

Explorative Studie zur Untersuchung des Einflusses von Referenzsystemen im Modell der Produktgenerationsentwicklung

Exploratory study to investigate the influence of reference systems in the model of product generation engineering

Mona Batora¹, Nikola Bursac^{1,*}, Tolga Ekin², Timo Heinrich², Anusch Musawi¹, Katharina Ritzer¹

¹ Institute for Smart Engineering and Machine Elements (ISEM), Hamburg University of Technology (TUHH)

² Institute for Digital Economics (ECON), Hamburg University of Technology (TUHH)

* Korrespondierender Autor:

Nikola Bursac
Denickenstraße 17 (L)
21073 Hamburg
Gebäude L, Raum L3.3041
☎ 040/428784002
✉ nikola.bursac@tuhh.de

Abstract

Products are developed in generations and based on reference products. The decision and selection of suitable reference system elements (RSE) is a challenging process. In order to investigate the influence of different RSE, human behavior in relation to decision-making must also be considered. The present work is based on the evaluation of extensive work in the field of behavioral economics. The experiments show the influence of reference products on decision-making and development success through the selection of RSE. By classifying and quantifying the products, a correlation between the new development shares of the new product generation and the quality and improvement potential of the reference products is recognized.

Keywords

Product Generation Engineering, reference system elements, decision making, human behavior, laboratory study

1. Motivation

Produkte, wie beispielsweise Werkzeugmaschinen, werden in Generationen entwickelt und basieren auf Referenzprodukten [1]. Das Referenzsystem dient dabei als Fundament und Ausgangspunkt für die Entwicklung einer neuen Produktgeneration. Es bietet Einblicke in die Teilsysteme, die von den Referenzprodukten übernommen bzw. für die neue Produktgeneration angepasst wurden [2]. Eine zentrale Rolle spielt die Auswahl passender Referenzprodukte, da diese die Basis für die neue Generation bilden. Allerdings wurde bisher noch nicht in einer quantitativen Studie untersucht, welchen Einfluss die Wahl von Referenzprodukten auf den Entwicklungserfolg hat. Das Problem besteht darin, dass die Entscheidung und Auswahl passender Referenzsystemelemente (RSE) ein anspruchsvoller Prozess ist, der bislang unzureichend erforscht wurde [3]. Vorhandene Methoden und Ansätze bieten keine befriedigende Grundlage, um den Einfluss verschiedener RSE zu erforschen. Wir argumentieren, dass Befunde aus der Verhaltensökonomik [4, 5] berücksichtigt werden sollten, um die komplexen Entscheidungen der Produktentwickelnden zu unterstützen. Dabei kann auf umfangreiche Vorarbeiten aufgebaut werden [6, 7]. In diesem Zusammenhang spielen experimentelle Methoden und ihre Anwendung in der Produktentwicklung eine wichtige Rolle [8].

2. Stand der Forschung

2.1. Produktgenerationsentwicklung

Die PGE (Produktgenerationsentwicklung) verdeutlicht, dass technische Produkte über Generationen hinweg entwickelt werden, indem sie auf zwei grundlegenden Annahmen aufbaut. Erstens: Jede neue Produktgeneration baut auf einem Referenzprodukt auf, das die Mehrzahl der Schlüsselkomponenten definiert [1]. Bei den Referenzprodukten muss es sich nicht unbedingt um die früheren Produkte eines Unternehmens handeln, die weiterhin auf dem Markt verfügbar sind. Auch Produkte von konkurrierenden Unternehmen, Produkte aus verschiedenen Fachgebieten oder Konzepte, die von einem Unternehmen entwickelt, aber nie auf den Markt gebracht wurden, können als Referenz dienen [9]. Zweitens: Jede Entwicklung einer neuen Produktgeneration beinhaltet eine systematische Kombination von Aktivitäten, wobei bei der Übernahmevariation (ÜV) einzelne Teilsysteme des Referenzprodukts übernommen werden. Bei der Gestalt- und Prinzipvariation (GV, PV) hingegen findet eine Anpassung der Teilsysteme eines Referenzprodukts statt, womit diese den Neuentwicklungsanteil definieren [2].

Das Referenzsystem wird als Grundlage und Ausgangspunkt in der Entwicklung einer neuen Produktgeneration verstanden, welches einen Einblick in die verschiedenen Formen der Variation (ÜV, GV, PV) bei der Entwicklung eines neuen Systems auf der Grundlage eines bereits bestehenden Systems gibt, wobei mehrere Aspekte (wie Funktionen, Eigenschaften und Ausprägungen) und Systemtypen berücksichtigt werden. Da sich das Referenzsystem mit jeder Produktgeneration ändert, muss es aktiv entwickelt und regelmäßig aktualisiert werden [2]. Unter der Annahme, dass der erwartete Nutzen für Verbraucher und Nutzer tatsächlich vorhanden ist, erfordert die erfolgreiche Markteinführung eines Produkts die Zusammenstellung bzw. Auswahl geeigneter RSE und Produktmerkmale unter Berücksichtigung von Einflussfaktoren [10] und Herausforderungen [11] in der Prozesskette von der Identifizierung eines RSE, oder Merkmals, bis zu seiner Auswahl [3]. Wesentlicher Ausgangspunkt für die Spezifikation sind Informationen über Referenzelemente und deren Beschaffung sowie neue Entwicklungskomponenten. Das Ergebnis der frühen Phase der PGE ist letztlich eine bewertete Produktspezifikation, die Differenzierungsmerkmale bietet und dennoch ein gewisses Entwicklungsrisiko nicht überschreitet, indem eine valide Bewertung

des technischen Systems unter Berücksichtigung wichtiger Aspekte wie die Herstellbarkeit, Verfügbarkeit von Ressourcen und das Risiko für Wirtschaft und Technik ermöglicht wird [12].

