und gleichzeitig als Teil eines Supersystems verstanden werden kann. Somit lässt sich ein System je nach Wahl der Systemgrenze als Supersystem oder Subsystem betrachten.

Änderungen, die innerhalb eines der drei genannten Konzepte auftreten, können als technische Änderungen betrachtet werden und damit Teilsysteme, Relationen zwischen den Teilsystemen, aber auch Zustände oder In- und Outputs eines (Sub-)Systems betreffen.

Um die Produktentstehung aus einer systemtheoretischen Perspektive zu betrachten, ist die Erstellung von Modellen von großer Notwendigkeit. Nach Stachowiak handelt es sich bei einem Modell um eine abstrahierte Darstellung der Wirklichkeit. Solche Modelle weisen drei zentrale Eigenschaften auf [21]:

- **Abbildungsmerkmal:** Modelle stellen Abbildungen oder Repräsentationen von Originalen dar, wobei diese Originale selbst ebenfalls Modelle sein können.
- **Verkürzungsmerkmal:** Modelle beschränken sich in der Regel auf die für den jeweiligen Zweck oder die Nutzen relevanten Eigenschaften des Originals und berücksichtigen nicht alle Merkmale.
- **Pragmatisches Merkmal:** Modelle übernehmen eine Ersatzfunktion für Nutzende, wobei diese Funktion auf einen bestimmten Zeitraum und spezifische gedankliche oder praktische Vorgänge begrenzt ist.

Nach Albers [22] kann der Produktentstehungsprozess als ein komplexes System beschrieben werden, das aus drei Subsystemen besteht: dem Zielsystem (Z), dem Handlungssystem (H) und dem Objektsystem (O). Die ursprüngliche Einteilung in diese drei Systeme geht auf Ropohl [20] zurück, der das Systemtripel als einen Regelkreis im Produktentwicklungsprozess beschreibt.

Das Konzept des Systemtripels wird als ZHO-Modell bezeichnet und weist alle drei Modelleigenschaften nach Stachowiak auf. Das Zielsystem umfasst sämtliche Ziele und Rahmenbedingungen für ein Produkt sowie deren Wech-

selwirkungen. Es wird zu Beginn der Entwicklung initial festgelegt und im Laufe des Produktentstehungsprozesses kontinuierlich erweitert und präzisiert. Im Handlungssystem sind die erforderlichen Ressourcen, Aktivitäten, Methoden und Prozesse zusammengefasst, die für die Umsetzung der Produktentstehung notwendig sind. Dieses System wird als sozio-technisches System betrachtet. Das Objektsystem beinhaltet das endgültige Produkt sowie alle während des Entstehungsprozesses erzeugten Artefakte, wie Dokumente oder Modelle [23].

Durch den Einsatz moderner Technologien zur Rückverfolgung von Produktions- und Nutzungsdaten eröffnen sich neue Potenziale für die Produktentwicklung. Relevante Betriebs- und Zustandsinformationen können gezielt in den Entwicklungsprozess nachfolgender Produktgenerationen zurückgeführt und als Bestandteile des Objektsystems genutzt werden. Dadurch lassen sich auch bereits im Markt befindliche Produkte und Systeme dem Objektsystem zuordnen.

Technische Änderungen können im Rahmen des ZHO-Modells sowohl im Objektsystem: z. B. Änderungen am Produkt, Änderungen der Modelle oder Änderungen der Dokumente, als auch im Zielsystem: Änderungen der Ziele oder Rahmenbedingungen auftreten. Die dafür notwendigen Analyse- und Syntheseaktivitäten werden durch das Handlungssystem durchgeführt. Zudem können sich technische Änderungen auch auf das Handlungssystem ausweiten oder auch durch Änderungen im Handlungssystem ausgelöst werden.

Basierend auf der Systemtheorie nach Ropohl [20] und dem ZHO-Modell beschreibt das iPeM die Produktentstehung als Überführung des Zielsystems in ein Objektsystem durch ein Handlungssystem. Das iPeM kombiniert einen statischen Teil mit Aktivitäten der Produktentstehung und einen dynamischen Teil in Form eines Phasenmodells. Die Aktivitäten der Produktentstehung werden in Basisaktivitäten und Kernaktivitäten unterteilt. Basisaktivitäten werden zur Unterstützung anderer Aktivitäten im Produktentstehungsprozess wiederkehrend und parallel durchgeführt. Eine von vier Basisaktivitäten ist die Aktivität „Änderungen managen“. Kernaktivitäten hingegen können auf beliebige Produktentstehungsprozesse angewandt werden und können je nach Betrachtungsebene unterschiedlich ausfallen [6].

