



NORDBLICK

Heft 10 | Dezember 2019

Forschung
an der NORDAKADEMIE



NORDBLICK

Heft 10 | Dezember 2019 | Forschung an der NORDAKADEMIE



Impressum

NORDBLICK
Forschung an der NORDAKADEMIE
Heft 10 | Dezember 2019
ISSN-Online 2509-2987

Herausgeber:
Präsidium der NORDAKADEMIE – Hochschule der Wirtschaft
Köllner Chaussee 11 | D-25337 Elmshorn

Redaktion:
Prof. Dr. habil. Stefan Behringer

Redaktionsassistentz:
Simon Hachenberg, M.A.
Anjuli Unruh, M.Sc., LL.M.
Köllner Chaussee 11 | D-25337 Elmshorn
Telefon (04121) 4090 0
nordblick@nordakademie.de

Die nächste reguläre Ausgabe erscheint voraussichtlich im Juni 2020.
Redaktionsschluss: 09. April 2020
Zusendung von Beiträgen bitte an obengenannter E-Mail-Adresse.

INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort	5
<i>Stefan Behringer</i>	

Innovation und Netzwerkeffekte

Social Connectedness and Product Exposure in the Innovation Decision Process	6
<i>Klaus Iffländer und Michael Fretschner</i>	

Innovation und ökonomische Auswirkungen

Hat Künstliche Intelligenz Ökonomische Auswirkungen?.....	24
<i>Henrique Schneider</i>	

Innovation im Ingenieurwesen

A Systems Engineering Approach to the Use of Additive Manufacturing in the Design and Production of Machinery	36
<i>Bernhard Meussen und Benjamin Wagner</i>	

Innovation inder Softwareentwicklung

Anforderungsanalyse in agilen Projekten mit Stakeholder-Boards.....	48
<i>Joachim Sauer und Felix Schaeffer</i>	

VORWORT

Liebe Leserinnen und Leser,

vor Ihnen liegt die zehnte Ausgabe des NORDBLICK. Seit der ersten Ausgabe hat sich viel bewegt: Wir blicken auf neun Ausgaben, 66 Beiträge, zwei Sonderbände und einen Designrelaunch zurück. Wissenschaftler der NORDAKADEMIE und anderen (inter)nationalen Hochschulen, Unternehmensmitarbeiter und unsere Studierenden veröffentlichten Beiträge zu Forschungsprojekten und innovativen Neuerungen in ihren Themengebieten.

Die vorliegende Ausgabe gibt Einblicke in alle Fachbereiche der NORDAKADEMIE und stellt ausgewählte Themen und deren Bezug zu Innovation vor. Mit zwei englischsprachigen Beiträgen und einem Beitrag in schweizerischen Deutsch, besitzt diese Ausgabe einen starken internationalen Charakter.

Iffländer und Fretschner untersuchen in ihrer Studie, welche Auswirkung Netzwerkeffekte auf den Einführungsprozess einer Innovation vermitteln. Hierzu kombinieren sie die Analyse des sozialen Netzwerk eines Golfclubs und die Innovationsentscheidungsprozesse nach Roger. Schneider betrachtet die ökonomischen Auswirkungen von Innovationen. Am Beispiel von künstlicher Intelligenz zeigt er ökonomische Faktoren auf, die direkte Einflüsse auf den Erfolg von künstlicher Intelligenz haben.

In den Beiträgen von Meussen und Wagner sowie Sauer und Schaeffer werden Indikatoren vorgestellt, um Innovationsprojekte in Unternehmen erfolgreich abzuwickeln. Meussen und Wagner leiten aus einer Situationsanalyse Indikatoren für die Messung des Nutzens von 3D-Druckern ab. Die ermittelten Indikatoren stellen Leitlinien für Entscheidungskriterien für 3D-Druck im Vergleich zu herkömmlichen Fertigungstechnologien dar. Mit der Steuerung von agilen Projekten in der Softwareentwicklung beschäftigen sich Sauer und Schaeffer. Mit dem Konzept der Stakeholder-Boards stellen die Autoren einen in der Praxis entwickelten Ansatz vor.

Wir wünschen Ihnen eine angenehme Lektüre

Prof. Dr. habil. Stefan Behringer

Präsident

SOCIAL CONNECTEDNESS AND PRODUCT EXPOSURE IN THE INNOVATION DECISION PROCESS



Klaus Iffländer
Head Of Analytics, YAS.life

Michael Fretschner
Professorship of Marketing & E-Commerce, NORDAKADEMIE – Hochschule der Wirtschaft

Abstract: This study connects two research streams that both share the goal of explaining adoption decisions, but have lacked a proper integration so far: social network analysis and Roger's innovation decision processes. We aim to provide a more detailed understanding of the impact of network effects on the emergent process of adopting an innovation. Drawing on Roger's stages in the innovation decision process, we hypothesize that the exposure to the product innovation and the connectedness in a social network impact each of the process stages – knowledge, persuasion, and decision – in a different way. To test our conceptual model, we use a unique dataset containing members of a German golf club and study the diffusion of an electric golf trolley in this population. We find support for our hypotheses and detect a negative interaction between connectedness and exposure on knowledge of the product class that in turn explains the innovation's perceived relative advantage and finally, its adoption. Our study has several implications for the adoption and diffusion of innovations.

Keywords: Adoption of Product Innovations; Diffusion Theory; Network Position; Social Connectedness; Product Exposure

1. INTRODUCTION

With the rise of online social networks, it becomes increasingly transparent what our friends think, like, and choose on a daily basis. However, this role of social networks in shaping the minds of individuals is not new and does not only pertain to online settings. Rather, the fundamental mechanisms and principles of social networks have been researched for decades and the online social platforms that are so present today often just apply the findings of researchers that have founded this discipline (Festinger et al., 1950; Back, 1950; Dodd, 1955; Coleman et al., 1957; Erdős and Rényi, 1960). One of the most interesting topics to both researchers and platform owners concerns the ways and modes of product diffusions within a given network.

Dr. Klaus Iffländer is Head Of Analytics at YAS.life, a Berlin-based B2B-health-startup. Klaus studied business informatics and wrote his doctoral thesis at Hamburg University of Technology on people's decision-making behaviour towards innovations. He gained experiences at YAHOO in strategic partnership management, at IBM in statistical forecasting of sales figures, and as a business intelligence consultant at Deloitte. At YAS.life, he leads the data science team and drives decisions to build better products that motivate people to live a healthier, more active lifestyle

E-Mail: Klaus@yas.life

Dr. Michael Fretschner, MBR holds the Professorship of Marketing & E-Commerce at the NORDAKADEMIE - Hochschule der Wirtschaft, where he represents the fields of digital marketing, e-commerce, and online market research in teaching, research, and practice from a data-driven perspective. Before joining NORDAKADEMIE, he led Unruly's Insight & Solutions team in Germany, Scandinavia, and the Netherlands as Vice President Northern Europe, designing and implementing custom research projects, ad content testings, and data-driven audience solutions for major advertisers and agencies. Michael earned his Ph.D. in Business Administration from Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) in Munich.

E-Mail: michael.fretschner@nordakademie.de

A research stream complementing the social network school of thought is concerned with studying the drivers of product diffusion from an individual-level perspective (e.g. Choudhury and Galletta, 2015; O'Keefe and McEachern, 1998). This conception is still at the heart of decision theory today. This dualism between an individual's decision-making process and the influence of the social network that surrounds her poses several theoretical questions. On the one hand, there is strong evidence for the powerful influence of a social network on an individual's time of adoption (Valente, 1996), attitudes (McPherson et al., 2001), emotions (Kramer et al., 2014), and even lifestyle choices (Christakis and Fowler, 2007). On the other hand, many researchers have shown that individual consumers follow a clear, internal step-by-step process in order to reach an adoption decision (e.g. Hassinger, 1959). In their view, there are individual differences that concern thresholds and modes of information gathering, but it is clear that the individual reaches a final conclusion by herself. Although a few notable attempts have been made in order to measure and compare the effect of the social network with other marketing activities on the adoption rate (e.g. Sundararajan, 2012; Risselada and Verhoef, 2013), both research streams have not been consistently linked yet. This opens the door for studying the external effects of a social network on internal adoption decisions of an individual. In order to bridge the gap between network-level influence and the individual's cognitive process to reach an adoption decision, we develop and test an empirical model by drawing on Rogers' (2003) innovation decision process. Since we focus on the initial purchase decision, our analysis is limited to the first three phases of the process: knowledge, persuasion, and decision. We relate the outcome of each phase to an actor's social connectedness and product exposure in order to detect the mechanisms of the social network.

2. THEORETICAL FOUNDATION

2.1 Social Connectedness and Product Exposure

Social network theory has shown that a subject's position in a social network has a significant impact on her adoption behavior. In this study, we propose and test two distinct mechanisms of how a social network may influence individual adoption behavior: 1) The direct effect, that has been implied by former studies and 2) the indirect effect (via the individual's knowledge), that has been speculated as a possible explanation for the overall effect. We will introduce hypotheses that provide arguments for both of these mechanisms.

Being more connected in a network is associated with a better flow of communication and therefore a higher chance of coming into contact with an innovation early in the diffusion process (see Rogers and Shoemaker, 1971). This is especially true in contexts where other information channels (like mainstream media or print) have little or no impact. Thus, the level of connectedness within a social network has been repeatedly shown to be a source for valuable information (e.g. Risselada and Verhoef, 2013). Since the landmark study of Granovetter (1973) which showed that widespread network ties yielded better jobs for workers in a Boston suburb than tightly knit local communities, the concept has been a starting point for the development of the theory of social capital. Burt (2004) showed that being in a network position spanning several clusters and with it the access to information that would otherwise not be shared across them is associated with a better capability to generate innovations in an organizational context. A study conducted by Centola (2010) suggests that in the context of innovation diffusion, social reinforcement of the focal behavior efficiently facilitates its spread through the network. Centola (2010) explicitly attributes this phenomenon to locally clustered networks, since individuals receive the same information from multiple connected actors. Highly connected actors received the most information in the form of social reinforcement.

Drawing on previous research that showed how a central network position is related to superior access to information, it seems plausible that the individuals will satisfy this information need by utilizing their surrounding network ties. Thus, we propose:

Hypothesis 1: *The individual's connectedness in the social network will be positively related to her knowledge of the innovation.*

The notion that better connected individuals receive more information from their network contacts has developed into the theory of social capital (Burt, 1993). Although different definitions exist, traditional sociology views social capital as a structural advantage that translates into access to resources that other individuals lack. This view is attributed to the work of Bourdieu (1986) who argues that an individual's position within its field impacts the resources and power she has. Burt (1993) adopts the view of Bourdieu to establish his theory of structural holes: Whenever an individual spans several clusters of more densely connected nodes this individual spans a "structural hole". She connects two groups that otherwise wouldn't be talking to each other. This is equivalent to an information advantage that can be capitalized upon – hence the term "social capital". The benefits of accumulating social capital have been shown in several studies. Being connected to diverse ties is not only an information advantage that can be used to find better jobs. It has also been shown to be beneficial in other types of settings. It is associated with power and influence in organizations (Brass, 1984), and can also help to accumulate more material resources such as money (see Lin (1999) for a more exhaustive review).

While Burt (1980a) introduces the model as a general framework capturing the drivers of human actions, Burt (1980b) applies the model to the context of innovation adoption. Burt develops a mathematical model that proposes that individual evaluations of actions are dependent on two things: 1) personal preferences and 2) structural uniqueness of the actor's network position. In line with Rogers's view of an innovation being dependent on a perception of newness by the adopting unit, the innovation ceases to be an innovation, the more people adopt it. Therefore, Burt proposes that the utility that an actor can gain from adopting the innovation declines over time. After the innovation's initial release into a social system, the utility that an actor can derive from it decreases with the amount of other actors that have already adopted it. This conception leads to several conclusions, most notably that innovations will be adopted first by structurally unique actors.

Burt's proposition, however, is not in accord with several empirical results that show that isolated individuals are not among the first to adopt the innovation. Coleman et al. (1957) assess the social connections of physicians and their prescription behavior for a novel drug. They find that the network position has a strong impact on the time of the prescription (adoption) and that especially highly connected physicians were among the first to prescribe the novel drug. Actors on the fringes of the network often fail to adopt the innovation. Valente (1996) reanalyzes Coleman's study together with two other diffusion studies (Rogers et al., 1970; Rogers and Kincaid, 1981) to establish an explicit connection between the network patterns and the adopter categories proposed by Rogers (2003). Valente also find that innovators are usually highly connected. Other empirical studies corroborate this observation. Durrington et al. (2000), who examine the adoption of a technical service, find that the most connected individuals were among the first to adopt. Angst et al. (2010) show that the same is true on an organizational level by analyzing the adoption of electronic medical records by hospitals. Risselada and Verhoef (2013) investigate the adoption of high-tech products and also find a strong impact of a central network position on the adoption decision, even when accounting for direct marketing activities.

For these reasons, it seems plausible that an actor's adoption decision is significantly derived from her centrality position in a social network which is relevant for the diffusion of the investigated innovation. Thus, we propose:

Hypothesis 2: *The individual's connectedness in the social network will be positively related to her probability to adopt the innovation.*

Product exposure concerns the proportion of adopters in an individual's personal network at a given time. Valente (1996) defines and illustrates the concept with data from Coleman et al. (1966) in order to document individual thresholds that explain when an individual adopts. In Valente's threshold model, exposure is defined in terms of ego networks as the number of alters who have already adopted, divided by the total number of alters in a given network. While Marsden and Podolny (1990) claim that the adoption decision is not impacted by exposure to the product at all, while Valente (1996) shows that the effect is moderated by an individual threshold. He links the adopter categories introduced by Rogers (2003) with a specific threshold value that corresponds to each adopter category. He then presents empirical evidence that individuals with low thresholds engage in collective behavior before many others do, while individuals with high thresholds do so only after most of the group has engaged in the collective behavior (Valente, 1996).