2.2. Verhaltensökonomik

Die Wirtschaftswissenschaft war ursprünglich eng verbunden mit der Psychologie [13, 14]. Ab den 1930er Jahren aber distanzieren sich neoklassische Ökonomen von der Psychologie, um die Vorhersagekraft ökonomischer Theorien zu verbessern, indem sie Präferenzen als gegeben annahmen und deren Entwicklungen vernachlässigten [15]. Gleichzeitig nutzten sie theoretische Modelle, Statistik und Mathematik, insbesondere die Erwartungsnutzentheorie und die Spieltheorie [16]. Diese neuen Theorien ermöglichten Vorhersagen über individuelle Entscheidungen und Interaktionen mehrerer Akteure, was die Grundlage für die experimentelle Wirtschaftsforschung legte. Laborexperimente der experimentellen Wirtschaftsforschung wiesen jedoch nach, dass das menschliche Verhalten oft von den Vorhersagen der neoklassischen Standardtheorie abweicht [17]. Dies führte wiederum zur Entstehung der Verhaltensökonomik, die Methoden und Theorien aus der Psychologie anwendet, um ökonomische Phänomene zu erklären [17]. Es zeigte sich dabei auch, dass die Entscheidungsfindung oft von Heuristiken, kognitiven Abkürzungen oder Faustregeln getrieben wird, die die Menschen unter unsicheren Rahmenbedingungen verwenden. Heuristiken sind Strategien, die einen Teil der Informationen ignorieren, um Entscheidungen schneller, billiger, oder korrekter zu treffen als komplexere Methoden [5, 18].

Um ein passendes Paradigma für unsere Untersuchung zu identifizieren, wurden mehrere Studien aus der Verhaltensökonomik analysiert. Aus mehreren Laborstudien mit einem kreativen, gestalterischen Kontext [8, 19, 20] wurde die Turmstudie von KAGAN et al. [7] als Paradigma ausgewählt, da es für Probanden leicht verständlich ist, einfach zu implementieren ist und über eine klar definierte Zielfunktion verfügt. Mit diesem Paradigma lassen sich die Bereiche Ideenfindung und Auswahl geeigneter RSE untersuchen. Da es sich für die Teilnehmenden in der Regel um eine gänzlich neue Aufgabe handelt, bietet es zudem den Vorteil, dass sich die Kenntnisse der Teilnehmenden und der Entwicklungsprozess genau kontrollieren lassen.

3. Forschungsziel und -vorgehen

Die hier vorgestellte explorative Studie ist der Vorläufer einer Erhebung, die nach den Maßstäben der experimentellen Wirtschaftsforschung als Laborexperiment durchgeführt werden soll. Der Vorteil der Laborexperimente ist die Maximierung der Präzision einer empirischen Beobachtung, da sie die Bedingungen, unter denen die Daten entstehen, streng kontrollieren. In dem Probanden im ökonomischen Laborexperiment zufällig unterschiedlichen Anordnungen zugeordnet werden, bei denen der Experimentator beispielsweise, die verfügbaren Informationen variiert, lassen sich die kausalen Einflüsse dieser Variationen auf das Verhalten genau bestimmen. Feldstudien hingegen maximieren den Realismus des Entscheidungskontexts und formale Theorien maximieren die Generalisierbarkeit der Erkenntnisse. Die unterschiedlichen wissenschaftlichen Methoden sind also komplementär.

Das langfristige Forschungsziel ist quantitativ zu untersuchen, welchen Einfluss die Wahl der Referenzprodukte auf den Entwicklungserfolg hat, unter Berücksichtigung des menschlichen Prozesses der Entscheidungsfindung. Dafür soll analysiert werden, ob das Paradigma der Turmstudie für die Forschung an Produktgenerationen geeignet ist. Dazu wird untersucht:

1. Welchen Einfluss hat das Referenzprodukt auf die Entwicklung einer neuen Produktgeneration?
2. Wie kann der Einfluss auf die Entwicklung einer neuen Produktgeneration in der Turmstudie quantifiziert werden?

Das Ziel der Turmstudie nach KAGAN et al. [7] ist es, mit Hilfe von Spielkarten und Büroklammern innerhalb von 20 Minuten ein möglichst hohes und stabiles Konstrukt zu errichten, dass so viele Münzen wie möglich trägt. Dabei haben die Probanden 10 Spielkarten und 10 Büroklammern sowie bis zu 16 Münzen zur Verfügung. Der Erfolg bemisst sich an der Bauhöhe und dem Wert der aufliegenden Münzen. Die Zeit von 20 Minuten wird in der Turmstudie auf zwei Phasen aufgeteilt. In der ersten Phase (Ideenphase) werden ausreichend Spielkarten und Büroklammern zum Testen zur Verfügung gestellt. Für die zweite Phase (Ausführungsphase) des Experiments werden die Karten und Büroklammern auf jeweils 10 Stück reduziert, wobei das gebaute Konstrukt aus dieser Phase den Erfolg bestimmt.