Zur Präzisierung von Basis- und Kernaktivitäten wird die SPALTEN-Problemlösungsmethodik verwendet [6]. Die SPALTEN-Methodik bietet einen universellen Ansatz zur Lösung von Problemen, die sich durch verschiedene Rahmenbedingungen und unterschiedliche Grade an Komplexität auszeichnen, und kann deswegen auch im Umgang mit Änderungen verwendet werden [24, 25]. Der Name der Methodik ist ein Akronym, das sich aus den sieben Schritten des Problemlösungsprozesses zusammensetzt:

Situationsanalyse, Problemeingrenzung, alternative Lösungen, Lösungsauswahl, Tragweitenanalyse, Entscheiden und Umsetzen sowie Nachbereiten und Lernen [25].

Das iPeM ermöglicht nicht nur die Beschreibung der Entstehung eines Produktes, sondern auch die parallele Entwicklung eines zugehörigen Validierungs- und Produktionssystems, der Strategie sowie weiterer Produktgenerationen [6, 26]. Dadurch wird die gleichzeitige Entwicklung dieser Systeme verdeutlicht und eine integrierte Modellierung der jeweiligen Entstehungsprozesse ermöglicht. Innerhalb dieser Ebenen werden sowohl Kern- als auch Basisaktivitäten durchgeführt, einschließlich der Basisaktivität „Änderungen managen“.

Aus der Modellbildung ergibt sich, dass technische Änderungen nicht nur am Produkt selbst sowie an dessen Modellen und Dokumentationen auftreten können, sondern auch in anderen für die Produktentstehung relevanten Bereichen – etwa im Produktionssystem, im Validierungssystem oder in der strategischen Produktplanung –, wo sie ebenfalls berücksichtigt und gehandhabt werden müssen.

Wie bereits erläutert, bildet das iPeM nicht nur den Entstehungsprozess des Produktes oder des Produktionssystems ab, sondern lässt sich auch auf den Entstehungsprozess von Produkt- und Systemgenerationen anwenden. Die Berücksichtigung von Generationen ist von besonderer Relevanz, da alle Produkte, auch jene, die sich als Innovationen auf dem Markt durchgesetzt haben, stets auf der Grundlage von Referenzen entwickelt werden [8, 27]. Das Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung nach Albers ermöglicht die Beschreibung dieser Beobachtung. Dabei sind die Elemente des Referenzsystems existierende oder geplante soziotechnische Systeme, die für die Entwicklung neuer Systemgenerationen als Ausgangsbasis dienen [28].

Der Entwicklungsprozess beginnt in der Regel mit der Identifikation und Auswahl geeigneter Referenzsystemelemente. Die Ausgestaltung des Referenzsystems ist dabei als ein kreativer und konzeptionell entscheidender Schritt innerhalb der frühen Phase der Produktentstehung zu verstehen.

Die Gestaltung und Weiterentwicklung neuer Systeme erfolgt durch die Variation von Elementen des Referenzsystems. Dabei werden drei Variationsarten unterschieden: Übernahmevariation (ÜV), Ausprägungsvariation (AV) und Prinzipvariation (PV) [29]. Die Anteile der einzelnen Variationen einer Generation können berechnet und damit Übernahme- und Neuentwicklungsanteile transparent dargestellt werden [27].

Das Modell der SGE ermöglicht auch die Beschreibung des eigentlichen Entwicklungsprozesses einer Systemgeneration. Mithilfe von Entwicklungsgenerationen werden dabei verschiedene Entwicklungsinkremente mit wachsendem Reifegrad abgebildet. Deren Entwicklung erfolgt wiederum

auf Basis von Variationen der zugehörigen Referenzsystemelemente [8, 29].

Mit seiner realitätsnahen Beschreibung der Produktentwicklung wird das Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung als Grundlage für eine Vielzahl von Methoden verwendet. Dazu gehören auch Ansätze aus dem Feld des technischen Änderungsmanagements [24, 30, 31]. Da technische Änderungen zur Reifegraderhöhung eines Systems beitragen, können technische Änderungen im Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung als Variation oder Cluster von Variationen eines oder mehrerer Referenzsystemelemente der vorliegenden Entwicklungs- oder Systemgeneration beim Übergang in die folgende Entwicklungs- oder Systemgeneration verstanden werden. Dabei werden nicht nur Variationen innerhalb einer Systemgeneration, sondern auch generationsübergreifende Variationen – also Variationen von Referenzsystemelementen der aktuellen Systemgeneration beim Übergang zur nächsten – ebenfalls als technische Änderungen gesehen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass technische Änderungen und die damit verbundenen Aktivitäten mithilfe der vorgestellten Modelle, Methoden und Prozesse der KaSPro beschrieben werden können. Allerdings fehlt innerhalb der KaSPro ein einheitliches Begriffsverständnis für technische Änderungen, die all diese Aspekte zusammenführt.