Other studies find that there is a direct influence of exposure on the adoption decision, regardless of an individual threshold (e.g. Aral and Walker, 2011; Iyengar et al., 2008; Durrington et al., 2000). In each of these studies the reasoning is that members of the social network with more exposure to the innovation are better informed about it. Risselada and Verhoef (2013) as well as Barrot and Albers (2008) analyze very detailed datasets and detect evidence for interpersonal influence. Their studies also indicate that there is an information transfer between members of a social network that fosters the diffusion of innovation. In other words: individuals do influence each other in a network context to adopt an innovation. The process of acquiring knowledge through exposure is different, however, from the information flow facilitated by a central network position (captured by hypothesis 1). First, being in a central network position does not necessarily mean that an individual is surrounded by many adopters of the innovation. It is entirely possible to be highly connected within local clusters of individuals who generally oppose the innovation. This would entail little information flow regarding the innovation, while the measure of connectedness would still be high for a central individual in such a cluster. Second, a high exposure means that an individual actually comes into contact with other actors who have already adopted. The process of acquiring knowledge by meeting an adopter or gaining experience with the innovation is much more active and involved. This becomes especially obvious when the individual is asked to report her exposure herself. She will be much more likely to accurately report her exposure to the innovation than a measure of connectedness in a social network, since she is able to recall (at least vaguely) how many of her direct ties are adopters. Therefore, exposure, or being surrounded by adopters of an innovation, represents a different mechanism of acquiring knowledge of an innovation. Finally, Goldenberg et al. (2001) find evidence for high product exposure being only indirectly related to adoption decisions via an individual's knowledge of the product class. We will therefore explicitly model the influence of exposure to the innovation on the individual's knowledge of the product class, leading to:

Hypothesis 3: *The proportion of friends who have already adopted the innovation will be positively related to an individual's knowledge of the product class.*

In hypotheses 1 and 3 we outlined that individuals acquire knowledge about an innovation via interpersonal ties in the two described ways of social connectedness and product exposure. There is no theory suggesting that one of the two proposed mechanisms is superior to the other when acquiring knowledge about an innovation via interpersonal information channels. Rather, both are equally suitable to gain an understanding of the principles of an innovation that is introduced into a social system. We therefore argue that individuals utilizing either of the proposed processes can gain high levels of knowledge of the innovation, but there is no advantage in utilizing both.

Using multiple processes or other channels in addition to the interpersonal channels under investigation here, might be advantageous for especially complex innovations where different types or large amounts of knowledge must be acquired before the principle of an innovation

can be understood (Hansen, 1999). However, this kind of innovation is not the focus of this study. Only individuals that are not in a position to utilize either of the two proposed processes, i.e. who are neither particularly central to a network, nor have a decent level of exposure, will have low levels of knowledge of the innovation. All else equal, individuals in this situation are likely to be “left out”, since they have no way to access information about the innovation via their social ties. This should result in markedly lower levels of knowledge about the innovation. The proposed effect can be tested by defining an interaction term. Both variables, the connectedness of an actor and her exposure are multiplied and the resulting term is tested for its effect on the actor’s knowledge. We therefore introduce

Hypothesis 4: *The interaction term of eigenvector centrality and the proportion of friends who have already adopted the innovation will be negatively related to an individual’s knowledge of the product class.*

2.2 Knowledge and Relative Advantage

It has been argued extensively that an individual’s knowledge of a product or an innovation is gathered to reduce uncertainty (e.g. Klerck and Sweeney, 2007) which represents a crucial factor in the innovation decision process. Ratchford (2001) makes this most explicit by quantifying the costs for acquiring information on an innovation in order to decrease uncertainty for an individual. This view was also adopted by diffusion researchers. Knowledge of a product class has been shown to play an important role in the individual’s decision process to adopt an innovation. Highlighted by Rogers (1976) it is shown to have a major influence in the decision to adopt an innovation. Rogers explicitly cites the Taichung experiment (Freedman et al., 1964) for this contribution to diffusion theory. The authors were able to show in a field experiment that intervention by mass media, meetings, and change agents fostered the accumulation of knowledge about family planning. In another study by Wang et al. (2008), the perception of a new service was investigated. The authors produce compelling evidence that with increasing knowledge about the service under investigation, consumers also developed a clearer perception of the novel functionality and uniqueness of the service. This effect extended to the adoption intention. Therefore, we hypothesize that knowledge will have a direct impact on the adoption decision and introduce:

Hypothesis 5: *The individual’s knowledge of the product class of the innovation will be positively related to her probability to adopt it.*

In Rogers’ (2003) framework on the innovation decision process, he assumes that an individual’s knowledge precedes the recognition of a product’s relative advantage. In the knowledge phase of the process model, the individual collects information on the innovation before she enters the persuasion phase. In this phase, the individual becomes more involved with the attributes of an innovation and engages in different mental processes in order to arrive at a decision to adopt or reject the innovation, e.g. forward planning: “What if I adopt the innovation?” With this thinking, the consumer is more likely to either recognize the relative advantage of an innovation or at least engage in more information seeking. Gathering additional information about the innovation, regardless of the medium used, will decrease the consumer’s perception of risk and uncertainty that is associated with an adoption decision (Rogers, 2003). Studies on risk perceptions and decisions under uncertainty have shown that providing more information is likely to reduce uncertainty, making the consumer more confident towards a decision, and recognize the advantages of an innovation (Ghadim et al., 2005).

While Rogers points out that a clearer recognition of the relative advantage does not necessarily lead to a higher inclination to adopt an innovation, it is certainly an outcome of the mental processes occurring during the persuasion stage. It is also important to note that Rogers does not claim a linear process to be at work. He explicitly notes that there are cases

where a clear need prompts an immediate recognition of the relative advantage of an innovation, which then leads to further information seeking and an accumulation of knowledge about it.

Distinguishing further between different kinds of channels, Rogers (2003) makes another argument for the perception of the relative advantage being preceded by knowledge about the innovation. He distinguishes between mass media and interpersonal channels. While the first is especially useful to acquire a general awareness-knowledge of an innovation, only the latter is suited to “reinforce” (Rogers, 2003) people’s opinions in a way that they form stable perceptions about an innovation (Agarwal and Prasad, 1998). This view is adopted by Agarwal and Prasad (1998) and corroborated with findings from Media Richness Theory (Daft R.H., 1986), which puts communication channels on a “richness” continuum, based on their ability to address the needs of uncertainty. In this view and in line with Rogers (2003), interpersonal channels are especially “rich” due to their capability to deliver personalized information and persuade people, i.e. adjust their views by reducing uncertainty. Agarwal and Prasad (1998) find evidence for this association in the context of the adoption of information technology. They also present evidence that the association between knowledge and the perceived relative advantage is particularly strong when the individuals make use of interpersonal communication channels. More evidence comes from two studies investigating the adoption of high-definition television (Dupagne, 1999) and electronic reading devices (Jung et al., 2011). Both find evidence for the proposed relationship with the latter reporting a highly significant correlation of 0.446 between the awareness of an innovation and its perceived relative advantage.

Therefore, we might assume that in a situation where information about an innovation is gathered mostly by using interpersonal channels, accumulating knowledge about the innovation will be positively associated with an increased perception of the relative advantage:

Hypothesis 6: *The knowledge of the innovation that an individual has will be positively related to that individual’s perception of the innovation’s relative advantage.*

The concept of relative advantage has been widely studied in diffusion research. It seems to be perceived as a key attribute of innovations that drive its adoption (Tornatzky and Klein (1982) provide an overview). Rogers (2003) lists all areas that have been identified to drive adoption decisions and thereby the adoption rate. Even though the topic has been researched numerous times, several studies have identified different areas that impact adoption decisions, depending on the situation and the specifics of the adoption. The only driver that has been consistently reported to have a significant impact is the relative advantage, as defined by Rogers and Shoemaker (1971) (Jung et al., 2011; Hernandez et al., 2007).

Tornatzky and Klein (1982) most rigorously revisited the research on innovation attributes in a meta-analysis. Although they convincingly point out that the field has not been able to develop a standard on how to measure or implement the relative advantage of an innovation, three characteristics were found to have consistent positive associations with the adoption behavior – compatibility, relative advantage and complexity. All three showed a positive impact on the binomial probability of an adoption of the innovation under study. However, relative advantage is the only variable that has been consistently identified as a critical adoption factor. Moore and Benbasat (1991) later put considerable effort into the development of a survey instrument to measure innovation attributes. Even though this set of items was developed for personal workstations, it can easily be adopted to other technological innovations. In line with Tornatzky and Klein (1982), Moore and Benbasat (1991) find that relative advantage has the largest effect on the adoption of the innovation under study. Drawing on these arguments, we posit

Hypothesis 7: *The perceived relative advantage of the innovation will be positively related to the individual’s probability to adopt it.*

Hypothesis 7 also constitutes a competing explanation as to how knowledge impacts the adoption decision. While hypothesis 5 proposes a direct connection, hypotheses 6 and 7 model an indirect effect via consumer's perception of the innovation's relative advantage. All hypotheses are depicted in Figure 1.

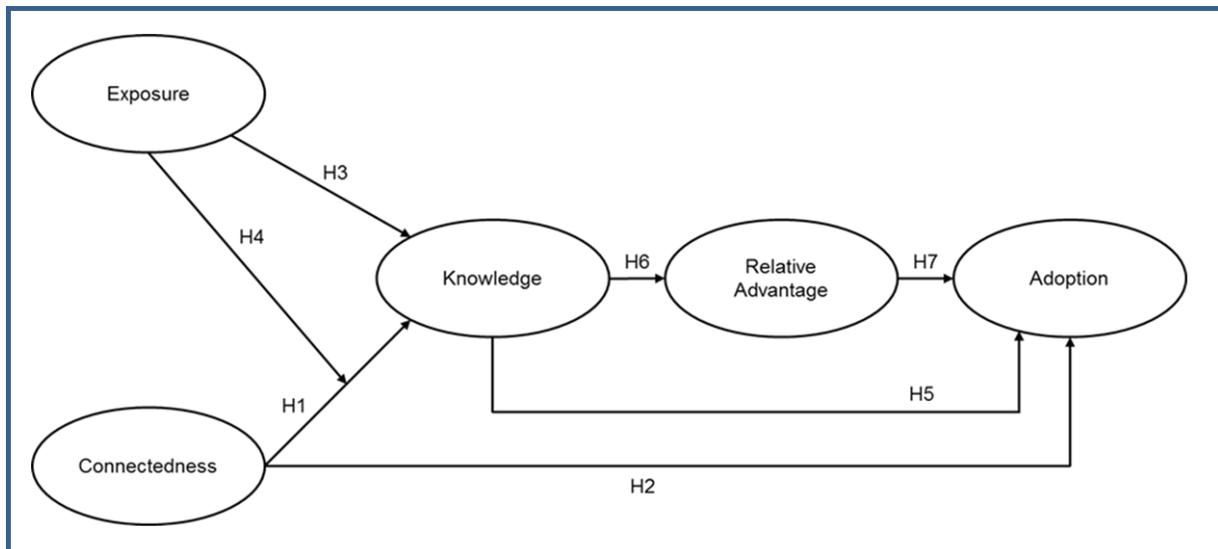


Figure 1: Research Model

3. METHODS

3.1 Sample and Data Collection

In order to test the proposed hypotheses, an empirical field was selected that conformed to the following requirements: (1) There is a clearly defined social system and it can be easily determined who belongs to it; (2) The members of the social system know each other to some extent and the connections are measurable; (3) The social system is confronted with an innovation that is relevant to the members, but not yet completely diffused.

For these reasons, we decided to study the diffusion of electrically powered golf trolleys (e-trolleys) in an urban golf club in northern Germany. In order to collect the data, two distinct sources were used: 1) network data that contained the rounds of golf played among all club members within a focal time period, and 2) survey data that was collected using a questionnaire.

3.1.1 Network Data

The network data was pulled from the golf club's booking system. In order to play a round of golf, each player has to book a time slot with the club's reception first. Each player is identified by her member number and the time slots are recorded and managed in a digital booking system similar to a calendar. The data therefore shows every round played by every player that has been on the course in the focal time period. The records show all rounds played by golfers with the corresponding time slot from the entire year 2013. This data has been used to construct a 2-mode network in which players are connected to events. This has been collapsed to a 1-mode network that directly connects players to each other. Whenever two or more players participated in the same event (a round of golf) they received a tie between them. The resulting network consists of 665 nodes (members of the club that played at least once in 2013) and 5,742 ties between them (self-loops not included). The construction and all transformations of the network data were conducted with ORA NetScenes 3 (Carley et al.,

2013). Eigenvector centrality as introduced later was then calculated for each node using UCINET 6 (Borgatti et al., 2002).

3.1.2 Survey Data

In addition to the extraction of network data from the booking system, golf club members were surveyed about their adoption of electric golf trolleys. The survey was conducted at the end of the time period when the network data was collected, in October and November of 2013. The members could either answer a paper-and-pencil or an online version of the survey. With the support of the golf club's management, the survey was announced and the members were encouraged to take it. As an incentive to take the survey, the first author of the study offered to support the club's trainers in training the member's children for a small amount of time in exchange for each completed questionnaire. The invitation with a link to the survey was sent out via email as part of the club's monthly newsletter. Reminders to participate were sent out two weeks later with the next newsletter following the initial invitation. In addition to the online survey, a paper-based questionnaire was always present in the club house and members were encouraged by the staff as well as posters to take the survey and leave it with the receptionist. In this way, 224 completed surveys were obtained, 84 were taken offline (37.5%) and 140 online (62.5%). Compared with the members that are listed in the booking system (665) this yields a return rate of 33.7%. The 224 surveys were combined with the network dataset using the member ID that was indicated on the survey and then matched with the corresponding records in the network dataset. Unfortunately, 59 surveys could not be matched with a network node.