4. Aufbau und Durchführung des Experiments

Das Paradigma der Turmstudie wurde von uns mit 17 Probanden durchgeführt, denen jeweils eines der 7 verschiedenen Referenzprodukte zur Verfügung gestellt wurde (siehe Bild 2). Hiervon wurden 15 Türme erfolgreich in der vorgegebenen Zeit erstellt und für die weitere Untersuchung verwendet. Die Bewertung der erbauten Konstrukte sowie der Referenzprodukte basiert auf der Formel von KAGAN et al. [7] und ist definiert wie folgt:

$$\text{Punktzahl} = \frac{[\text{Wert der aufliegenden Münzen}] \times [\text{Bauhöhe der Konstruktion in Zentimeter}]}{3}$$

Bei unserem Experiment wurden zwei Anordnungen verwendet, im weiteren Treatment genannt. Die zwei ausgewählten Treatments, das 10/10 Treatment und das 5/15 Treatment, nach KAGAN et al. [7] unterscheiden sich in der Zeit, die für die beiden Phasen des Experiments zur Verfügung standen. Die Wahl fiel auf diese beiden Treatments, da das 10/10 Treatment die niedrigste Ausfallrate aufzeigte und das 5/15 Treatment die höchste durchschnittliche Performance erzielte.



Bild 1: Teilnehmende erhielten Spielkarten, Büroklammern und sechszehn 20 Cent Münzen (links) und ein exemplarisches Referenzprodukt (rechts) zur Unterstützung

Um den Effekt von Referenzprodukten untersuchen zu können, wurde den Probanden Kartentürme als Referenzprodukt für die gesamte Dauer des Experiments zur Verfügung gestellt (siehe Bild 1). Zusätzlich wurde die Think-Aloud-Methode genutzt, bei der die Teilnehmenden ihre Gedankengänge während des gesamten Experimentes laut aussprechen, um mehr Informationen über den Denkprozess in Bezug auf den Entscheidungsprozess und

den Einfluss des Referenzprodukts auf die Teilnehmenden zu erhalten. Außerdem wurden die Teilnehmenden gebeten am Ende des Experiments einen Fragebogen auszufüllen, um ihren Eindruck vom Experiment und dem präsentierten Referenzprodukt wiederzugeben. Um den Einfluss der Referenzprodukte zu bewerten, d. h. die Übernahmeanteile und Neuentwicklungsanteile im Konstruktionsprozess der Teilnehmenden zu identifizieren, wird ein klares Klassifizierungssystem etabliert. Die Klassifizierung der Konstrukte nach KAGAN et al. [7] ist nicht eindeutig. Verschiedene Konstruktionen, die aus mehreren Stockwerken errichtet wurden, können die gleiche Klassifizierung haben. Um das Problem der Mehrdeutigkeit zu lösen, wird ein neues Klassifizierungssystem auf Basis der Konzepte der Systemtheorie geschaffen [21], auf welches in Abschnitt 6 näher eingegangen wird. Dieses ermöglicht nicht nur die eindeutige Beschreibung der konstruierten Strukturen, sondern auch die Ermittlung und Berechnung der Übernahme- bzw. Neuentwicklungsanteile.

Um Informationen über den Prozess, das bereitgestellte Material, den Einfluss des Referenzprodukts und den Prozess als Ganzes zu gewinnen, wurde die erste Studie durchgeführt. Die nachfolgende Analyse der Situation und Dokumentation der Ergebnisse schafft eine Wissensbasis. Dabei wurden mehrere Probleme identifiziert, darunter der Informationsgehalt der Instruktionen, die Präsentation der Referenzprodukte, den Konstruktionsprozess und den Denkprozess der Teilnehmenden. Diese Probleme wurden schrittweise modifiziert, um alternative und vielfältige Lösungen zu erhalten. Zunächst wurde der Informationsgehalt für die Teilnehmenden geändert, was den Verlauf des Experiments erheblich beeinflusste. Präzisere Anweisungen und Hinweise zur Nutzung der Spielkarten verbesserten sowohl das Verständnis als auch den Ablauf des Experiments. Als nächstes wurden die Referenzprodukte angepasst und deren Stabilität sowie die Fähigkeit, eine bestimmte Anzahl von Münzen zu tragen, demonstriert, was das Vertrauen in die Referenzprodukte steigerte. Diese Anpassungen und die effiziente Nutzung der Spielkarten und Büroklammern definieren die Qualität der Referenzprodukte und unterscheiden gute Referenzprodukte von schlechten Referenzprodukten. Nach jedem Experiment wurden die mittels der Think-Aloud-Methode und der Fragebögen gesammelten Informationen sowie die erstellten Konstrukte gesammelt und zur Verbesserung unseres experimentellen Designs genutzt, um detaillierte Erkenntnisse über den Einfluss von Referenzprodukten zu gewinnen.

5. Einfluss der Referenzprodukte auf die Produktgenerationsentwicklung

In Bild 2 sind exemplarische Ergebnisse der neuen Produktgenerationen von Kartentürmen (gekennzeichnet mit T-1 – T-7), sowie dazugehörige Neuentwicklungsanteile und Referenzprodukte (gekennzeichnet mit RP-1 – RP-7) dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Qualität der Referenzprodukte eine entscheidende Rolle bei der Erstellung der neuen Produktgeneration von Kartentürmen spielt. Aus der Think-Aloud-Methode und dem Fragebogen stach hervor, dass die Teilnehmenden das schlechte Referenzprodukt (RP-1 und RP-2) größtenteils ignorieren, da diese ihnen bei der Durchführung der Studie nicht halfen und zusätzlich irreführend waren. Vorwiegend in der ersten Phase des Experiments, in der ausreichend Material zur Verfügung stand, hatten die Teilnehmenden Schwierigkeiten, Ideen zu festigen, was auf den Einfluss der schlechten Referenzprodukte zurückzuführen ist.