3 Verständnis des Begriffs „technische Änderungen“ aus dem Stand der Forschung

In vorangegangenen Abschnitten wurden wichtige Aspekte technischer Änderungen aus der Perspektive der KaSPro beschrieben. Im nächsten Schritt wird das Verständnis dieses Begriffs aus dem aktuellen Stand der Forschung beleuchtet. Wie bereits erwähnt, existiert keine einheitliche Definition für den Begriff „technische Änderung“. Existierende Definitionen unterscheiden sich unter anderem hinsichtlich des betroffenen Objekts, des Zeitpunktes der Änderung im Lebenszyklus, der angestrebten Wirkung sowie der eingesetzten Ressourcen und Prozesse. Um die Vielfalt der Definitionen im Hinblick auf technische Änderungen zu verdeutlichen, werden im Folgenden zentrale Begriffsverständnisse exemplarisch aufgezeigt:

Huang et al. [32, S. 481] definieren technische Änderungen (eigene Übersetzung) als „Änderungen und/oder Modifikationen an Passungen, Funktionen, Werkstoffen, Abmessungen usw. eines Produkts und seiner Bestandteile, nachdem der Entwurf freigegeben wurde.“

Jarratt et al. [12, S. 268] definieren eine technische Änderung (eigene Übersetzung) als „eine Änderung von Teilen, Zeichnungen oder Software, die bereits während des Pro-

duktentwicklungsprozesses freigegeben wurden. Die Änderung kann von beliebiger Größe oder Art sein; sie kann eine beliebige Anzahl von Personen betreffen und beliebig viel Zeit in Anspruch nehmen“

Hamraz et al. [9] haben im Rahmen ihrer Untersuchung von 427 Veröffentlichungen im Engineering Change Management festgestellt, dass keine der betrachteten Definitionen von technischen Änderungen umfassend und eindeutig genug ist. „Umfassend“ bezieht sich auf den Umfang der Definition und die Abdeckung des Lebenszyklus. „Eindeutig“ bezieht sich auf die Unterscheidung von technischen Änderungen und Design-Iterationen. Um diese Definitionslücke zu schließen, definieren sie technische Änderungen (eigene Übersetzung) als „Änderungen und/oder Modifikationen der freigegebenen Struktur (Passungen, Formen und Abmessungen, Oberflächen, Werkstoffe usw.), des Verhaltens (Stabilität, Festigkeit, Korrosion usw.), der Funktion (Geschwindigkeit, Leistung, Effizienz usw.) oder der Beziehungen zwischen Funktionen und Verhalten (Konstruktionsprinzipien) oder Verhalten und Struktur (physikalische Gesetze) eines technischen Artefakts“ ([9, S. 475], eigene Übersetzung).

Langer [33, S. 513] beschreibt eine technische Änderung als „eine Zustandsveränderung von Produktmodellen, die bereits für die weitere Entwicklung oder Produktion freigegeben sind, zum Zweck der Eigenschaftsveränderung des Produkts unter Einsatz von Zeit und Ressourcen für den Änderungsvorgang“.

Wickel [34, S. 10] sieht technische Änderungen als „Modifikationen an Produkten, Produktmodellen sowie zugehörigen Bestandteilen, unter Anwendung eines definierten Änderungsprozesses, nachdem diese für die weitere Entwicklung und Produktion freigegeben sind“.

Die betrachteten Definitionen verdeutlichen die Bandbreite möglicher Sichtweisen auf den Begriff „technische Änderung“. Je nach Autor und Definition stehen unterschiedliche Aspekte im Fokus, wie zum Beispiel das Änderungsobjekt, dessen Status, der Änderungsgrad, Änderungsprozesse, die benötigten Ressourcen oder auch die Phase im Produktlebenszyklus, in der die Änderung erfolgt.

Für die Herleitung einer geeigneten Definition des Begriffs „technische Änderung“ im Forschungskontext der KaSPro sollten daher alle relevanten Aspekte berücksichtigt werden, die sich aus den Methoden, Modellen und Prozessen der KaSPro ableiten lassen.

4 Forschungsbedarf und Forschungsfragen

Aus den vorangegangenen Abschnitten wird deutlich, dass technische Änderungen sowohl relevante Kosten- und Risikotreiber darstellen als auch maßgeblich zur Erhöhung des Reifegrads in der Produktentstehung beitragen. Sie bilden

einen zentralen Bestandteil der Produktentwicklung und treten über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg in allen Phasen in großer Zahl auf.