Of the remaining 165 surveys that could be matched, 6 had to be discarded because more than 40% of the responses were missing. Further, we excluded one outlier after conducting extensive univariate and multivariate outlier analyses according to Hair et al. (2009) using Mahalanobis distances and chi-square-plots (Garrett, 1989; Filzmoser et al., 2005). Before data imputation, we performed several tests in order to examine if the data is missing not at random (MNAR), missing at random (MAR), or missing completely at random (MCAR). Thus, we conducted Little's (1988) test for MCAR and a series of t-Tests and logistic regressions as suggested by Kim and Bentler (2002) to examine the missingness of our model variables. We found our data to be MAR and thus applied Multiple Imputation (MI). We choose MI because it is regarded to perform better in small sample sizes (Graham, 2012) and does not assume a specific distribution of the data. The imputation was computed using Mplus 6 (Muthén and Muthén, 2010).

3.2 Measurement

Adoption Decision. The adoption decision is measured by the individually reported outcome of the subject's decision to purchase the focal innovation of this study, i.e. an electric golf trolley of any producer. In line with Van den Bulte and Joshi (2007), Im et al. (2003), and Moe and Fader (2001) who studied the adoption decisions for consumer goods, our study subjects were asked to indicate in a questionnaire if they own an electric golf trolley (yes/no).

Relative Advantage. Rogers (2003) emphasizes that the relative advantage of an innovation has to be defined specific to each innovation. Thus, there is no common measurable definition for an innovation's relative advantage (see also the critique by Tornatzky and Klein, 1982). The instrument provided by Moore and Benbasat (1991) for personal workstations is commonly adapted to measure the perceived relative advantage of a given innovation. However, the researcher still has to define what exactly the relative advantage is for each innovation. Thus, we explored the perceived relative advantage of electric golf trolleys in a small pilot study at another golf club using in-depth qualitative interviews (N=7) prior to the main study. The purpose of the interviews was to find out which dimensions of electric golf trolleys were perceived to outperform traditional golf trolleys. The analysis of the interviews revealed that potential and actual adopters perceived the following attributes as most advantageous: (1)

increased endurance during a game, (2) increased well-being, (3) increased concentration, (4) comfortable transport of the clubs, (5) owning a modern device, and (6) adequate value for money. In line with that, we constructed a new measurement instrument consisting of six items reflecting the six advantages on a 7-point Likert-scale.

Knowledge. Rogers (2003) distinguishes three types of knowledge that are relevant in the knowledge stage: awareness-knowledge, how-to knowledge, and principles knowledge. In our study, we wanted to grasp the degree of individual knowledge about the focal innovation and thus, we decided to use a measure of awareness-knowledge. The reflective scale developed by Smith and Park (1992) suited this purpose. It is easily adaptable to the product category at hand and consists of four items. Here, subjects indicate their level of (latent) knowledge about the product class in different dimensions by their answers (sample item: 'I can identify differences in the quality of electric golf trolleys from different manufacturers').

Social Connectedness. In order to capture a person's connectedness in her social network, we used the network metric "Eigenvector Centrality" for three reasons: (1) Eigenvector centrality is based on the theoretical concept of centrality, which captures the "importance" or "social capital" of an actor – a person with a high centrality score also has a high potential to come into contact with the innovation; (2) Within the class of centrality measures, eigenvector centrality uniquely captures an actor's position in a network based on all connections, not just direct contacts; (3) Eigenvector centrality has been shown to correctly capture the "flow" of the diffusion of an innovation that is replicated between actors and follows random paths along the network, as described by Borgatti (2005).

Borgatti (2005) concludes that "the eigenvector centrality measure is ideally suited for influence type processes". In our study, eigenvector centrality is meant to capture purely the network position, i.e. a positional advantage reflecting the number and diversity of ties, and not capturing effects of a weighted network that would confound this distinction. In this way, we model the dichotomous situation that either a member meets for a round of golf with an adopter and learns about the innovation this way, or she does not. Remember that the kind of information relevant in the first stage of the adoption process does not represent a complex type of knowledge, but rather a simple piece of information, i.e. the pure awareness of the innovation. Accordingly, we will use a dichotomized network structure and the classic eigenvector centrality according to Bonacich (1987) in order to capture a subject's social connectedness.

Product Exposure. Since connectedness does not reflect the occurrence of any informal talks and their respective contents on and off the golf course, one could argue that eigenvector centrality does not entirely capture the dynamic spread of the innovation or the knowledge about it. Thus, we also capture the extent of exposure to the innovation. In order to operationalize the concept of exposure, we use subjects' self-reported portion of their social circle of friends, golfers, and acquaintances that have already adopted the innovation with a single item measure on a 7-point Likert-scale. By this, we account for the fact that golfers do not only play and interact with other golfers in their own club. There are also guests in the club who are frequently part of a group playing a round of golf without previously knowing each other. If one of these guests already is an adopter this is almost certain to be mentioned during the interaction due to the high visibility of the innovation. While this contact was made by pure chance and cannot be considered part of the focal node's personal network, it still represents at least an observation of the innovation.

4. RESULTS

4.1 Sample Characteristics and Possible Biases

The final sample (N=158) consists of 52 (32.91%) female and 106 (67.09%) male respondents with an average age of 58.61 (SD=12.884). The youngest participant is 17 and the oldest participant is 82 years old. The handicap of the sample ranges from 4.3 to 54 (M=24.684, SD=9.972). 60 (37.97%) participants owned the innovation at the time of data collection and 98 (62.03%) did not. Table 1 summarizes the descriptive results and factor loadings for our model variables and controls.

Construct	Item	Standardized Loading	SD	Mean	Min	Max
Knowledge of the Product Class (KPC)	K1	0.893	1.966	3.313	1	7
	K2	0.848	2.106	3.903	1	7
	K3	0.901	2.074	3.355	1	7
	K4	0.921	1.951	2.784	1	7
Relative Advantage (RA)	RA1	0.846	1.823	5.104	1	7
	RA2	0.928	1.876	4.922	1	7
	RA3	0.891	1.958	4.526	1	7
	RA4	0.609	1.644	5.787	1	7
	RA5	0.406	1.336	5.800	1	7
	RA6	0.444	1.509	3.513	1	7
	Exposure		1.884	4.484	1	7
	Eigenvector		0.032	0.033	0	0.146
	Handicap		9.972	24.684	4.3	54.0
	Age		12.885	58.608	17	82

Table 1: Descriptive Statistics and Factor Loadings

In order to assess whether the sample is representative, three variables were used that were present both in the survey data and as node attributes in the network data: gender, handicap, and age. Gender was tested using Pearson's chi-square test. The distribution of those subjects that could be matched and remained in the final sample was tested against the distribution of those subjects that could not be matched. The chi-square value of 0.826 ($p=0.364$) indicates that there is no significant deviation between the two groups. Handicap was tested with a one-sample T-test. The sample mean (24.68) was tested against the handicap values of the entire club. A T-value of -1.021 and no significant p-values for any of the alternative hypotheses suggests that the mean handicap of the sample is sufficiently representative as well. Age was tested in the same way. A one-sample T-test revealed a significant deviation of the sample against the mean of the entire club's population (54.34). The sample's mean age was higher (58.61). We attribute this deviation to the fact that the focal innovation of this study is obviously more attracting to older golf players. Several T-tests were also conducted to test if there are any differences in central model variables between responses that were obtained in the online and the offline version of the survey. As this was not the case, we can conclude that the two versions of the survey did not introduce any biases.

4.2 Model Estimation

4.2.1 Analytic Technique

In order to test our hypothesized conceptual model, we choose Covariance-based Structural Equation Modeling (CBSEM) over Partial Least Squares-SEM due to its major applications in testing and confirming theoretical model relationships. We employed the WLSMV estimator (Muthén and Muthén, 2010) that shows good statistical properties in terms of parameter estimation and model fit even in small samples. Since the assumption of normality cannot be met for each variable in the present study, this estimator seems to be the best choice for the dataset and model at hand.

4.2.2 Measurement Model

In order to assess the appropriateness of the model measures, Cronbach's and construct reliability (C.R.) are calculated. For construct reliability, the formula in Gefen et al. (2000) was used. Both indicators exceed the recommended minimum score of 0.7 (Gefen et al., 2000) and are therefore concluded to be appropriately reliable. Convergent validity is assessed using the average variance extracted (AVE). According to Foster and Cone (1995) it should be greater than 0.5. This is the case, indicating that the variance shared by a latent construct is greater than its error variance. Discriminant validity is shown by comparing AVE to the squared inter-construct correlation. Since the squared correlation between the two constructs is 0.255 and does not exceed the AVE of either construct it is ensured that the constructs do not relate to each other (Fornell and Larcker, 1981). Table 2 summarizes the measures.

Construct	Estimated Mean	α	C.R.	AVE	Squared Correlation	
					KPC	RA
K	0.794	0.911	0.794	0.962	1	
RA	0.679	0.818	0.517	0.911	0.255	1

Table 2: Reliability and Validity Tests

In line with the recommendation by Hair et al. (2009), loadings of indicator variables were examined. For Knowledge, standardized loadings of K1 to K4 range between 0.848 and 0.921. For Relative Advantage, all indicator loadings exceeded the recommended cutoff-value of 0.5 except for RA5 and RA6. Hair et al. (2009) suggest that indicator variables with loadings below this threshold should be considered for deletion. In this case it was decided to retain them to enhance construct validity.

4.2.3 Model Fit

In order to examine the fit of our proposed model, we draw on several established fit indices. The CFI was 0.983, thus exceeding the recommended minimum of 0.9 (Hu and Bentler, 1999; Hair et al., 2009). This indicates that the model has a significant advantage over the compared model that assumes complete independence of all observed variables. Further, RMSEA of the nested models ranged from 0.064 to 0.073 indicating a "reasonable error of approximation" according to Kline (2004). The results of the chi-square difference tests were then pooled in the usual way (as suggested by Rubin 1987) and revealed a test statistic of 3.139 (p-value = .168). Therefore, it can be concluded that the overall model is not incorrect given a confidence level of 0.05. Further, we calculated a TLI of 0.979 which also exceeds the minimum of 0.9

(Marsh et al., 2004). In addition, we examined R^2 in the context of SEMs that include dichotomous dependent variables (McKelvey and Zavoina, 1975). Adoption has an R^2 estimate of .736, Knowledge has an R^2 of .177, and Relative Advantage has an R^2 of .256.

4.2.4 Structural Model

To test our hypotheses, we examine the direction, magnitude, and significance of the standardized path coefficients in the model. According to Muthén and Muthén (2010), we calculated the effect sizes as a function of one standard deviation change in the covariate. Figure 2 summarizes the standardized estimation results.

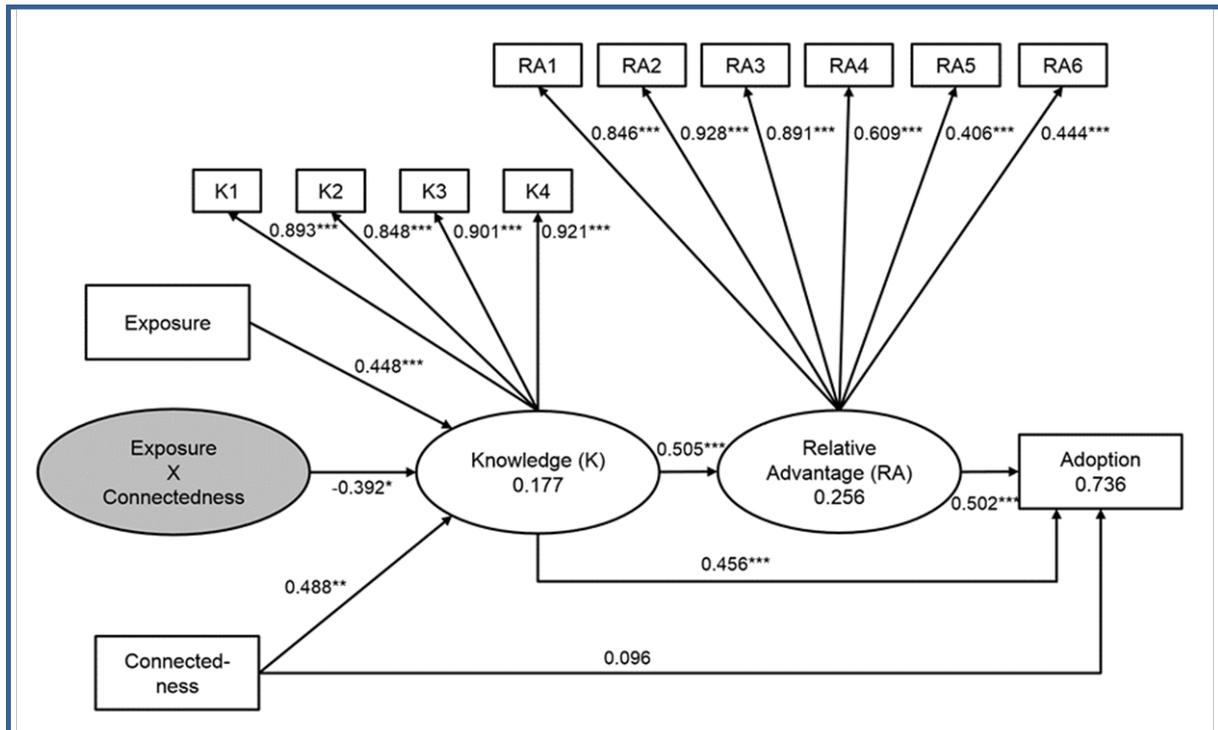


Figure 2: Results for the Structural Model

Looking at the results for connectedness, we find a significant effect of Connectedness on Knowledge of 0.488 ($p < 0.05$), constituting support for H1. The hypothesized direct association between Connectedness and Adoption cannot be supported by looking at the direct effect. The direct effect is very small (0.096) and not significant at the 0.1 level. However, if the indirect effect is taken into account, the total effect is significant at the 0.05 level. The total effect of 0.439 is composed of the direct effect and the indirect effect of 0.344, which is in turn composed of two indirect effects via Knowledge (0.222) and via Knowledge and Relative Advantage (0.132; double mediation). Both these specific indirect effects are significant at $p < 0.05$. Taken together, this constitutes support for H2.