Bei schlechten Referenzprodukten stieg die Punktezahl von durchschnittlich 4,7 Punkten des Referenzprodukts auf 18,5 Punkte der neuen Produktgeneration. Das liegt daran, dass schlechte Referenzprodukte zwar keinen signifikanten Einfluss auf den Bau eines Kartenturmes haben, aber dennoch Raum für Verbesserungen bieten. Jedoch lässt sich beobachten, dass die Teilnehmenden schlechte Referenzprodukte während des Experiments ignorieren, da diese nicht sinnvoll mit den Instruktionen kombiniert werden können. Daher verlassen sich die Teilnehmenden stärker auf ihre Erfahrung und Fachwissen und nutzen

Heuristiken zur Entscheidungsfindung. Dies wird an der neuen Produktgeneration T-2 mit der Punktzahl 48 deutlich, wobei der Anteil der Neuentwicklungen von RSE 93 % beträgt und im Vergleich dazu beträgt der Übernahmeanteil nur 7 % (siehe Bild 2).

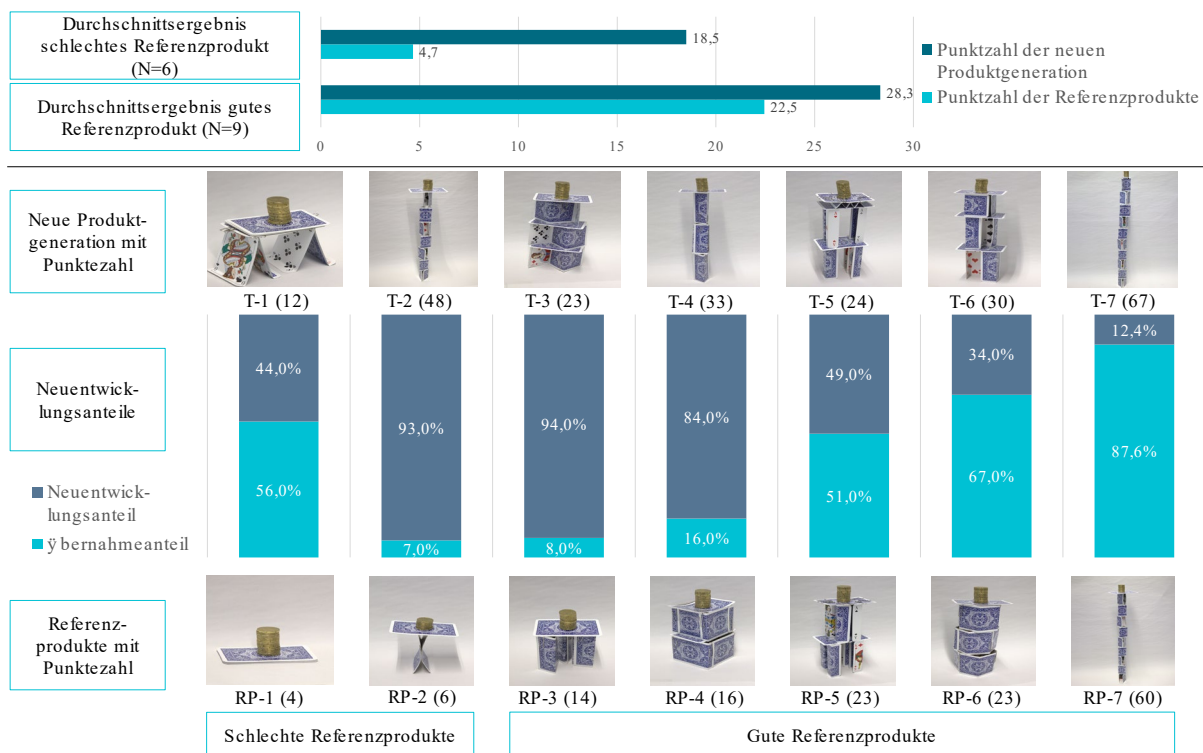


Bild 2: (oben) durchschnittliche Ergebnisse neuer Produktgenerationen mit guten und schlechten Referenzprodukten sowie (unten) exemplarisch quantifizierte Neuentwicklungsanteile

Im Gegensatz dazu haben gute Referenzprodukte einen größeren Einfluss auf den Konstruktionsprozess, da diese signifikante Merkmale wie Falstechniken und Kombinationsmöglichkeiten von RSE aufweisen, die den Konstruktionsprozess vorgeben können, wobei es an der effizienten Nutzung der Karten fehlen könnte. Bei Einsatz eines guten Referenzprodukts als Unterstützung sinkt die Hemmschwelle der Teilnehmenden, was den Einstieg in das Experiment vereinfacht. Insbesondere in der ersten Phase der Studie werden RSE analysiert und es wird stärker mit den Spielkarten iteriert und unterschiedliche Kombinationsmöglichkeiten ausprobiert. Basierend auf der Prospect-Theorie ist die Einschätzung des Entwicklungsrisikos ausschlaggebend bei der Entscheidungsfindung der Teilnehmenden, eine Konstruktionsidee zu verfolgen und dieses bestimmte Konstrukt zu errichten.

Obwohl die Referenztürme eine hohe Punktebewertung aufwiesen, gelang es den Teilnehmenden, eine neue Produktgeneration mit einem noch höheren Punktestand zu erstellen (siehe Bild 2). Bei guten Referenzprodukten stieg das Ergebnis von durchschnittlich 22,5 Punkten auf 28,3 Punkte. Darüber hinaus zeigt sich, dass wenn gute Referenzprodukte wenig Raum für Verbesserungen bieten, weil die Nutzung der Spielkarten und Büroklammern bereits effizient ist, zunehmend RSE übernommen werden. Dies bedeutet, dass mit steigender Punktzahl der Referenzprodukte – ein Indikator für einen qualitativ hochwertigen Kartenturm sowie für die effiziente Nutzung der Spielkarten – der Übernahmeanteil steigt und der Neuentwicklungsanteil sinkt. Dies ist in Bild 2 zu beobachten, wo bei guten Referenzprodukten der Übernahmeanteil der neuen Produktgeneration von 8 % auf 87,8 % steigt und der Neuentwicklungsanteil von 92 % auf 12,2 % sinkt.