Vor dem Hintergrund dieser Relevanz ist ein effektiver und konsistenter Umgang mit technischen Änderungen unabdingbar. Zur Beschreibung und Unterstützung des Produktentstehungsprozesses werden in der KaSPro verschiedene Ansätze, Methoden und Modelle eingesetzt, in denen sich sowohl technische Änderungen als auch die damit verbundenen Aktivitäten abbilden lassen.

Ein effektiver und konsistenter Umgang mit technischen Änderungen setzt jedoch ein einheitliches Begriffsverständnis voraus. Nur auf dieser Grundlage kann ein gemeinsames Verständnis zwischen den Beteiligten gefördert werden.

Trotz der hohen Relevanz existiert jedoch weder innerhalb der KaSPro noch in der einschlägigen Literatur eine allgemeingültige Definition des Begriffs „technische Änderung“. Auch innerhalb der KaSPro liegt bislang kein systematisches Begriffsverständnis vor, das die zugrundeliegenden Modelle und Denkweisen integriert.

Um dieser identifizierten Forschungslücke zu begegnen, werden zunächst die in der KaSPro relevanten Aspekte des Begriffs „technische Änderung“ ermittelt und dahingehend analysiert, inwieweit diese in den bestehenden Definitionen bereits berücksichtigt sind. Anschließend wird eine Begriffsbestimmung vorgeschlagen, die alle identifizierten Aspekte integriert. Im Folgenden werden dazu die entsprechenden Forschungsfragen formuliert.

FF 1: Welche Aspekte sind für ein Verständnis des Begriffs „technische Änderung“ im Forschungsumfeld der KaSPro relevant?

FF 2: In welchem Umfang werden die in FF 1 identifizierten Aspekte in existierenden Definitionen des Begriffs „technische Änderung“ berücksichtigt?

FF 3: Wie lässt sich eine Begriffsbestimmung für „technische Änderung“ formulieren, die alle identifizierten Aspekte berücksichtigt und ein ganzheitliches Verständnis ermöglicht?

5 Relevante Aspekte für ein Verständnis des Begriffs „technische Änderungen“ in der KaSPro

Für ein konsistentes und ganzheitliches Verständnis des Begriffs „technische Änderung“ im Forschungskontext der KaSPro werden relevante Aspekte aus den in vorangegangenen Abschnitten vorgestellten Methoden, Modellen und Prozessen systematisch abgeleitet. Insbesondere werden das iPeM, das ZHO-Modell sowie das Modell der SGE für die Ableitung von Aspekten für die Begriffsbestimmung herangezogen. Ein Aspekt wird als relevant eingestuft, sobald er

zur Förderung des Begriffsverständnisses von technischen Änderungen im Kontext der KaSPro beiträgt.

Abgrenzung des Begriffs „technische Änderung“

Die KaSPro differenziert in der Produktentstehung zwischen technischen, ökonomischen, organisationalen, kulturellen und sozialen Änderungen. Technische Änderungen zeichnen sich dadurch aus, dass sie unmittelbar die Beschaffenheit eines Produkts oder Systems beeinflussen.

Phasen im Produktlebenszyklus

Der Produktlebenszyklus umfasst alle relevanten Phasen eines Produktes im Laufe seiner Existenz. Technische Änderungen können dabei in jeder Phase des Produktlebenszyklus auftreten.

Bereichsübergreifende Änderungen

Wie bereits dargelegt, können Änderungen nicht nur innerhalb eines Produkts auftreten, sondern auch beispielsweise im zugehörigen Produktions- oder Validierungssystem. Das iPeM, ein zentraler Bestandteil der KaSPro, ermöglicht die Beschreibung technischer Änderungen in den Bereichen der Produkt-, Produktionssystem- und Validierungssystementwicklung sowie in der strategischen Produktplanung.

Klassifizierung der Änderung

Für die umfassende Beschreibung technischer Änderungen ist die Bestimmung der Art der Änderung unerlässlich. Das Modell der SGE stellt hierfür drei Variationsarten bereit, die zur Klassifizierung technischer Änderungen herangezogen werden können.

Entwicklungsgenerationen

Weiterhin bietet das Modell der SGE mit Entwicklungsgenerationen ein geeignetes Instrument, um Entwicklungskremente innerhalb einer Systemgeneration zu beschreiben. Variationen, die zwischen einzelnen Entwicklungsgenerationen stattfinden, können als technische Änderungen betrachtet werden.