Examining the indirect effect of Exposure on Adoption reveals a similar pattern. Both path coefficients (Exposure on Knowledge and Knowledge on Adoption) are significant at $p < 0.01$. We find a moderate effect of Exposure on Knowledge of 0.448 ($p < 0.01$), which in turn supports H3. The interaction effect between Exposure and Connectedness is significant at $p < 0.1$ and negative, as hypothesized in H4 with an effect size of -0.392. In order to better understand the nature of the interaction, we plot the effect in Figure 3.

Figure 3 illustrates that although individuals with lower exposure and lower eigenvector centrality have significantly lower knowledge of the product class, for those with low exposure, knowledge of the product class rises sharply as eigenvector centrality increases. In contrast, for those with high exposure, knowledge of the product class is already high and increases

only slightly as eigenvector centrality increases. Notably, the figure illustrates that knowledge of the product class does not differ significantly between 1) individuals with high levels of both eigenvector centrality and exposure, 2) individuals with high exposure and low eigenvector centrality, and 3) individuals with low exposure and high eigenvector centrality.

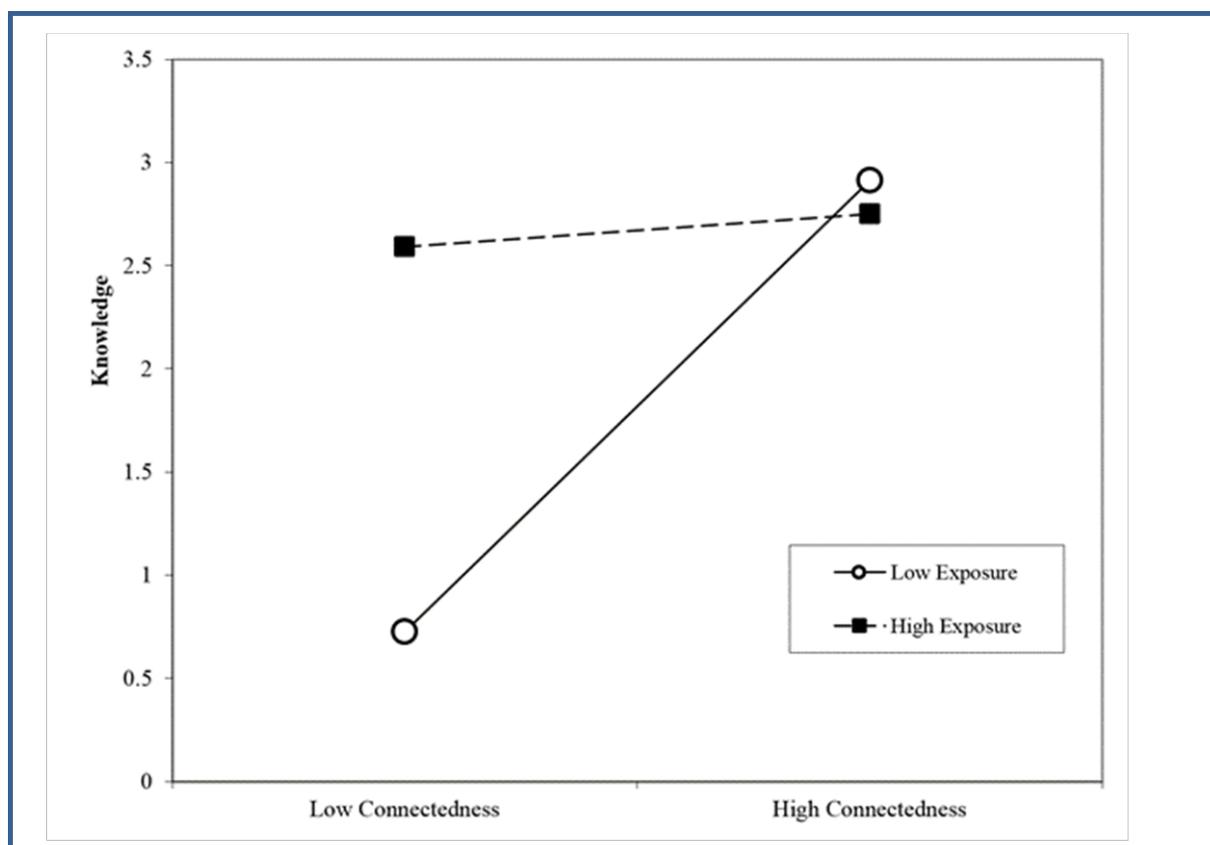


Figure 3: Interaction Effect of Social Connectedness and Exposure on Knowledge of the Product Class

Further, a moderate effect of 0.456 ($p < 0.01$) is revealed for the impact of Knowledge on Adoption. Therefore, H5 is also supported. H6, which states that the perceived relative advantage is influenced by knowledge of the product class, is strongly supported with an effect size of 0.505 ($p < 0.01$). Finally, the effect of Relative Advantage on Adoption is moderate at 0.502 ($p < 0.01$), indicating strong support for H7.

4.2.5 Robustness Checks

To test alternative explanations which drive the adoption of the innovation, three control variables were tested – Age, Gender, and Handicap. First, we entered each control variable separately. Here, we only found a significant positive effect of Age on Adoption ($b = 0.356$, $p < 0.01$). Besides its significant impact on Adoption, Age changed the weights of several other model paths, but all of them remained significant as in the proposed research model.

In our next robustness check model, we included all three control variables simultaneously. In this model Gender had a weak effect with a standardized path coefficient of 0.139 ($p < 0.1$) and Handicap yielded a slightly larger standardized path coefficient of -0.196 ($p < 0.05$). Age yielded a moderate effect with a standardized path coefficient of 0.434 ($p < 0.01$). It is therefore regarded as an important predictor of the decision to adopt the innovation. When controlling for Age, Gender, and Handicap, Knowledge and Relative Advantage represent the main drivers of the adoption decision while Connectedness plays a less important role.

5. CONCLUSION

The current study observed the diffusion of an innovative piece of golf equipment that has not completely diffused yet. Several hypotheses were developed to get an understanding of the specific mechanisms governing the adoption of the innovation when the adoption is closely related to and affected by a social network.

The main conclusion from the study is that the adoption of an innovation can be significantly explained by how individual actors are embedded in their social network. This highlights the role of social connectedness and product exposure within social networks. Thus, our study strengthens and extends findings by Valente (1996) and Centola (2010) by specifically connecting network variables to the innovation decision process. On the one hand, connectedness within a social network reflects an individual's structural interest to adopt an innovation. On the other hand, product exposure reflects the likelihood of coming into contact with the innovation. Both drivers are significantly related to the accumulation of knowledge which in turn helps to form a realistic and adequate perception of the relative advantage of the innovation. Both of these constructs – knowledge and perceived relative advantage – finally drive the actual adoption decision.

Literature distinguishes between two types of social influence that play a major role in adoption decisions: homophily and contagion. Homophily refers to similar attributes of connected nodes or similar behavior that can be attributed to the nodes being similar in some respect (e.g. similar preferences). In this sense, the adoption of a behavior or an innovation is due to mere imitation of other peers. Contagion refers to actual influence occurring between peers. Aral et al. (2009) makes this distinction very clear and argues that the two phenomena have often been confused in previous studies. He further highlights that "pure" homophily (in the strict sense) is the reason for 50% of the adoptions explained by network phenomena. Since one limitation of the present study is that the time of adoption could not be measured for all nodes in the network, the effect of exposure on the network has to be interpreted against this background. The findings of Aral et al. (2009) suggest that much of the effect that is attributed to exposure is due to homophily, i.e. golfers that play together also have similar preferences and this is the reason they adopt.

By investigating the mediating effect of an individual's knowledge of the product class, we were able to shed light on the role that the social network plays via the accumulation of knowledge about an innovation on the adoption decision. As hypothesized, how an actor is embedded in her social network as well as her exposure to the innovation predicts how well she is informed about the product class. This extends previous findings by Valente (1996) and Iyengar et al. (2008). Instead of relating structural properties of nodes in a network with a focal behavior, we also investigated the proposed mechanisms that bring about the decision to adopt an innovation. There was also evidence for the hypothesized negative interaction effect of connectedness and exposure on knowledge of the product class. This provides support for a substitution effect of these two channels of acquiring knowledge. When both coincide – a highly connected individual who is largely exposed to the innovation –, there is no additional gain in knowledge. This also means that actors with substandard access to information due to low centrality and low exposure are running a risk of not accumulating enough knowledge to grasp the innovation's benefits.

5.1 Managerial Implications

Our results entail several implications for management practice. First, manufacturers looking to promote an innovation through a social network should employ measures that effectively

reach large parts of the social network that is relevant for the innovation's diffusion. This can be done by increasing the visibility of the innovation within the network. Depending on the type of product, this can pertain to the design of the product or promotional activities. This will foster diffusion of knowledge about the product through social channels and drive adoptions.

Second, since a consumer's acquired knowledge of the product significantly drives her perception of the innovation's relative advantage, it is vital that manufacturers and marketers ensure that the relative advantage is clearly understood. Especially with an innovation that is heavily promoted between consumers in their relevant social networks, marketers need to keep in mind that what is communicated about an innovation is beyond their control. Consumers will expose each other to the innovation and this communication is the seed for forming perceptions about the relative advantage. If the key benefits and USP of an innovation in relation to a previous product are clearly and instantly understood, it will help to spread knowledge about it and promote favorable attitudes toward it.

Third, we found that consumers with higher levels of connectedness tend to adopt an innovation earlier. Marketers could make use of this principle by trying to identify and target highly central individuals, knowing about their higher interest to be among the earlier adopters. This would also impact subsequent waves of consumers becoming exposed to the innovation.

5.2 Limitations and Future Research

As with any study, the present investigation has its limits. The first concerns the generalizability of the results to other consumers and product innovations. The product in this study is expensive enough to not be regarded as a purchase that is made on impulse (models start at approximately 300€) and the population to which the product is relevant represents a relatively broad range in age groups. However, since the product category is specific to the sport of golf, it is possible that the observed effects are also specific to a certain demographic. Thus, studies investigating more product categories could enhance external validity.

Further, our model may be subject to reversed causality. Due to no information on the time of adoption and preceding variables, it is possible that the adopters have built their knowledge and perceptions of relative advantage after adopting the e-trolley.

Another drawback relates to potential advertising and promotional effects that the research design did not account for. As the market matures and more manufacturers compete for customers it is possible that next to information flows in the social network, more and more advertisements impact adoption and diffusion. Thus, a longitudinal study that records the adoption at different points in time as well as marketing activities by manufacturers could resolve these questions.

6. REFERENCES

- Agarwal, R. and Prasad, J. (1998). The antecedents and consequents of user perceptions in information technology adoption. *Decision Support Systems*, 22(1):15–29.
- Angst, C. M., Agarwal, R., Sambamurthy, V., and Kelley, K. (2010). Social Contagion and Information Technology Diffusion: The Adoption of Electronic Medical Records in U.S. Hospitals. *Management Science*, 56(8):1219–1241.
- Aral, S., Muchnik, L., and Sundararajan, A. (2009). Distinguishing influence-based contagion from homophily-driven diffusion in dynamic networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(51):21544–9.
- Aral, S. and Walker, D. (2011). Creating Social Contagion Through Viral Product Design: A Randomized Trial of Peer Influence in Networks. *Management Science*, 57(9):1623–1639.

- Back, K. (1950). Briefer Studies and Annotations: The Methodology of Studying Rumor Transmission. *Human Relations*, 3(3):307–312.
- Barrot, C. and Albers, S. (2008). Did They Tell Their Friends? - Using Social Network Analysis to Detect Contagion Processes. *Media and Marketing*, 49:1–39.
- Bonacich, P. (1987). Power and Centrality: A Family of Measures. *American Journal of Sociology*, 92(5):1170.
- Borgatti, S. P. (2005). Centrality and network flow. *Social Networks*, 27(1):55–71.
- Borgatti, S. P., Everett, M. G., and Freeman, L. C. (2002). *Ucinet for Windows: Software for Social Network Analysis*.
- Bourdieu, P. (1986). The forms of capital. In Richardson, J., editor, *Handbook of Theory and Research for the Sociology of Education*. Greenwood, Westport, CT.
- Brass, D. (1984). Being in the Right Place: A Structural Analysis of Individual Influence in an Organization. *Administrative Science Quarterly*, 29:518–539.
- Burt, R. (1993). The social structure of competition. In Swedberg, R., editor, *Explorations in economic sociology*, chapter 3. Russell Sage Foundation.
- Burt, R. (2004). Structural Holes and Good Ideas. *American Journal of Sociology*, 110(2):349–399.
- Burt, R. S. (1980a). Actor Interests in a Social Topology: Foundation for a Structural Theory of Action. *Sociological Inquiry*, 50(2):107–132.
- Burt, R. S. (1980b). Innovation as a structural interest: rethinking the impact of network position on innovation adoption. *Social Networks*, 2(4):327–355.
- Carley, K. M., Pfeffer, J., Reminga, J., Storrick, J., and Columbus, D. (2013). *ORA User's Guide*. Institute for Software Research, School of Computer Science, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, 2013 edition.
- Centola, D. (2010). The spread of behavior in an online social network experiment. *Science*, 329(5996):1194–7.
- Choudhury, V. and Galletta, D. (2015). Exploiting the internet: Strategies and frameworks for a small business. *Journal of Small Business Strategy*.
- Christakis, N. and Fowler, J. (2007). The spread of obesity in a large social network over 32 years. *New England journal of medicine*.
- Coleman, J., Katz, E., and Menzel, H. (1957). The diffusion of an innovation among physicians. *Sociometry*, 20:253–270.
- Coleman, J. S., Katz, E., Menzel, H., and Columbia University Bureau of Applied Social Research (1966). *Medical innovation; a diffusion study*. Bobbs-Merrill Co.
- Daft R.H., R. L. (1986). Organizational Information Requirements, Media Richness, and Structural Design. *Management Science*, 32, 5, pages 554–571.
- Dodd, S. C. (1955). Diffusion is Predictable: Testing Probability Models for Laws of Interaction. *American Sociological Review*, 20(4):392.
- Dupagne, M. (1999). Exploring the Characteristics of Potential High-Definition Television Adopters. *Journal of Media Economics*, 12(1):35–50.
- Durrington, V. a., Repman, J., and Valente, T. W. (2000). Using Social Network Analysis To Examine the Time of Adoption of Computer-Related Services among University Faculty. *Journal of Research on Computing in Education*, 33:16–27.
- Erdős, P. and Rényi, A. (1960). On the evolution of random graphs. *Publications of the Mathematical Institute of the Hungarian Academy of Sciences*, 5(1):17–61.
- Festinger, L., Back, K. W., and Schachter, S. (1950). *Social pressures in informal groups; a study of human factors in housing*. Stanford University Press, 1 edition.
- Filzmoser, P., Garrett, R. G., and Reimann, C. (2005). Multivariate outlier detection in exploration geochemistry. *Computers and Geosciences*, 31(5):579–587.