6. Quantifizierung des Einflusses auf die Entwicklung einer neuen Produktgeneration

Ein Klassifizierungsschema ist langfristig für die Forschung unerlässlich, da es eine systematische Einordnung und Vergleichbarkeit von Daten ermöglicht. Dadurch werden die Konsistenz und Reproduzierbarkeit wissenschaftlicher Studien sichergestellt. Für die Quantifizierung der Variationsanteile wurde das von KAGAN et al. [5] vorgeschlagene Klassifizierungsschema als unzureichend identifiziert, da dieses bei sehr unterschiedlichen Produkten gleiche Klassifizierungen erzeugt. Daher wurde auf Basis der Systemtheorie [21] das Klassifizierungssystem für die Kartentürme weiterentwickelt. Hierbei wird der Aufbau des Kartenturms analysiert (siehe Bild 3). Das System Kartenturm kann aus mehreren Stockwerken bestehen, die als Subsysteme definiert werden. Diese wiederum bestehen aus den Elementen Spielkarten, Büroklammern und vier weiteren Attributen, die ein Kartenturm charakterisieren (siehe Tabelle 1).

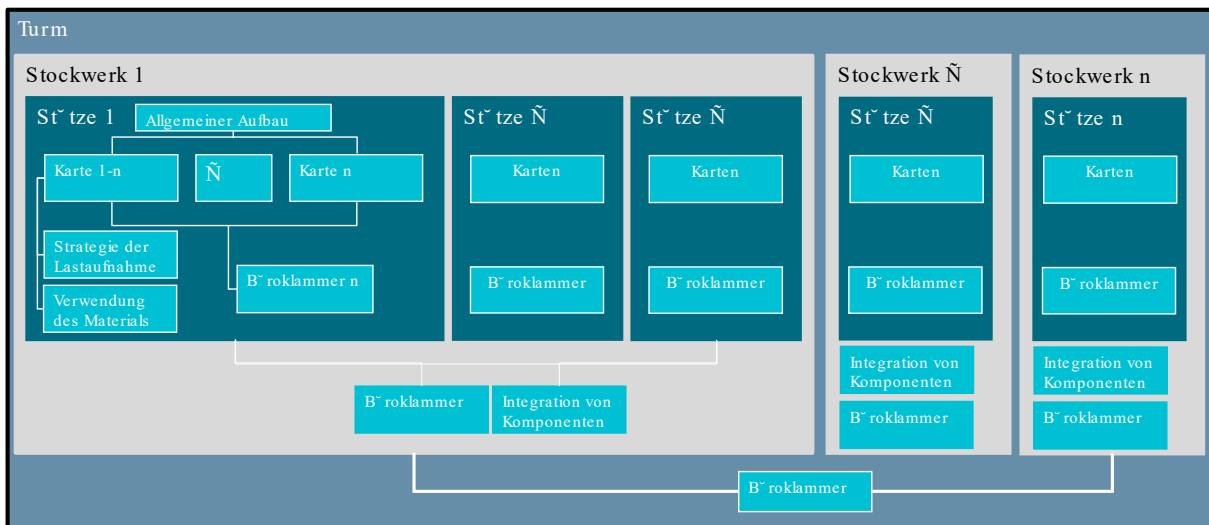


Bild 3: Auf Basis der Systemtheorie weiterentwickelte Klassifizierungssystem der Turmstudie

Ein Stockwerk kann auf einem oder mehreren Stützen aufgebaut sein, die wiederum aus einer einzigen oder einem Verbund von Spielkarten (maximal 10 Spielkarten) zusammengesetzt sind, eventuell durch die Beihilfe von Büroklammern. Die Spielkarte als Element kann durch die Merkmale „Nutzung des Materials“ und „Strategie der Lastaufnahme“ charakterisiert werden. Eine Kombination von Karten zu einer Stütze wird durch den „Allgemeinen Aufbau der Konstruktion“ definiert. Ergänzend wird der Zusammenhang der Stützen eines Stockwerks zum darauf liegenden Stockwerk durch die „Integration der Komponenten“ beschrieben. Diese Zusammenhänge können genutzt werden, um ein Stockwerk des Kartenturms eindeutig zu klassifizieren. Zudem erlaubt dieses Klassifizierungssystem den elementabhängigen und den stockwerkübergreifenden Vergleich sowie die Gegenüberstellung des Referenzprodukts mit der neuen Produktgeneration von Kartentürmen.