Systemgenerationen

Darüber hinaus beschreibt das Modell der SGE auch den Übergang zwischen zwei oder mehreren Systemgenerationen, die sich in der Entwicklung oder schon in der Nutzung befinden. Auch hier können technische Änderungen mit Hilfe des Modells der SGE als Variationen von Referenzsystemelementen beschrieben werden.

Referenzsystemelemente

Auf Basis des Modells der SGE lässt sich jede technische Änderung als Variation mindestens eines Referenzsystemelements beschreiben. Hierbei ist insbesondere die Herkunft des Referenzsystemelements relevant. Abhängig vom Ursprung des jeweiligen Elements kann das dazu vorhandene Wissen im Team, das sich mit der technischen Änderung befasst, unterschiedlich ausgeprägt sein.

Grad der Änderung

Ein weiterer zentraler Aspekt zur Beschreibung von technischen Änderungen ist der Änderungsgrad, der im SGE-

Modell in Form von Variationsanteilen als Übernahme-, Ausprägungs- oder Prinzipvariation dargestellt werden kann.

Objekt-, Ziel- und Handlungssystem

Das ZHO-Modell kann ebenfalls zur Beschreibung technischer Änderungen herangezogen werden. Dabei können Änderungen sowohl im Objektsystem als auch im Zielsystem auftreten. Zudem können sich technische Änderungen auch auf das Handlungssystem ausbreiten oder durch Änderungen im Handlungssystem ausgelöst werden. Die Umsetzung technischer Änderungen erfolgt stets durch Analyse- und Syntheseaktivitäten im Handlungssystem – also durch Menschen, Methoden und Ressourcen innerhalb des sozio-technischen Entwicklungsprozesses.

6 Bewertung der Eignung bestehender Definitionen für den Begriff „technische Änderung“ im Forschungskontext der KaSPro

Nachdem relevante Aspekte für ein umfassendes Verständnis des Begriffs „technische Änderung“ im Forschungs- und Entwicklungsumfeld der KaSPro identifiziert wurden, dienen diese als Grundlage zur Analyse bestehender Definitionen aus der Literatur. Ziel ist es, zu untersuchen, inwieweit die vorhandenen Definitionen zur Klärung des Begriffs im Hinblick auf die identifizierten Aspekte beitragen.

Keine der in Abschn. 3 vorgestellten Definitionen differenziert explizit zwischen technischen Änderungen und anderen Arten von Änderungen, die im Produktentstehungsprozess vorkommen können. Die Notwendigkeit einer klaren begrifflichen Abgrenzung wird im Stand der Forschung bislang nicht berücksichtigt.

Auch der Umstand, dass technische Änderungen in allen Phasen des Produktlebenszyklus auftreten können, wird von keiner Definition hinreichend adressiert. Lediglich bei Wickel [34] finden die Phasen Entwicklung und Produktion Erwähnung. Ein ganzheitlicher Lebenszyklusbezug fehlt jedoch bei allen betrachteten Definitionen.

Der Aspekt, dass Änderungen nicht nur am Produkt selbst, sondern auch an allen für die Produktentstehung relevanten Systemen – wie etwa Produktions- oder Validierungssystemen – erfolgen können, wird vereinzelt aufgegriffen. In den Definitionen von Wickel [34] sowie Huang et al. [32] wird dies insofern angesprochen, als dass dort allgemein von Änderungen an Produktbestandteilen gesprochen wird, ohne jedoch zu konkretisieren, welche Bestandteile gemeint sind. Hamraz et al. [9] greifen diesen Aspekt lediglich implizit auf, indem sie von Änderungen an technischen Artefakten sprechen. Eine explizite Berücksichtigung bereichsübergreifender Änderungen, wie sie im iPeM vorgesehen ist, fehlt in allen Definitionen.

Tab. 1 Bewertung bestehender Definitionen des Begriffs „technische Änderung“ im Kontext forschungsrelevanter Aspekte aus dem KaSPro-Umfeld

	Huang et al.	Jarratt et al.	Hamraz et al.	Langer	Wickel
Abgrenzung des Begriffs „technische Änderung“	x	x	x	x	x
Phasen im Produktlebenszyklus	x	x	x	x	(✓)
Bereichsübergreifende Änderungen	x	(x)	(x)	(x)	(✓)
Klassifizierung der Änderung	x	(x)	(x)	x	x
Entwicklungsgenerationen	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)
Systemgenerationen	x	x	x	x	x
Referenzsystemelemente	x	x	x	x	x
Grad der Änderung	x	(✓)	x	x	x
Objekt-, Ziel- und Handlungssystem	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)

Aspekt wird in der analysierten Definition: x = nicht adressiert, (x) = in Teilen implizit adressiert, (✓) = in Teilen explizit adressiert, ✓ = explizit und vollumfänglich adressiert