- Fornell, C. and Larcker, D. F. (1981). Evaluation Structural Equation Models with Unobservable Variables and Measurement Error. *Journal of Marketing Research*, 18:39 – 50.
- Foster, S. L. and Cone, J. D. (1995). Validity issues in clinical assessment. *Psychological Assessment*, 7(3):248–260.
- Freedman, R., Takeshita, J. Y., and Sun, T. H. (1964). Fertility and Family Planning in Taiwan: A Case Study of the Demographic Transition. *American Journal of Sociology*, 70:16.
- Garrett, R. (1989). The chi-square plot: a tool for multivariate outlier recognition. *Journal of Geochemical Exploration*.
- Gefen, D., Straub, D., and Boudreau, M.-C. (2000). Structural equation modeling and regression : Guidelines for research practice. *Communications of the Association for Information Systems*, 4(7):1–78.
- Ghadim, A. K. A., Pannell, D. J., and Burton, M. P. (2005). Risk, uncertainty, and learning in adoption of a crop innovation. *Agricultural Economics*, 33(1):1–9.
- Goldenberg, J., Libai, B., and Muller, E. (2001). A Complex Systems Look at the Talk of the Network: Process of Word-of-Mouth Underlying. *Marketing letters*, 12:211–223.
- Graham, J. W. (2012). *Missing Data: Analysis and Design*. Springer.
- Granovetter, M. (1973). The strength of weak ties. *The American Journal of Sociology*, 78(6):1360–1380.
- Hansen, M. T. (1999). The search-transfer problem: The role of weak ties in sharing knowledge across organization subunits. *Administrative Science Quarterly*, 44(1):82–111.
- Hassinger, E. (1959). Stages in the adoption process. *Rural Sociology*, 24(1):52–53.
- Hernandez, J. M. C., Mazzon, J. A., and Jose Mauro C. H, J. a. M. (2007). Adoption of internet banking: proposition and implementation of an integrated methodology approach. *International Journal of Bank Marketing*, 25(2):72–88.
- Hu, L. and Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 6(1):1–55.
- Im, S., Bayus, B. L., and Mason, C. H. (2003). An Empirical Study of Innate Consumer Innovativeness, Personal Characteristics, and New-Product Adoption Behavior. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 31(1):61–73.
- Iyengar, R., Van den Bulte, C., Valente, T. W., and Institute, M. S. (2008). Opinion leadership and social contagion in new product diffusion. *Marketing Science Institute*.
- Jung, J., Chan-Olmsted, S., Park, B., and Kim, Y. (2011). Factors affecting e-book reader awareness, interest, and intention to use. *New Media and Society*, 14(2):204–224.
- Kim, K. and Bentler, P. (2002). Tests of homogeneity of means and covariance matrices for multivariate incomplete data. *Psychometrika*.
- Klerck, D. and Sweeney, J. C. (2007). The Effect of Knowledge Types on Consumer- Perceived Risk and Adoption of Genetically. *Psychology & Marketing*, 24:171–193.
- Kline, R. B. (2004). *Principles and practice of structural equation modeling*. Guilford Press.
- Kramer, A. D. I., Guillory, J. E., and Hancock, J. T. (2014). Experimental evidence of massive-scale emotional contagion through social networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, pages 1320040111–.
- Lin, N. (1999). Building a network theory of social capital. *Connections*, pages 3–29.
- Little, R. (1988). A test of missing completely at random for multivariate data with missing values. *Journal of the American Statistical Association*.
- Marsden, P. V. and Podolny, J. (1990). Dynamic analysis of network diffusion processes. In J. Weesie and H. Flap (Eds.), *Social Networks Through Time*. Utrecht, The Netherlands: ISOR.

- Marsh, H. W., Hau, K.-T., and Wen, Z. (2004). In Search of Golden Rules: Comment on Hypothesis-Testing Approaches to Setting Cutoff Values for Fit Indexes and Dangers in Overgeneralizing Hu and Bentler's (1999) Findings. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 11(3):320–341.
- McKelvey, R. and Zavoina, W. (1975). A statistical model for the analysis of ordinal level dependent variables. *Journal of mathematical sociology*.
- McPherson, M., Smith-Lovin, L., and Cook, J. M. (2001). Birds of a Feather: Homophily in Social Networks.
- Moe, W. W. and Fader, P. S. (2001). Modeling Hedonic Portfolio Products: A Joint Segmentation Analysis of Music Compact Disc Sales. *Journal of Marketing Research*, 38(3):376–385.
- Moore, G. and Benbasat, I. (1991). Development of an instrument to measure the perceptions of adopting an information technology innovation. *Information systems research*.
- Muthén, L. K. and Muthén, B. O. (2010). *Mplus User's Guide*. Muthén and Muthén, Los Angeles, sixth edition.
- O'Keefe, R. M. and McEachern, T. (1998). Web-based customer decision support systems. *Communications of the ACM*, 41(3):71–78.
- Ratchford, B. (2001). The Economics of Consumer Knowledge. *Journal of Consumer Research*, 27:397–411.
- Risselada, H. and Verhoef, P. C. (2013). Dynamic Effects of Social Influence and Direct Marketing on the Adoption of High-Technology Products. *Journal of Marketing*.
- Rogers, E., Ascroft, J., and Röling, N. (1970). Diffusion of Innovation in Brazil, Nigeria, and India.
- Rogers, E. M. (1976). New Product Adoption and Diffusion. *Journal of consumer Research*, 2.
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of Innovations*. Free Press, New York, 5 edition.
- Rogers, E. M. and Kincaid, D. L. (1981). *Communication Networks: Toward a New Paradigm for Research*. The Free Press.
- Rogers, E. M. E. and Shoemaker, F. F. F. (1971). *Communication of Innovations; A Cross-Cultural Approach*. Free Press, New York, 2 edition.
- Smith, D. and Park, C. (1992). The effects of brand extensions on market share and advertising efficiency. *Journal of Marketing Research*.
- Valente, T. W. (1996). Social network thresholds in the diffusion of innovations. *Social Networks*, 18(1):69–89.
- Van den Bulte, C. and Joshi, Y. V. (2007). New Product Diffusion with Influentials and Imitators. *Marketing Science*, 26(3):400–421.
- Wang, Q., Dacko, S., and Gad, M. (2008). Factors influencing consumers' evaluation and adoption intention of really - New products or services: Prior knowledge, innovativeness and timing of product evaluation. *Advances in Consumer Research*, 35:416–422.

HAT KÜNSTLICHE INTELLIGENZ ÖKONOMISCHE AUSWIRKUNGEN?



Henrique Schneider

NORDAKADEMIE – Hochschule der Wirtschaft, Elmshorn

Abstract: Dieser Beitrag gibt einen Überblick über die voraussichtlichen makroökonomischen Auswirkungen der Künstlichen Intelligenz (KI). Vor dem Hintergrund der mikroökonomischen Theorie wird hier behauptet: Die Auswirkungen der KI hängen primär davon ab, wie individuelle Akteure sie mitgestalten. Mitgestaltung setzt Wandlungsfähigkeit voraus, welche wiederum eine Funktion des Humankapitals ist. Wegen dieser Verkettung, welche sich auf der Ebene des einzelnen Akteurs materialisiert, entfaltet die KI nicht eine makroökonomische, sondern verschiedene Auswirkungen, die jeweils abhängig von der jeweiligen Situation und des jeweiligen Akteurs individuell ausfallen.

Keywords: Künstliche Intelligenz, Strukturwandel, Wandelfähigkeit, Humankapital

1. EINLEITUNG: «PASCALINE» UND «DIFFERENCE ENGINE»

Marvin Minsky (1927-2016) gilt als Vordenker der «Artificial Intelligence AI» oder Künstlichen Intelligenz KI. Schon im Jahr 1966 gab er eine erste Definition des Gebiets: «Artificial Intelligence is the science of making machines do things that would require intelligence if done by men (Minsky & Papert 1972: 3).» Ins Deutsche kann seine Definition wie folgt übertragen werden: «Künstliche Intelligenz ist die Wissenschaft der Herstellung von Maschinen, die Dinge bewerkstelligen, für die Intelligenz von Menschen notwendig wäre.»

Folgt man dieser Auffassung, wäre auch der heutige Taschenrechner eine künstliche Intelligenz. Schliesslich ist er eine Maschine, die rechnen kann. Rechnen wird gemeinhin als eines der «Dinge» betrachtet, für welche die Intelligenz von Menschen, das mathematische Denkvermögen, notwendig ist. Zwar würde man heute den Taschenrechner nicht als erstes Beispiel einer KI bezeichnen, doch zu unterschiedlichen Zeitpunkten seiner Entwicklung wurde er wohl als Erweiterung des menschlichen Gehirns oder Geistes verstanden (Ifrah et al.: 2000).

Doch nicht nur die Einschätzung des Taschenrechners als «intelligent» hat sich verändert. Auch das in seinen Entwicklungsschritten jeweils abgegebene Leistungsversprechen wandelte sich. Blaise Pascal (1623-1662) erfand um 1642 eine Rechenmaschine, die addieren und später auch subtrahieren konnte. Er wollte damit den Kaufleuten das Leben einfacher machen. Pascal, der in seinen Schriften die Maschine, die später «Pascaline» genannt wurde, als maschinelle Intelligenz taxierte, verstand sie als praktische Hilfe für den Alltag eines Gewerbes (Vidal & Vogt: 2011). Es lohnt sich, dieses Leistungsversprechen zu unterstreichen. Pascal konzipierte den Rechner utilitaristisch, also als Instrument.

Ganz anders dachte Charles Babbage (1791-1871). Im Jahr 1822 entwickelte er die «Difference Engine» und machte sich später auf, eine verbesserte, leistungsfähigere Version zu bauen, die «Analytical Engine». Diese Rechner konnten alle vier mathematischen Grundoperationen. Doch das von Babbage abgegebene Leistungsversprechen war ein ganz anderes. Er stellte in Aussicht, dass diese Maschinen den Aufbau der Gesellschaft auf den Kopf stellen würden und insbesondere die Armut besiegen würden (Hyman: 1985). Auch hier lohnt es sich, das Leistungsversprechen zu betonen. Babbage meinte, der Rechner würde die Gesellschaft revolutionieren.

Was ist daraus geworden? Der zeitgenössischen Rechner und sogar der Taschenrechner können mehr, als sich Pascal oder Babbage erträumten. Er ist leistungsfähig, doch er – und sein Wesensverwandter, der Computer – werden viel eher im Sinne Pascals als im Sinne Babbages eingesetzt. Taschenrechner und Computer werden als Instrumente eingesetzt. Von allein haben sie keine Gesellschaften revolutioniert und es ist schwer zu behaupten, sie wären der Auslöser einer Revolution gewesen. Die Armut wurde auch noch nicht besiegt – trotz Rechner und Computer.

Trotzdem sollte die Bedeutung der Taschenrechner, Rechner und Computer nicht heruntergespielt werden. Sie wurden in den Alltag integriert. Als Instrumente vereinfachen sie verschiedene Vorgänge. Akteure mit verschiedenen Hintergründen setzen diese Maschinen in verschiedenen Situationen produktiv ein. Vereinfachung und Produktivität schaffen neue Einsatzmöglichkeiten und Freiräume für Akteure.

Diese Episode soll in die Problemstellung einleiten: Oft wird über KI vor allem im Zusammenhang mit ihrer technischen Entwicklung und ihren Auswirkungen auf die Gesellschaft diskutiert. Vor dem Hintergrund der ökonomischen Theorie ist es jedoch ergiebiger, zwischen verschiedenen Leistungsversprechen der KI zu unterscheiden. Einerseits geht es um die vermeintliche ökonomische und gesellschaftliche Revolution, welche sie bringen könnte oder sollte. Andererseits gibt es ihre instrumentelle Dimension, oder wie sie in den Alltag einbezogen wird.

Dieser Beitrag beantwortet die Frage: Hat die KI ökonomische Auswirkungen? Nach dieser Einleitung geht er auf das makroökonomische Gefüge ein und überprüft das Leistungsversprechen «ökonomische und gesellschaftliche Revolution». Dann analysiert er den mikroökonomischen Sachverhalt indem er die Theorie des Humankapitals auf das Leistungsversprechen «evolutionäre Integration» appliziert.

2. MAKROÖKONOMISCHE SZENARIEN

Im öffentlichen Diskurs stehen die gesamtgesellschaftlichen und ökonomischen Auswirkungen der KI im Mittelpunkt. Um diese zu erfassen, werden diverse Prognosen erstellt. Typischerweise wird dabei auf die wachsenden Umsätze mit KI und Applikationen, die auf KI basieren, der nächsten Jahre verwiesen.