Tabelle 1: Erweiterte Charakterisierungsmerkmale zur Beschreibung der Konstruktionen auf der Grundlage von KAGAN et al. [7]

Allgemeiner Aufbau der Konstruktion	Strategie zur Lastaufnahme	Integration der Komponenten	Nutzung des Materials
Sockel (P) Wand/Box (WB) Mehrfach Stützen (ML) Flachstapel (FI)	Vertikal hochkant (VU) Vertikal querkant (VS) Gewinkelt (A)	Separation (SEP) Multifunktional (MP) Büroklammer (PC)	Falten (F) Zerreißen (T) Durchbohren (P) Rollen (R)

	Eine Kombination aus gewinkelt und vertikal (VU/A oder VS/A)		Deformationsfrei (DF) Eine Kombination dieser
--	--	--	--

Um das Prinzip des Klassifizierungssystems verständlich aufzuzeigen, wird anhand des nachfolgenden Beispiels, musterhaft das Vorgehen der Quantifizierung im Detail erläutert. Das gewählte Referenzprodukt RP-6 als auch die dazugehörige neue Produktgeneration T-6 (Bild 4), bestehen aus insgesamt drei Stockwerken, wobei die ersten beiden Stockwerke einen identischen Aufbau besitzen. Daher wird im Laufenden nur auf das erste und dritte Stockwerk der neuen Produktgeneration mit dem dazugehörigen Referenzprodukt eingegangen und die RSE miteinander verglichen. Hierbei werden pro Stockwerk 17 Merkmale miteinander verglichen, unter anderem der allgemeine Aufbau der Konstruktion mit der Anzahl der Büroklammern und Spielkarten in ihrer Nutzung und Strategie zur Lastaufnahme sowie die Integration der Komponenten und die Münzenanzahl.

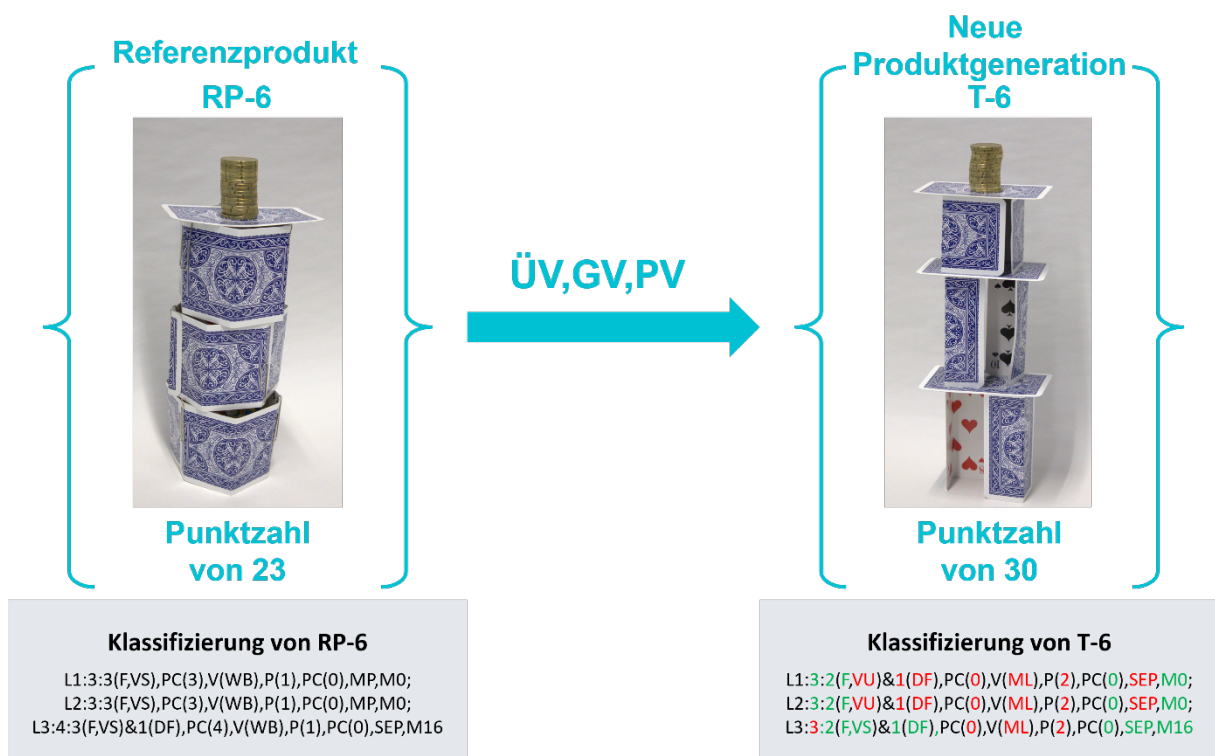


Bild 4: Klassifizierung eines exemplarischen Referenzproduktes und der dazugehörigen neuen Produktgeneration mit Übernahmeanteil (grün) und Neuentwicklungsanteile (rot)

Die neue Produktgeneration T-6 ist im ersten Stockwerk [L1] aus insgesamt drei Karten erbaut, wobei zwei Spielkarten vertikal hochkant [F, VU] gefaltet sind und die dritte deformationsfrei [DF] oben aufgesetzt wurde, ohne die Beihilfe von Büroklammern [PC (0)]. Der allgemeine Aufbau der Konstruktion ist durch zwei Stützen [V(ML) und P (2)] gegeben, wobei die Stützen nicht mit Büroklammern verbunden sind [PC (0)]. Die Deformationsfreie Karte dient als separationskarte [SEP] zwischen dem ersten und zweiten Stockwerk. Außerdem sind keine Münzen in diesem Stockwerk eingearbeitet [M0]. Im Vergleich hierzu sind beim RP-6 alle drei Karten vertikal querkant gefaltet [F, VS] und durch drei Büroklammern [PC (3)] miteinander verknüpft. Dadurch ergibt sich die allgemeine Form als eine Box [V(WB)], wobei diese Struktur das darauf liegende Stockwerk stützt [P (1)]. Die Klassifizierung zeigt auf, dass die Integration der Komponenten keine Separationskarte enthält [MP], keine zusätzlichen Büroklammern [PC (0)] oder auch Münzen [M0] sind in diesem Stockwerk eingebaut. Der Vergleich des ersten Stockwerkes ergibt, dass 11 von 17 Merkmalen ($\binom{11}{17}$) des RP-6 in die

neue Produktgeneration übernommen wurde, wobei sechs der verglichenen Merkmale neuentwickelt wurden ($\frac{6}{17}$). Wird nun das erste Stockwerk, der insgesamt drei Stockwerke, mit $\frac{1}{3}$ gewichtet, ergibt sich ein Übernahmeanteil von 21,6 % und einen Neuentwicklungsanteil von 12 %.