Im Hinblick auf die Klassifizierung technischer Änderungen unterscheiden Jarratt et al. [12] sowie Hamraz et al. [9] zwischen Modifikationen und Änderungen beziehungsweise zwischen Änderungen unterschiedlicher Größenordnungen. Die übrigen Definitionen enthalten keine Hinweise darauf, ob und wie eine Klassifikation erfolgen kann. Weder das Konzept von Entwicklungs- und Systemgenerationen noch der Aspekt, dass technische Änderungen auf bestehenden Referenzen beruhen, wird explizit in den analysierten Definitionen behandelt. Zwar sprechen alle Autoren von Änderungen nach einer Freigabe, was implizit als Übergang zwischen zwei Entwicklungsgenerationen interpretiert werden kann, eine direkte Bezugnahme erfolgt jedoch nicht.

Auch der Grad technischer Änderungen wird nur bei Jarratt et al. [12] allgemein adressiert, indem dort von Änderungen „beliebiger Größe“ die Rede ist. Eine differenzierte Betrachtung des Änderungsgrades – etwa durch Variationsarten – ist in keiner Definition vorzufinden.

Der Aspekt, dass technische Änderungen Elemente und Relationen innerhalb von Objekt- und Zielsystemen betreffen und durch ein Handlungssystem realisiert werden, wird in keiner Definition explizit thematisiert. Allerdings nennen alle Autoren unterschiedliche Änderungsobjekte – etwa Passungen, Funktionen, Werkstoffe, technische Artefakte oder Produktmodelle – die durch Änderungsprozesse unter Einsatz von Personen und Ressourcen umgesetzt werden. Diese können dem Objekt-, Ziel- oder Handlungssystem zugeordnet werden.

Tab. 1 fasst die Analyse der betrachteten Definitionen zusammen.

7 Vorschlag einer Beschreibung des Begriffs „technische Änderung“ im Verständnis der Karlsruher Schule für Produktentwicklung

Die Analyse der betrachteten Definitionen zeigt deutlich, dass keine davon zu einem ganzheitlichen Verständnis des Begriffs „technische Änderung“ im Kontext der KaSPro beiträgt. Um diese Lücke zu schließen, wird im Folgenden ein Begriffsverständnis formuliert, das die in Abschn. 5 identifizierten Aspekte berücksichtigt, und einen Vorschlag zur Beschreibung des Begriffs aus der forschungsbezogenen Perspektive der KaSPro unterbreitet:

Änderungen im Produktlebenszyklus können in ökonomische, soziale, organisatorische oder technische Änderungen unterteilt werden. Technische Änderungen können in allen für die Produktentstehung relevanten Systemen (z. B. Produkt, Produktionssystem, Validierungssystem oder Strategie) sowie in jeder Phase des Produktlebenszyklus auftreten. Im Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung kann eine technische Änderung als eine Variation oder ein Cluster von Variationen eines oder mehrerer Referenzsystemelemente der aktuellen Entwicklungs- oder Systemgeneration beim Übergang zur folgenden Entwicklungs- oder Systemgeneration beschrieben werden. Dadurch führt eine technische Änderung dazu, dass Elemente und/oder Beziehungen im Ziel- und/oder Objektsystem durch das Handlungssystem geändert, entfernt, ersetzt oder neu hinzugefügt werden.

Das vorgeschlagene Begriffsverständnis zielt explizit auf die Abgrenzung technischer Änderungen von anderen Änderungsarten – etwa ökonomischen, sozialen oder organisationalen Änderungen im Produktlebenszyklus – ab. Zugleich wird hervorgehoben, dass technische Änderungen in sämtlichen Phasen des Produktlebenszyklus entstehen können, einschließlich der Nutzungs- und Rückführungsphase, und sich auf alle mit dem Produkt verbundenen Systeme,

wie beispielsweise Produktions- oder Validierungssysteme, auswirken können.

Durch die Beschreibung technischer Änderungen mithilfe des Modells der SGE – Systemgenerationsentwicklung können Änderungen anhand der drei Variationsarten klassifiziert und der Grad der Änderung über Variationsanteile bemessen werden. Zudem werden mit dem Modell der SGE Aspekte der Entwicklungs- und Systemgenerationen in das Begriffsverständnis technischer Änderungen integriert und der Aspekt berücksichtigt, dass technische Änderungen auf Referenzsystemelementen basieren.