Üblicherweise wird KI dafür extensional definiert. Zur KI zählen Technologien und Methoden in den Bereichen Wahrnehmen – «Sense»: «Computer Vision» und «Audio Processing» – Verstehen – «Comprehend»: «Natural language processing» und «Knowledge Representation» – und Umsetzen – «Act»: «Machine Learning» und «Expert Systems» (Purdy & Daugherty: 2016). Beispiele für die Anwendung dieser Technologien sind etwa die Interaktion mit Kundschaft, Identitätserkennung, Kognitive Robotik, Visualisierung von Daten, Sprachanalyse und viele mehr.

Abbildung 1 zeigt eine Prognose der weltweiten Gesamtumsätze im KI-Markt, ausgedrückt in Milliarden US-Dollar. Der KI-Markt beinhaltet Geschäftsbeziehungen, welche die soeben genannten Technologien und Methoden anwenden.

Beträgt der weltweite Umsatz mit KI-basierten Produkten und Dienstleistungen gemäss Abbildung 1 im Jahr 2015 noch 126 Milliarden US-Dollar, sollte er im Jahr 2024 auf über 3 000 Milliarden angestiegen sein. Davon sollen unter anderem etwa 2 000 Milliarden auf Finanzdienstleistungen entfallen, 800 Milliarden auf den Transport und 70 Milliarden auf den Bereich des Maschinenlernens (Transparency Market Research: 2017).

Auf dem ersten Blick sind sowohl das Wachstum als auch die absoluten Zahlen beeindruckend. Doch sie sind nicht aussergewöhnlich. Zum Vergleich betragen der weltweite Umsatz aus Autoverkäufen im Jahr 2018 um die 4 000 Milliarden US-Dollar (Ibisworld 2019a) und jener für Getränke aller Art über 2 500 Milliarden (Ibisworld 2019b). Eine auf Jahresdurchschnittswerte umgerechnete Wachstumsrate von etwa 233%, wie sie in der Abbildung 1 impliziert ist, konnten auch schon andere Märkte ausweisen, zum Beispiel im Bereich der Pflege, Gesundheit, Haushaltsgeräte oder Vermögensverwaltung (Chase & Uday: 2007).

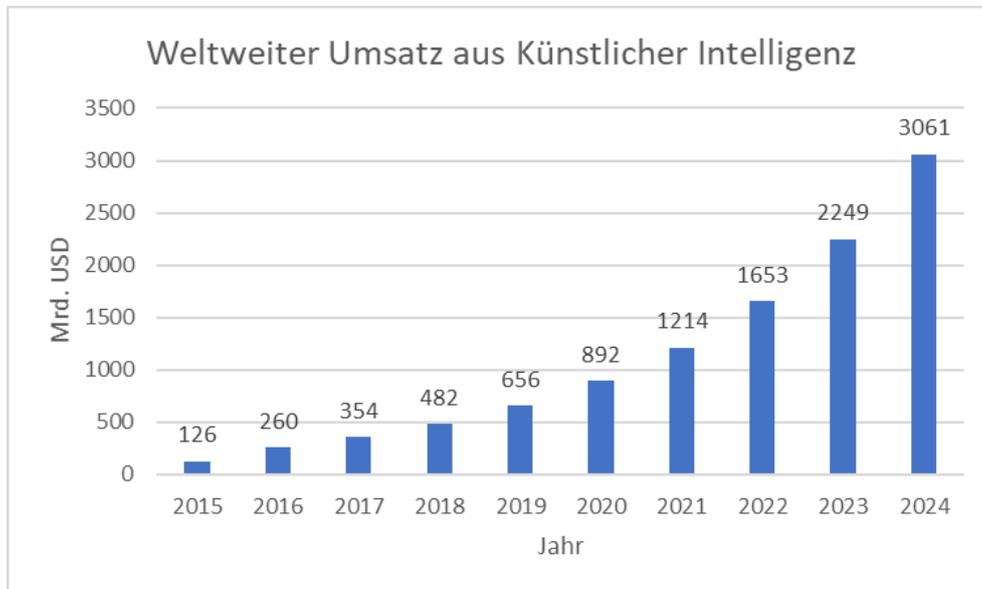


Abbildung 1: Entwicklung des weltweiten Umsatzes mit KI. Quelle: Transparency Market Research: 2017.

Abbildung 2 zeigt eine Prognose zur Auswirkung von KI auf das Wirtschaftswachstum ausgewählter Länder. Wirtschaftswachstum wird darin als relative Zunahme des jährlichen Bruttoinlandsprodukts BIP verstanden. Dabei wird eine «BIP Baseline», d. h. eine Entwicklung des BIP ohne umfassenden Einsatz von KI, mit einer Vergrößerung des BIP unter umfassenden Einsatz von KI verglichen (Purdy & Daugherty: 2016).

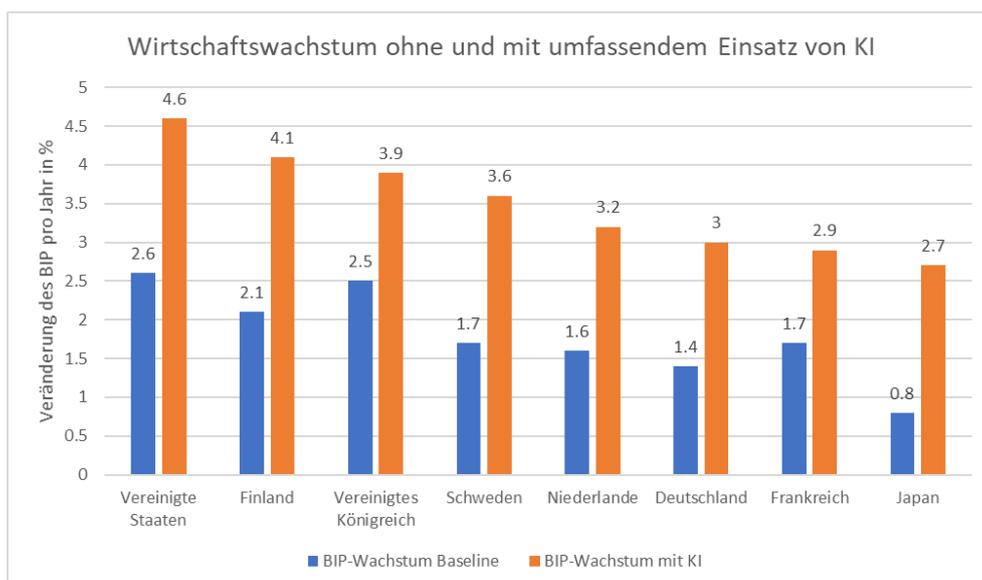


Abbildung 2: Jährliches Wirtschaftswachstum (in Prozent) ohne und mit umfassendem Einsatz von KI. Quelle: Purdy & Daugherty: 2016.

Auch diese Prognose stimmt positiv. In einigen Fällen soll das BIP-Wachstum sogar verdoppelt werden. Anders als die Prognose, welche der Abbildung 1 zu Grunde liegt, modellieren die Autoren hier die KI als zusätzlichen Produktionsfaktor. In den meisten makroökonomischen Modellen werden zwei Produktionsfaktoren berücksichtigt: Arbeit und Kapital, wobei Kapital sowohl den Bestand von Zahlungsmitteln als auch den Maschinen- und Technologiepark umfasst. Purdy & Daugherty (2016) nehmen an, KI sei ein eigenständiger, dritter Produktionsfaktor. In ihren Augen werden dadurch die Produktions- und Konsummöglichkeiten aller Wirtschaften durch KI massiv verbessert. Mit anderen Worten: Diese Prognose stellt den derzeit optimistischsten Entwicklungsfall.

Purdy & Daugherty (2016) dienen zur Verdeutlichung von zwei Problemkreisen. Erstens und eher trivial, sind Prognosen zur KI mit vielen Definitionsproblemen konfrontiert. Dazu gehören zum Beispiel die genaue Abgrenzung von KI, Digitalisierung und Automation oder der Einbezug struktureller Veränderungen der Wirtschaft und des Wirtschaftens in die Modellierung. Zweitens und viel herausfordernder stützen sich diese Modelle auf Annahmen bezüglich der Frage, wie die KI die Produktivität beeinflusst. Purdy & Daugherty (2016) treffen dann die optimistische Annahme, KI erhöhe die Produktivität, bzw. begründe eine eigene Art der Produktivität.

Diese Annahme kann sogar intuitiv einleuchten, jedoch wird sie etwa gerade in der Modellierung der Auswirkungen der KI auf den Arbeitsmarkt hinterfragt. Modelle, welche von einer Erhöhung der Produktivität durch die KI ausgehen, rechnen mit positiven Beschäftigungseffekten. KI schafft also Arbeitsplätze. In diesen Modellen spielt es zunächst keine Rolle, ob die KI die Produktivität der Arbeit oder des Kapitals oder beider erhöht oder gar zum neuen Produktionsfaktor wird.

Andererseits gibt es Modelle, die von einer fixen Produktivitätsgrenze einer Wirtschaft oder Gesellschaft ausgehen. Sie nehmen weiter an, dass die gesamten Produktivitätsmöglichkeiten bereits ausgeschöpft sind. Auch die KI vermag die sogenannte Produktivitätsgrenze, dieses bereits ausgeschöpfte Maximum an Kapital- und Arbeitseffizienz, nicht zu beeinflussen bzw. zu erhöhen. Diese Modelle folgern deshalb, dass KI die bestehende Aufteilung von Arbeit und Kapital verändert. Es kann also sein, dass sich die KI per Saldo neutral auf die Beschäftigungsmenge auswirkt, wenn sie etwa den Strukturwandel vorantreibt und gängige Berufsbilder durch neue ersetzt. Diese Modelle können aber auch folgern, dass die KI die Beschäftigungsmenge abbaut, wenn etwa Menschen durch KI ersetzt werden.

Abbildung 3 gibt eine Übersicht über vielzitierte Studien, welche die Auswirkungen der KI auf den Arbeitsmarkt modellieren. Die grossen Unterschiede unter den Befunden gehen auf die jeweils anders ausfallenden Annahmen zur Produktivität zurück. Die in der Abbildung 3 zusammengefassten Modelle lassen sich nicht uneingeschränkt miteinander vergleichen. Zwar wollen sie alle eine Aussage zur Auswirkung der KI – oder der KI im Verbund mit Digitalisierung, technischem Fortschritt und Automation – auf die Beschäftigungsmenge machen. Doch die dafür ausgewählten Voraussetzungen, Methoden und Szenarien unterscheiden sich stark voneinander.

Die Resultate der Studien können trotzdem grob miteinander verglichen werden, indem sie in drei Gruppen eingeteilt werden: Eine sieht vor allem Beschäftigungsverluste wegen KI, andere sehen per Saldo keine Auswirkungen der KI auf das Beschäftigungsniveau – diese zwei Gruppen gehen eher von bereits eingetretener Ausschöpfung der Produktivitätspotenziale aus – und eine dritte Gruppe folgert Beschäftigungszuwachs wegen oder mit KI. Diese letzte Gruppe geht vom Produktivitätszuwachs aus.

Beschäftigungsverluste		
<i>Autor(en) (Jahr)</i>	<i>Aussage</i>	<i>Anmerkung</i>
Frey / Osborne (2017)	47 Prozent der Arbeitsplätze in den USA sind bedroht.	Modellierung lässt keine Anpassung der Arbeit und des Kapitals an Digitalisierung / KI zu.
Bonin et al. (2015)	42 Prozent der Arbeitsplätze in Deutschland sind bedroht.	Gleiche Methode wie Frey / Osborne; bei einer modifizierten Modellierung wird die Zahl auf 12 Prozent korrigiert.
Arntz et al. (2016)	12 Prozent der Arbeitsplätze in Deutschland sind bedroht.	Zusätzlicher Quervergleich unter OECD Ländern; Resultat für Deutschland ist in diesem Vergleich hoch.
Dengler / Matthes (2018)	25 Prozent aller Arbeitsplätze sind Stand 2016 zu mindestens 70 Prozent durch Automatisierung ersetzbar.	Keine explizite Aussage zu KI. Studie aufgrund von Berufsprofilen in Deutschland.
Per Saldo keine Auswirkung		
<i>Autor(en) (Jahr)</i>	<i>Aussage</i>	<i>Anmerkung</i>
Wolter et al. (2016)	Per Saldo keine Nettoveränderung aber strukturelle Verschiebungen. Etwa 1,5 Millionen Arbeitsplätze werden zerstört; gleich viele entstehen neu.	Vergleich eines Basisszenarios mit einem Szenario Industrie 4.0.
Acemoglu / Restrepo (2017)	Per Saldo keine Auswirkung.	Berechnung für die USA.
Beschäftigungszuwachs		
<i>Autor(en) (Jahr)</i>	<i>Aussage</i>	<i>Anmerkung</i>
Gregory et al. (2016)	Per Saldo 11.6 Millionen neue Jobs durch technischen Fortschritt.	Ermittlung der Effekte des technischen Fortschritts - inkl. KI - in einer dynamischen Modellierung.
Arntz et al. (2018)	Durch Unternehmen geplante Investitionen in neue Technologien können über einen Zeitraum von 5 Jahren zu einem Beschäftigungswachstum von 1.8 Prozent führen.	Kombination eines makroökonomischen Modells mit betriebswirtschaftlichen Befragungen.
Manyika et al. (2017)	Per Saldo bis 2030: 1 Million zusätzliche Arbeitsstellen.	Summe aus technischem Fortschritt, Digitalisierung und KI.
Vogler-Ludwig et al. (2016)	Per Saldo bis 2030 etwa 250 000 zusätzliche Jobs; 310 000 werden vernichtet und 580 000 entstehen neu.	Basiert auf Szenariovergleichen

Abbildung 3: Übersicht über volkswirtschaftliche Studien und ihre Befunde zur Veränderung der Beschäftigung wegen KI. Quelle: eigene Darstellung.