Das dritte Stockwerk [L3] der neuen Produktgeneration besteht aus insgesamt 3 Spielkarten, mit zwei querkant gefalteten [F, VS] und einer deformationsfreien [DF] Spielkarte. Diese drei Karten enthalten keine Verbindung durch Büroklammern [PC (0)], da zwei dieser Spielkarten als Stützen dienen [V(ML) und P (2)] und die Deformationsfreie Spielkarte sowohl als Separationskarte [SEP] als auch als Auflagefläche für die Münzen [M16] dient. Das Referenzprodukt unterscheidet sich im Aufbau zur ersten Ebene dadurch, dass eine zusätzliche Deformationsfreie [DF] Spielkarte eingesetzt wurde. Dieses RSE wurde in der neuen Produktgeneration unverändert in ihrer Funktion übernommen. Die Klassifizierung und Gewichtung der RSE auf den ersten beiden Stockwerken ergibt einen Übernahmeanteil von 43,2 % und einen Neuentwicklungsanteil von 24 % der neuen Produktgeneration. Zusätzlich trägt das dritte Stockwerk einen Übernahmeanteil von 23,5 % und 10 % für den Neuentwicklungsanteil bei. Summiert ergeben sich die Übernahme- und Neuentwicklungsanteile wie sie in Bild 2 dargestellt sind.

7. Diskussion und Ausblick

Unsere Studie hat gezeigt, wie sich Referenzprodukte auf den Bau der Konstruktionen von Teilnehmenden auswirken. Die Qualität des Referenzproduktes ist während des gesamten Konstruktionsprozesses entscheidend. Schlechte Referenzprodukte haben zwar keinen bedeutenden Einfluss auf den Entwurf einer Konstruktion, da sie teilweise aufgrund von heuristischen Entscheidungsfindung vernachlässigt werden, bieten dennoch Möglichkeiten zur Optimierung. Hingegen haben gute Referenzprodukte einen größeren Einfluss auf den Konstruktionsprozess, da sie wichtige RSE enthalten, die den Konstruktionsprozess bestimmen können, jedoch kann es an der effizienten Nutzung der Karten mangeln. Es ist aufgefallen, dass mit steigender Qualität der Referenzprodukte und effizienterer Nutzung der Spielkarten, die Übernahmeanteile der RSE steigen und die Neuentwicklungsanteile gleichzeitig sinken. Außerdem ergab das Bewertungssystem, dass das 5/15 Treatment im durchschnitt besser abschneidet als das vergleichbare Treatment. Zusätzlich waren die Teilnehmenden des 5/15 Treatment mit ihrer Zeiteinteilung sehr zufrieden und performten besser als die Teilnehmenden des 10/10 Treatment. Erwähnenswert ist, dass es Einschränkungen hinsichtlich der Umgebungsbedingungen der Experimente gab, die in keiner störfreien Umgebung stattfanden, wodurch externe Faktoren die Konzentration der Teilnehmenden beschränken konnten. Unser Experiment wurde größtenteils an der Technischen Universität Hamburg durchgeführt, sodass die meisten Teilnehmenden Studierenden einen Maschinenbau Hintergrund aufwiesen, von denen in Zukunft viele in industriellen Entwicklungsprozessen Verantwortung übernehmen werden.

Aus der hier vorgestellten Vorstudie lassen sich Hypothesen ableiten, die in einer folgenden Laborstudie mit mehr als 150 Teilnehmenden verifiziert werden sollen. So soll beispielsweise quantitativ untersucht werden, ob die Qualität des Referenzproduktes einen signifikanten Einfluss auf das Ergebnis einer neuen Produktgeneration hat. Des Weiteren soll untersucht werden, ob der Übernahmeanteil bei besseren Referenzprodukten signifikant größer ist. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass die Einteilung der Referenzprodukte und ihre Auswahl einen starken Einfluss hat. Für die Laborstudie soll daher die Auswahl anhand von Quantilen einer Baselinegruppe erfolgen, die ohne Referenzprodukte Türme erstellt. So kann auch das Ergebnis von Türmen mit guten und schlechten Referenzprodukten mit der Baselinegruppe verglichen werden.