Mit der Einbindung des ZHO-Modells in das Begriffsverständnis der technischen Änderung wird darüber hinaus berücksichtigt, dass technische Änderungen sowohl im Ziel-, Handlungs-, als auch im Objektsystem stattfinden können und damit alle möglichen Artefakte im Produktlebenszyklus, wie Teilsysteme, Funktionen, Anforderungen, aber auch Modelle, bereichsübergreifend betreffen können.

8 Fazit

In der vorliegenden Arbeit wurde ein Begriffsverständnis entwickelt, das technische Änderungen erstmals explizit im Modellrahmen der KaSPro verortet. Dabei wurden die zentralen Denkmodelle der KaSPro – insbesondere iPeM, ZHO und SGE – einbezogen, um eine konsistente und anschlussfähige Begriffsbestimmung zu erarbeiten. Diese ermöglicht eine klare Einordnung des Begriffs im Kontext der KaSPro und trägt zu einem einheitlichen Verständnis in jenen Organisationen bei, die die KaSPro als methodisches Werkzeug in der Produktentstehung einsetzen. Gleichzeitig kann das hier erarbeitete Begriffsverständnis von technischen Änderungen in seinen Abstufungen auch verallgemeinert auf andere Modelle zur Beschreibung technischer Änderungen und Entwicklungsprozesse übertragen werden.

Da es sich bei der KaSPro um einen dynamischen und kontinuierlich erweiterbaren Wissensspeicher handelt, stellt die hier vorgelegte Begriffsbestimmung kein abschließendes Ergebnis dar. Sie sollte regelmäßig überprüft und bei Bedarf an neue methodische Entwicklungen innerhalb der KaSPro angepasst werden.

Funding Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Interessenkonflikt A. Albers, A. Martin, M. Altner, L. Gesmann und T. Düser geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden. Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sons-

tiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen. Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

1. INCOSE Hg. (2021) Systems Engineering Vision 2035: Engineering solutions for a better world
2. Dumitrescu R, Albers A, Riedel O, Stark R, Gausemeier J (Hrsg) (2021) <https://www.advanced-systems-engineering.de>. Zugegriffen: 2004
3. Burkacky O, Doll G, Hepp D, Stuetzle R (2020) <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/mastering-automotive-software-launch-excellence>. Zugegriffen: 2025
4. Schuh G (2014) Produktkomplexität managen: Strategien · Methoden · Tools. Hanser, München
5. Eckert C, Clarkson PJ, Zanker W (2004) Change and customisation in complex engineering domains. Res Eng Des 15(1):1–21. <https://doi.org/10.1007/s00163-003-0031-7>
6. Albers A, Reiß N, Bursac N, Richter T (2016) The integrated Product engineering Model (iPeM) in context of Product Generation Engineering. Proceedings of the 26th CIRP Design Conference (CIRP). L. Wang und T. Kjellberg Hg. S. 100–105.
7. Wasmer A, Staub G, Vroom R (2011) An industry approach to shared, cross-organisational engineering change handling—The road towards standards for product data processing. Comput Des 43(5):533–545. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2010.10.002>
8. Albers A, Rapp S (2022) Model of SGE: System Generation Engineering as Basis for Structured Planning and Management of Development. In: Design Methodology for Future Products: Data Driven, Agile and Flexible. Springer, Cham, S 27–46 <https://doi.org/10.1007/978-3-030-78368-6>
9. Hamraz B, Caldwell NHM, Clarkson PJ (2013) A Holistic Categorization Framework for Literature on Engineering Change Management. Syst Engin 16(4):473–505. <https://doi.org/10.1002/sys.21244>
10. Langer S, Wilberg J, Maier A, Lindemann U (2012) Änderungsmanagement-Report 2012: Studienergebnisse zu Ursachen und Auswirkungen, aktuellen Praktiken, Herausforderungen und Strategien in Deutschland. Technische Universität München, Lehrstuhl für Produktentwicklung, München
11. Fricke E, Gebhard B, Negele H, Igenbergs E (2000) Coping with changes: Causes, findings, and strategies. Syst Engin 3(4):169–179. [https://doi.org/10.1002/1520-6858\(2000\)3:4](https://doi.org/10.1002/1520-6858(2000)3:4)
12. Jarratt T, Clarkson J, Eckert C (2005) Engineering change. In: Design process improvement: A review of current practice. Springer London, London, S 262–285 https://doi.org/10.1007/978-1-84628-061-0_11
13. Albers A (2023) Engineering neu denken und gestalten: Herausforderungen, Anwendungsszenarien und das neue Leitbild Advanced Systems Engineering. Acatech Impuls. https://doi.org/10.48669/aca_2023-7
14. Gausemeier J, Lindemann U, Reinhart G, Wiendahl H-P (2000) Kooperatives Produktengineering: Ein neues Selbstverständnis des ingenieurmäßigen Wirkens: HNI-Verlagsschriftenreihe. Heinz Nixdorf Institut, Paderborn