Freilich enthält Abbildung 3 nicht alle Studien zur Auswirkung von KI auf die Beschäftigung. Zwar wurden bewusst relevante, d. h. zitierte und weiterentwickelte, Werke berücksichtigt. Doch ist es nicht überraschend, dass sie zu verschiedenen Schlussfolgerungen kommen. Erstens werden jeweils ganz unterschiedliche Annahmen zur Produktivität getroffen, zweitens ist das Verständnis von KI ebenfalls vielfältig und drittens fällt die technische Modellierung jeweils anders aus.

Darüber hinaus sollte gerade die Diskussion in diesem Abschnitt verdeutlichen, dass gesamtgesellschaftliche oder gesamtwirtschaftliche Aussagen zu den Auswirkungen der KI

zu treffen nicht nur schwer ist, sondern eigentlich ein Holzweg ist. Die Schwierigkeit wurde im bis anhin Dargestellten beispielhaft gezeigt. Dass es sich insgesamt um den falschen Ansatz handelt, soll nun als Übergang zum nächsten Abschnitt erläutert werden.

Dass KI Auswirkungen haben wird, ist sicher. Welche Auswirkungen es sind, ist nicht zu sagen. Zu behaupten, KI sei ein grosser Markt, ist sicher nicht falsch. Doch im Kontext anderer Volumina scheint dieser Markt nicht grösser zu sein. Und sollte sich in Zukunft herausstellen, dass der Markt grösser ist als prognostiziert, dann zeigt diese Diskrepanz zwischen Realität und Prognose die Mängel der Prognose auf. Ähnliche Bedenken gelten bezüglich der Auswirkungen der KI auf das Wirtschaftswachstum. Zuletzt verdeckt diese einseitige Betrachtung der allokativen Effekte der KI die Analyse ihrer Distributionseffekte, welche beispielsweise in den sich widersprechenden Studien zur Beschäftigung zum Ausdruck kommen.

Eine grosse Schwierigkeit dieser gesamtgesellschaftlichen oder gesamtwirtschaftlichen Betrachtung ist, dass sie implizit voraussetzt, KI sei eineindeutig zu erkennen und entsprechend als Faktor einzubeziehen. Das ist schon deshalb falsch, weil KI ein Prozessmerkmal ist und kein Produkt. Prozessmerkmale wirken notwendigerweise im Verbund mit anderen – Prozessdefinitionen, Automatisierung, Digitalisierung, Führungsstil unter anderem – und können deshalb kaum individuiert werden. Dazu ist KI selbst als Entwicklungs- und Adaptionprozess gestaltet. Deshalb kann sie nicht eine eindeutige, definitive oder gar finale Form einnehmen.

Die KI – verstanden als ein sich entwickelndes Prozessmerkmal – wird nämlich bereits angewendet. In der Industrie wird sie eingesetzt etwa in der Produktionsplanung und -steuerung, im Risikomanagement, in der Prognostik, in der Verhaltensanalyse der Konsumentinnen und Konsumenten, in der Früherkennung der Umsatzabwanderung oder etwa in Form von Industrierobotern. Im Übrigen waren im Jahr 2017 weltweit durchschnittlich 74 Industrieroboter pro 10 000 Vollzeitbeschäftigungsäquivalente installiert; in Deutschland waren es sogar 309 (Buxmann & Schmidt: 2019; World Robotics: 2017). Auch in den Dienstleistungen wird die KI als Prozessmerkmal bereits eingesetzt, etwa in der Logistik, in der Kundenbewertung, im Controlling, im Trading, in der Compliance oder sogar in der Beratung (Hauer: 2019).

Wenn es also nicht zielführend ist, die gesamtgesellschaftlichen oder gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen der KI zu konzipieren, wie können die Auswirkungen der KI aus ökonomischer Perspektive eingeordnet werden? Wenn KI als ein sich stetig wandelndes Prozessmerkmal verstanden wird, dann stellen sich die Fragen, wer dieses Merkmal einsetzt, wie es eingesetzt wird, wer es weiterentwickelt, wie es weiterentwickelt wird, usw. Kurz: Es stellt sich die Frage nach der Instrumentalisierung des Prozessmerkmals. Damit geht ein Perspektivenwechsel einher: Nicht die makroökonomische Auswirkung, sondern die mikroökonomische Erklärung der KI rückt in den Vordergrund.

3. MIKROÖKONOMISCHE ERKLÄRUNG

Die Mikroökonomie, auch ökonomische Theorie genannt, untersucht das Verhalten der wirtschaftlichen Akteure – Menschen, Unternehmen, Organisationen – insofern sie selbst definierte Ziele mit knappen Mitteln erfüllen wollen und diese Mittel auf die Zielsetzung hin disponieren. Die Mikroökonomie beschäftigt sich daher unter anderem mit den Investitionen und der Adaption von Technologie durch Menschen und Unternehmen.

Für die Erklärung, wie wirtschaftliche Akteure mit Prozessmerkmalen umgehen, ist in der Mikroökonomie die Theorie des Humankapitals ein wichtiger Ansatz. Eine konsistente Konzeption des Humankapitals geht auf den Nobelpreisträger Gary Becker (1930 – 2014) zurück. Doch auch schon Adam Smith (1723 – 1790) machte die Erkenntnis, dass der Mensch

nicht nur den Produktionsfaktor Arbeit zur Verfügung stellt, sondern auch Fähigkeiten und Wissen besitzt. Diese Fähigkeiten und dieses Wissen sind Bewertungsfaktoren für die menschliche Arbeit. Der Produktionsfaktor Arbeit wird also entlohnt für die Arbeitszeit aber auch für seine Produktivität in der Arbeitszeit. Die Fähigkeit, die Produktivität der Arbeit zu erhöhen, nannte schon Smith Humankapital (Becker: 1993).

So verstanden ist Humankapital die Fähigkeit des einzelnen, einen Bestand an praktischen Fähigkeiten und Wissen aufzubauen und aus diesem Bestand Ressourcen zu generieren. Was in diesem Bestand ist, kann nicht abschliessend aufgezählt werden. Sicher gehören dazu praktisches Können und theoretisches Wissen ebenso wie Kreativität, soziale Kompetenzen, Urteilsvermögen, Führungskompetenzen usw. Humankapital ist selbst dynamisch. Es wächst mit seinem zunehmenden Gebrauch.

Die Nobelpreisträgerin Elinor Ostrom (1933 – 2012) nahm eine Ergänzung an diesem Ansatz vor. Sie beobachtete, dass Humankapital nicht nur mit seinem Gebrauch wächst, sondern auch, wenn sich Individuen austauschen oder miteinander kooperieren. Aus Interaktionen gewinnen die an der Interaktion Beteiligten Erkenntnisse, neue Fähigkeiten, Einblicke und ähnliches, was sie ihrem individuellen Bestand zufügen können und aus dem sie künftig Ressourcen ableiten können. Gemäss Ostrom ist Humankapital eine also Bestandesgrösse; etwa ein Stock, das dem Individuum gehört. Doch das Individuum ist nicht allein. Als handelnder Akteur befindet es sich im Austausch mit anderen. Der Austausch vergrössert den individuellen Bestand an Humankapital der austauschenden Akteure. Das ist dann auch eine wichtige Erkenntnis: Der individuelle Bestand an Humankapital vergrössert sich mit dem Austausch. Diese Art der Humankapitaltheorie weist Parallelen zur Sozialkapitaltheorie auf. Doch im Unterschied dazu verortet sie den Kapitalbestand beim Individuum; der Austausch hat selbst keinen Kapitalstock, er dient als Multiplikator.

Humankapitaltheorien werden kritisiert, weil sie weitgehend unterbestimmt sind. Sie greifen Elemente auf, können aber weder eine genaue Zusammensetzung des Humankapitals noch eindeutige Ursache-Wirkungsbeziehungen ableiten. Beispielsweise kann die Humankapitaltheorie keine Prognose darüber treffen, nach wie vielen Jahren Umgang mit KI eine Mitarbeitende selbst anfangen kann, KI zu programmieren. Doch andererseits ist es kein Ziel dieser Theorien, diese oder andere Prognosen zu machen. Humankapital ist an der Erklärung von Vorgängen interessiert und nicht an ihrer Voraussage.

In diesem Erklärungsansatz identifiziert die Theorie Phänotypen. Dann untersucht sie Faktoren, welche diese Phänotypen ermöglichen. Etwa: In deutschsprachigen Ländern ist der Anteil der Erfindungen, welche direkt von den Mitarbeitenden stammen – von jenen Mitarbeitenden ausserhalb von Forschungs- und Entwicklungsabteilungen – viel höher als in anderen Volkswirtschaften. Humankapital-theoretische Untersuchungen führen dies einerseits auf den überproportional hohen Anteil der dualen Bildung in diesen Ländern zurück. Andererseits weisen diese Volkswirtschaften auch einen signifikant höheren Anteil der Wertschöpfung, welche auf kleine und mittlere Unternehmen zurückgeht, auf. Ein Ansatz, der auf Humankapitaltheorie basiert, würde nun das beobachtete Phänomen mit einer institutionellen Verbindung von dualer Bildung, Mittelstand und Innovation erklären (Bigler & Schneider: 2019).

Gerade im Hinblick auf KI kann die Humankapitaltheorie etwas anderes erklären, was einerseits die bisherigen Auswirkungen von Automation, Digitalisierung und KI zu prägen scheint und andererseits in der makroökonomischen Theorie nicht erläutert bleibt: Die Wechselwirkungen von KI und Arbeit, von KI und Kapital und von Arbeit und Kapital.

Eine wie hier beschriebene Theorie des Humankapitals erklärt sich über verstärkende Beziehungen zwischen Akteuren. Etwa: Je mehr Menschen miteinander, in Märkten, in Netzwerken und in Unternehmen, austauschen, desto grösser ist die Wahrscheinlichkeit, dass

die einzelnen am Austausch Beteiligten ihren jeweiligen Bestand an Humankapital erhöhen. Der Grund: Mit jedem Austausch machen die darin Involvierten Lernprozesse durch. Diese vermitteln neue Fähigkeiten und Wissen oder festigen bestehende Fähigkeiten und Wissen. Diese Lerneffekte können sogar dann eintreten, wenn der Austausch an sich nicht funktioniert oder nicht erfolgreich ist. Beteiligte mit entsprechendem Humankapital können die Gründe für das Nicht-Funktionieren erkennen und auch daraus Lehren ziehen.

Damit erklärt der hier gewählte Ansatz der Humankapitaltheorie den Austausch zwischen den Beschäftigten und der KI als Lernprozess. Indem Menschen eine Maschine – ein Instrument – einsetzen, lernen sie das Instrument und seinen Anwendungsbereich kennen. Damit expandieren die Menschen, die KI anwenden, ihre eigenen Fähigkeiten und ihr eigenes Wissen. Mehr noch: Sie erkennen die Erweiterungsmöglichkeiten für den Einsatzbereich des Instruments und entwickeln das Instrument weiter.

Die Austauschbeziehung zwischen Arbeit und KI – als Technologie ist KI eine Form des Kapitals – kann den Wert beider erhöhen. Durch Lernprozesse kann die Arbeit mit dem Einsatz von KI produktiver werden. Durch die Lernprozesse der Arbeit kann die KI selbst produktiver gemacht werden, etwa wenn Menschen sie weiterentwickeln. Eine in diesem Sinne verstandene Austauschbeziehung erhöht den Bestand an Humankapital des individuellen Akteurs und damit den Wert seiner Arbeit; mit der Weiterentwicklung der KI wird auch der Bestand an Kapital vergrößert und entsprechend der Wert der KI als Kapital erhöht.

Dieser Ansatz bietet so eine Erklärung nicht nur für die mögliche mikroökonomische Wechselbeziehung zwischen Arbeit und KI sowie anderen Kapitalformen, sondern auch für wirtschaftshistorische Zusammenhänge, welche makroökonomisch nicht erfasst werden können, zum Beispiel:

- In der mittleren und langen Frist hat der vermehrte Einsatz von Maschinen – und damit von Automatisierung, Digitalisierung und KI – bisher zu positiven Beschäftigungseffekten geführt. Pointiert formuliert: Wo mehr Kapital eingesetzt wurde, wurde Arbeit generiert. Umgekehrt führten Zerstörung und Verlust von Kapital zu Beschäftigungsverlusten – und zwar in der kurzen, mittleren und langen Frist (Mokyr: 2002).

- In der mittleren und langen Frist führte der Einsatz von Technologie zu einer höheren Bewertung der Arbeit. Einerseits ist der Einsatz von Technologie eine Investition. Als solche verlangt sie nach einer Produktivitätserhöhung, welche als Rendite zurück an den Investor geht. Dieser Druck, die Produktivität des Faktors Kapital zu erhöhen, überträgt sich auf die Produktivität des Faktors Arbeit, der dieses Kapital als Instrument einsetzen muss. Andererseits ist die Investition in Technologie eine Vergrößerung des Kapitalbestandes. Diese Vergrößerung überträgt sich auf den Bestand des Humankapitals, wenn beide Bestände miteinander in Austauschbeziehungen stehen. Die Transmission zwischen beiden Beständen findet in den Lerneffekten statt, welche Menschen im Einsatz der Technologie durchmachen (etwa in Badinger et al.: 2019).

Freilich ergeben sich die hier angesprochenen Wechselbeziehungen nicht automatisch. Für sich gegenseitig verstärkenden Wechselbeziehungen scheint es eine Vorbedingung zu sein, dass der Produktionsfaktor Arbeit, die Menschen also, über einen Bestand von Humankapital verfügen, bevor sie die Technologie anwenden, oder in Austausch mit ihr treten. Die Überlegung ist dabei, dass Technologie, um produktiv eingesetzt zu werden, Fähigkeiten und Wissen seitens des Anwenders voraussetzt (Popescu et al.: 2016).