Literaturverzeichnis

- [1] ALBERS, Albert ; BURSAC, Nikola ; WINTERGERST, Eike: Produktgenerationsentwicklung-Bedeutung und Herausforderungen aus einer entwicklungsmethodischen Perspektive, Bd. 2015. In: *Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung*, 2015
- [2] ALBERS, Albert ; RAPP, Simon ; SPADINGER, Markus ; RICHTER, Thilo ; BIRK, Clemens ; MARTHALER, Florian ; HEIMICKE, Jonas ; KURTZ, Victor ; WESSELS, Holger: The reference system in the model of PGE: proposing a generalized description of reference products and their interrelations. In: The Design Society (Hrsg.): *Proceedings of the 22nd International Conference on Engineering Design (ICED19)*. Cambridge: Cambridge University Press, 2019 (Proceedings of the Design Society, 1), 1693–1702. DOI: 10.1017/dsi.2019.175.
- [3] ALBERS, Albert ; ZIMMERMANN, Valentin ; MARTHALER, Florian ; BURSAC, Nikola ; DUEHR, Katharina ; SPADINGER, Markus: Selection of Reference System Elements in the Model of PGE - Product Generation Engineering: Method for the Integration of Customer and User Satisfaction in Product Planning, Bd. 1. In: *Proceedings of the 23rd International Conference on Engineering Design (ICED21)*. Gothenburg, Sweden, 16.-20.08.2021. Cambridge : Cambridge University Press, 2021 (ICED), S. 2611–2620. DOI: 10.1017/pds.2021.522.
- [4] KAHNEMAN, Daniel ; TVERSKY, Amos: *Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk*. In: *Econometrica* 47 (1979), Nr. 2, S. 263. DOI: 10.2307/1914185.
- [5] GIGERENZER, Gerd ; GAISSMAIER, Wolfgang: *Heuristic decision making*. In: *Annual Review of Psychology* 62 (2011), Volume 62, 2011, S. 451–482. DOI: 10.1146/annurev-psych-120709-145346.
- [6] SMITH, Vernon L.: *Economics in the Laboratory*. In: *Journal of Economic Perspectives* 8 (1994), Nr. 1, S. 113–131. DOI: 10.1257/jep.8.1.113.
- [7] KAGAN, Evgeny ; LEIDER, Stephen ; LOVEJOY, William S.: *Ideation–Execution Transition in Product Development: An Experimental Analysis*. In: *Management Science* 64 (2018), Nr. 5, S. 2238–2262. DOI: 10.1287/mnsc.2016.2709.
- [8] BRÜGGEMANN, Julia ; BIZER, Kilian: *Laboratory experiments in innovation research: a methodological overview and a review of the current literature*. In: *Journal of Innovation and Entrepreneurship* 5 (2016), Nr. 1, S. 1–13. DOI: 10.1186/s13731-016-0053-9.
- [9] ALBERS, Albert ; HAUG, Fabian ; HEITGER, Nicolas ; ARSLAN, Masis ; RAPP, Simon ; BURSAC, Nicola: Produktgenerationsentwicklung-Praxisbedarf und Fallbeispiel in der automobilen Produktentwicklung, Bd. 12. In: *12. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung*.
- [10] KEMPF, C. ; SANKE, F. ; HEIMICKE, J. ; RAPP, S. ; ALBERS, A.: *Identifying Factors Influencing the Design of a Suitable Knowledge Base in Product Engineering Projects*. In: *Proceedings of the Design Society 2* (2022), S. 733–742. DOI: 10.1017/pds.2022.75.
- [11] KEMPF, Christoph ; RAPP, Simon ; BEHDINAN, Kamran ; ALBERS, Albert: *Reference System Element Identification Atlas – methods and tools to identify references system elements in product engineering*. In: *World Patent Information* 75 (2023), S. 102239. DOI: 10.1016/j.wpi.2023.102239.
- [12] ALBERS, Albert ; RAPP, S. ; BIRK, C. ; BURSAC, N.: Die Frühe Phase der PGE – Produktgenerationsentwicklung. In: BINZ, Hans-Georg ; BERTSCHE, Bernd ; BAUER, Wilhelm ; SPATH, Dieter ; ROTH, Daniel (Hrsg.): *Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung SSP 2017*. Stuttgart : Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, 2017
- [13] HUME, David: *A treatise of human nature*. Reprint with corrections. Oxford : Oxford University Press, 2009 (Oxford philosophical texts). – ISBN 9780198751724
- [14] SMITH, Adam ; HANLEY, Ryan Patrick (Mitarb.) ; SEN, Amartya (Mitarb.) ; HANLEY, Ryan (Mitarb.) : *The Theory of Moral Sentiments*. 250th ed. East Rutherford : Penguin Publishing Group, 2010. – ISBN 9781101460016
- [15] ANGNER, Erik ; LOEWENSTEIN, George: *Behavioral Economics*, 2007
- [16] GUALA, Francesco: Experimentation in Economics. In: MÄKI, Uskali (Hrsg.): *Philosophy of economics*. 1. ed. Amsterdam, Heidelberg : Elsevier, 2012 (Handbook of the philosophy of science, 13), S. 597–640. DOI: 10.1016/b978-0-444-51676-3.50021-x.
- [17] BRUNI, Luigino ; SUGDEN, Robert: *The Road not Taken: How Psychology was Removed from Economics, and How it Might be Brought Back*. In: *The Economic Journal* 117 (2007), Nr. 516, S. 146–173. DOI: 10.1111/j.1468-0297.2007.02005.x.
- [18] TVERSKY, A. ; KAHNEMAN, D.: *Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases*. In: *Science* 185 (1974), Nr. 4157, S. 1124–1131. DOI: 10.1126/science.185.4157.1124.
- [19] GILL, David ; PROWSE, Victoria: *A Structural Analysis of Disappointment Aversion in a Real Effort Competition*. In: *American Economic Review* 102 (2012), Nr. 1, S. 469–503. DOI: 10.1257/aer.102.1.469.
- [20] KAGAN, Evgeny ; LIEBERUM, Tobias ; SCHIFFELS, Sebastian: *One Size Does Not Fit All: Strengths and Weaknesses of the Agile Approach*. In: *SSRN Electronic Journal* (2022), Nr. 7. DOI: 10.2139/ssrn.4105914.
- [21] ROPOHL, Günter: *Allgemeine Technologie : Eine Systemtheorie der Technik*. Teilw. zugl.: Karlsruhe, Univ., Habil.-Schr., 1978. 3., überarb. Aufl. Karlsruhe : Universitätsverlag, 2009. – ISBN 9783866443747