15. Jarratt T, Eckert CM, Caldwell NHM, Clarkson PJ (2011) Engineering Change: an Overview and Perspective on the Literature. *Res Eng Design* 22(2):103–124. <https://doi.org/10.1007/s00163-010-0097-y>
16. Conrat Niemerg JI (1997) Änderungskosten in der Produktentwicklung. In: Dissertation. Technische Universität, München
17. Lindemann U, Reichwald R (Hrsg) (1998) Integriertes Änderungsmanagement. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg
18. Brahma A, Wynn DC (2023) Concepts of change propagation analysis in engineering design. *Res Eng Design* 34(1):117–151. <https://doi.org/10.1007/s00163-022-00395-y>
19. Albers A, Gausemeier J (2012) Von der fachdisziplinorientierten Produktentwicklung zur Vorausschauenden und Systemorientierten Produktentstehung. In: acatech DISKUSSION, Anderl SR, Eigener M, Sendler U, Stark R (Hrsg) " in. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, S 17–29 https://doi.org/10.1007/978-3-642-29372-6_3
20. Ropohl G (2009) Allgemeine Technologie: eine Systemtheorie der Technik. Universitätsverlag Karlsruhe
21. Stachowiak H (1973) Allgemeine Modelltheorie. Springer, Wien
22. Albers A (2010) Five Hypotheses about Engineering Processes and their Consequences. *Proceedings of the TMCE*
23. Albers A, Braun A (2011) A Generalized Framework to Compass and to Support Complex Product Engineering Processes. *International Journal of Product Development*. 15:6–25
24. Martin A, Kasper J, Pfeifer S, Mandel C, Rapp S, Albers A (2022) Advanced Engineering Change Impact Approach (AE-CIA)—Towards a model-based approach for a continuous Engineering Change Management. In: 8th IEEE International Symposium on Systems Engineering: ISSE 2022 conference proceedings. Viena, Austria (" in)
25. Albers A, Burkardt N, Meboldt M, Saak M (2005) SPALTEN Problem Solving in the Product Development
26. Stammnitz F, Schlegel M, Pfaff F, Albers A (2023) Proposal of a reference-based development of corporate strategies based on the model of SGE—System Generation Engineering. In: FISITA—Technology and Mobility Conference Europe 2023. Barcelona, Spain, S 12–15 <https://doi.org/10.46720/FWC2023-AVD-004> (September)
27. Albers A, Bursac N, Wintergerst E (2015) Product Generation Development—Importance and Challenges from a Design Research Perspective. In: *Product Generation Development—Importance and Challenges from a Design Research Perspective: New Developments in Mechanics and Mechanical Engineering*. in, S 16–21
28. Albers A et al (2019) The Reference System in the Model of PGE: Proposing a Generalized Description of Reference Products and their Interrelations. In: *Proceedings of the 22nd International Conference on Engineering Design (ICED19)*. Delft, The Netherlands, S 1693–1702 <https://doi.org/10.1017/dsi.2019.175> (in)
29. Albers A et al (2020) Proposing a Generalized Description of Variations in Different Types of Systems by the Model of PGE—Product Generation Engineering. *Proc Des Soc: Des Conf* 1:2235–2244. <https://doi.org/10.1017/dsd.2020.315>
30. Albers A, Altner M, Rapp S, Valeh B, Redinger H, Winter R (2022) Evaluation of Engineering Changes Based on Variations from the Model of PGE—Product Generation Engineering in an Automotive Wiring Harness. *Proc Des Soc* 2:303–312. <https://doi.org/10.1017/pds.2022.32>
31. Stürmlinger T, Jost D, Mandel C, Behrendt M, Albers A (2020) Impact and risk analysis in the integrated development of product and production system. *Procedia Cirp* 91:627–633
32. Huang G, Yee W, Mak K (2003) Current practice of engineering change management in Hong Kong manufacturing industries. *J Mater Process Technol* 139(1–3):481–487. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(03\)00524-7](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(03)00524-7)
33. Langer S (2016) Handbuch Produktentwicklung – Änderungsmanagement (Kapitel 5). In: *Handbuch Produktentwicklung*. Carl Hanser, München: München, S 513–539 <https://doi.org/10.3139/9783446445819.018> (Lindemann, Hg.,)
34. Wickel MC (2017) Änderungen besser managen – Eine datenbasierte Methodik zur Analyse technischer Änderungen. In: *Dissertation*. Technische Universität München, München

Hinweis des Verlags Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.