Dann ist der Umgang mit Technologie auch von der Wandlungsfähigkeit des Produktionsfaktors Arbeit abhängig. Wandlungsfähigkeit bezeichnet dabei die Bereitschaft des Individuums, sich mit der neuen Technologie zu beschäftigen, diese in den Arbeitsgang zu integrieren, sich ihr und sie ihm zu adaptieren. Wandlungsfähigkeit bezeichnet also die

Bereitschaft, in ein Austauschverhältnis mit der neuen Technologie zu treten und den eigenen Bestand an Humankapital so zu verändern, dass man gewinnbringend mit ihr umgehen kann. Während einzelne Studien darauf hinweisen, dass ein grosser Bestand an Humankapital meist zu höherer Wandlungsfähigkeit führt, ist wieder darauf hinzuweisen, dass diese Beziehung nicht kausal ist (Sprafke 2016).

Werden diese Erklärungen auf die Frage der ökonomischen Auswirkungen der KI angewendet, scheinen sie darauf hinzuweisen, dass die Antwort von der individuellen Art des Umgangs mit der KI abhängt. Die ökonomischen Auswirkungen der KI werden also auf der individuellen Ebene – und nicht gesamtgesellschaftlich oder gesamtwirtschaftlich – auszumachen sein, und zwar je nachdem wie wandlungsfäh Individuen sind, d. h. ob und wie sie bereit sind, KI aufzunehmen. Dabei deutet vieles auf eine positive Wechselbeziehung hin: Wo KI aufgenommen und adaptiert wird, kann sie den Wert des Produktionsfaktors Arbeit und damit seine Entlohnung erhöhen.

In diesen Erklärungen wird auch plausibel gemacht, warum die KI eher als Prozessmerkmal zu konzipieren ist. Sie ist Instrument der Akteure in der Erbringung von wirtschaftlichen Leistungen. Als Instrument bleibt sie abhängig von der Intensität ihrer Anwendung durch die Akteure selbst. Damit ist ihr Leistungsversprechen eine evolutionäre Adaptation und nicht eine ökonomische und gesellschaftliche Revolution.

4. FAZIT: WAS IST ZU TUN?

Nachdem hier aufgezeichnet wurde, warum eine makroökonomische Annäherung an die Frage der ökonomischen Auswirkungen der KI ein fragwürdiger Ansatz ist, wurde aus mikroökonomischer Optik eine alternative Erklärung angeboten. Eine entscheidende Auswirkung der KI kann die Erhöhung des Wertes des Produktionsfaktors Arbeit – und auch des Produktionsfaktors Kapital – sein.

Der Grund dafür sind die positiven Wechselbeziehungen zwischen Arbeit und Kapital – KI als Form des Kapitals –, wenn beide in Austauschbeziehungen miteinander treten. Eine Voraussetzung dafür ist jedoch, dass Menschen bereit sind, die KI anzuwenden, ihr Humankapital in Funktion der KI und die KI in Funktion ihres Humankapitals zu verändern. Die Wandlungsfähigkeit des Individuums ist also ein wichtiger Einflussfaktor auf die ökonomischen Konsequenzen von KI.

Aus wirtschaftspolitischem oder betriebswirtschaftlichem Interesse mag nun gefragt werden, was zu tun ist, um diese Wandlungsfähigkeit zu erhöhen. Naheliegender ist, an verbesserter Ausbildung oder an mehr Forschung und Entwicklung zu denken. Auch wenn diese Antworten nicht falsch sind, können sie aus zwei Gründen nicht als hinreichende Instrumente gelten.

Erstens zeichnet sich formale, konsekutive Bildung durch einen abnehmenden Grenznutzen aus. Das bedeutet: Ohne Anwendung führt Bildung zu einer unterproportionalen Erhöhung des Humankapitals. Humankapital besteht deshalb nicht nur aus formalem Wissen, sondern zum grossen Teil aus der Anwendung dieses Wissens auf praktische Situationen und aus Fähigkeiten. Mehr als Wissen geht es im Humankapital um den Umgang mit Neuem. Die Lernprozesse, welche zur Vergrösserung des Bestandes an Humankapital führen, entstehen, wenn Menschen in den Austausch – in diesem Fall – mit der KI kommen. Das bedeutet wiederum, dass nicht die (formale, konsekutive) Vorbereitung auf den Umgang mit KI wichtig ist, sondern der Umgang an sich. Verbesserte Ausbildung und erhöhte Forschung und Entwicklung können sich also positiv auswirken auf die Wandlungsfähigkeit, wenn sie den Produktionsfaktor Arbeit möglichst praktisch mit KI konfrontieren.

Zweitens ist die Wandlungsfähigkeit, die im Umgang mit der KI entscheidend ist, eine individuelle Fähigkeit. Also geht es wieder nicht um makroökonomische Rahmenbedingungen,

sondern um individuelle Möglichkeiten, KI einzusetzen. Der individuelle Lernprozess kann mit verschiedenen Massnahmen beschleunigt oder gefördert werden. Es ist hier nicht der Ort, diese Massnahmen zu erläutern; indikativ können einige Beispiele für wirtschaftspolitische und betriebswirtschaftliche Massnahmen gegeben werden.

Wirtschaftspolitische Massnahmen können unter anderem folgende sein: Deregulierung oder Nicht-Regulierung der KI-fähigen Technologien und ihrer Anwendungsbereiche, Gewährung erhöhter unternehmerischer Freiheit (inklusive der Möglichkeit, zu fallieren), Flexibilisierung des Arbeitsrechts oder die Senkung von Kapitalsteuern. Diese Massnahmen setzen die oben erwähnten Erkenntnisse der Humankapitaltheorie um, indem sie den einzelnen Akteuren ermöglichen, je auf individueller Art, den eigenen Umgang mit KI zu erlernen, im Austausch damit zu lernen und Verantwortung für die eigenen Entscheide zu tragen. Der Gewinn an Verantwortung, der mit diesem Ansatz einhergeht, gibt den einzelnen Akteuren Handlungsspielraum; er setzt sich aber auch unter Druck, den jeweils «richtigen» Umgang mit KI zu finden.

Betriebswirtschaftliche Massnahmen können unter anderem die folgenden sein: Investitionen in KI, Institutionalisierung einer Fehlerkultur, flache Hierarchien, inner- und überbetriebliche Kooperationen, Anerkennung nicht formaler Bildung oder sogenanntes „Intrapreneurship“. Auch diese Massnahmen setzen auf das Humankapital, d.h. auf die Kombination von Entdeckungsverfahren, Lerneffekten und Innovation, bei denen die individuelle Verantwortung als Motivator wirkt.

Hat KI ökonomische Auswirkungen? Ja. Doch diese sind kaum vorauszusagen. Nicht etwa, weil die finale Form der KI unbekannt ist – eine finale Form wird es nie geben. Sondern, weil die KI eher als evolutionärer Prozess zu verstehen ist. Ihr Leistungsversprechen ist, mit ihrer Integration in den Wertschöpfungsprozess wirtschaftliche Vorgänge produktiver zu machen. Mit erhöhter Produktivität der Wirtschaft führt KI zu höherem Wert von den Produktionsfaktoren Arbeit und Kapital. Das gilt vorausgesetzt, Individuen verfügen über die Wandlungsfähigkeit, KI in ihr Wirtschaften einzubeziehen oder KI in ihr Humankapital zu integrieren.

5. QUELLENANGABEN

- Acemoglu, D.; Restrepo, D (2017): Robots and Jobs: Evidence from U.S. Labor Markets, in: NBER Working Paper Nr. 23285.
- Arntz, M.; Gregory, T.; Zierahn, U. (2016): The risk of automation for jobs in OECD countries, in: OECD Social, Employment and Migration Working Papers Nr.189.
- Arntz, M.; Gregory, T.; Zierahn, U.; Lehmer, F.; Matthes, B. (2018). Digitalisierung und die Zukunft der Arbeit: Makroökonomische Auswirkungen auf Beschäftigung, Arbeitslosigkeit und Löhne von morgen. In: ZEW-Gutachten und Forschungsberichte.
- Badinger, H.; Egger, P. H.; Ehrlich, M. V. (2019): Productivity Growth, Human Capital and Technology Spillovers: Nonparametric Evidence for EU Regions, in: Oxford bulletin of economics and statistics, Jg. 81, Heft 4, S. 768 – 779.
- Becker, G. (1993): Human Capital: A Theoretical and Empirical Analysis, with Special Reference to Education, 3. Auflage, Chicago, University of Chicago Press.
- Bigler, H.U.; Schneider, H. (2019): Der Wert der KMU, Bern, Schweizerischer Gewerbeverband.
- Bonin, H.; Gregory, T.; Zierahn, U. (2015): Übertragung der Studie von Frey/Osborne (2013) auf Deutschland, in: ZEW Kurzexpertise Nr. 57.
- Buxmann P.; Schmidt H. (2019): Ökonomische Effekte der Künstlichen Intelligenz, in: Buxmann P.; Schmidt H. (Hrsg.) Künstliche Intelligenz, Springer Gabler, Berlin, Heidelberg.

- Dengler, K.; Matthes, B. (2018): Substituierbarkeitspotenziale von Berufen: Wenige Berufsbilder halten mit der Digitalisierung Schritt, in: IAB-Kurzbericht Nr. 4/2018.
- Chase, R. B.; Uday M. A. (2007): A history of research in service operations: What's the big idea?, in: *Journal of Operations Management*, 25. Jg., Heft 2, S. 375 – 386.
- Frey, C. B.; Osborne, M. A. (2017): The future of employment, in: University of Oxford, Oxford Martin School Working paper.
- Gregory, T.; Salomons, A.; Zierahn, U. (2016): Racing with or against the machine? Evidence from Europe. Evidence from Europe, in: ZEW-Centre for European Economic Research Discussion Paper Nr. 16-053.
- Hauer, M. (2019): Ist Künstliche Intelligenz der Traktor des Dienstleistungssektors?, in: *Information-Wissenschaft & Praxis*, 70. Jg., Heft 2-3, S. 115 – 118.
- Hyman, A. (1985): Charles Babbage: Pioneer of the computer, Princeton, Princeton University Press.
- Ibisworld (2019a): Global Car & Automobile Sales Industry - Market Research Report, Los Angeles, Ibisworld.
- Ibisworld (2019b): Global Accommodation and Food Services Sector - Market Research Report, Los Angeles, Ibisworld.
- Ifrah, G.; Harding, E. F.; Bellos, D.; Wood, S. (2001): The universal history of computing: From the abacus to quantum computing, New York. John Wiley & Sons, Inc.
- Manyika, J.; Lund, S.; Chui, M.; Bughin, J.; Woetzel, J.; Batra, P.; Sanghvi, S. (2017): Jobs lost, jobs gained: Workforce transitions in a time of automation. New York, McKinsey Global Institute.
- Minsky, M.; Papert, S. A. (1972): Artificial intelligence progress report, in: Massachusetts Institute of Technology Report, Heft 2.
- Mokyr, J. (2002): The gifts of Athena: Historical origins of the knowledge economy, Princeton, Princeton University Press.
- Ostrom, E.; Hess, C. (2007): Understanding knowledge as a commons: from theory to practice. Cambridge, Massachusetts, MIT Press.
- Parkes, D. C.; Wellman, M.P. (2015): Economic reasoning and artificial intelligence, in: *Science* 349.6245, S. 267 – 272.
- Popescu, G. H., Comanescu, M., & Sabie, O. M. (2016). The role of human capital in the knowledge-networked economy, in: *Psychosociological Issues in Human Resource Management*, Jg. 4, Heft 1, S. 168 – 182.
- Purdy, M.; Daugherty, P. (2016): Why artificial intelligence is the future of growth, Palo Alto, Accenture.
- Sprafke, N. (2016): Kompetente Mitarbeiter und wandlungsfähige Organisationen. Zum Zusammenhang von Dynamic Capabilities, individueller Kompetenz und Empowerment, Wiesbaden, Springer Gabler.
- Transparency Market Research, (2017): Revenues from the artificial intelligence (AI) market worldwide from 2015 to 2024 (in billion U.S. dollars), zugegriffen über: <https://www.statista.com/statistics/621035/worldwide-artificial-intelligence-market-revenue/> am 2.10.2019.
- Vidal, N; Vogt, D. (2011): Les Machines Arithmétiques de Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, Muséum Henri-Lecoq.
- Vogler-Ludwig, K. ; Düll, N.; Kriechel, B. (2016): Arbeitsmarkt 2030: Wirtschaft und Arbeitsmarkt im digitalen Zeitalter, Bielefeld, W. Bertelsmann Verlag.
- Wolter, M. I.; Mönning, A.; Hummel, M.; Weber, E.; Zika, G.; Helmrich, R.; Neuber-Pohl, C. (2016): Wirtschaft 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Ökonomie: Szenario-Rechnungen im Rahmen der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen, in: IAB-Forschungsbericht Nr. 13/2016.

A SYSTEMS ENGINEERING APPROACH TO THE USE OF ADDITIVE MANUFACTURING IN THE DESIGN AND PRODUCTION OF MACHINERY



Bernhard Meussen, Benjamin Wagner

NORDAKADEMIE – Hochschule der Wirtschaft, Elmshorn

Abstract: Additive manufacturing is a new manufacturing technology in industrial use compared to technologies as injection molding, casting or cutting. The providers of additive manufacturing technologies praise the benefits of this technology and intense research shall foster its industrial use, for example in rapid prototyping, rapid tooling and rapid manufacturing. Up to now, additive manufacturing has not yet reached the commonness of conventional manufacturing technologies. In Gartner's Hype Cycle 2018, 3D printing in manufacturing operations is in the trough of disillusionment. Motivated by the authors' experience with industrial projects to design and manufacture components for machinery and industrial equipment using additive manufacturing, the paper provides a situation analysis of the use of additive manufacturing for these industries. The situation analysis is part of a systems engineering approach to clarify assets and drawbacks of additive manufacturing. Adequate criteria to measure the benefits of additive manufacturing are derived in this paper based on the well-established principles for the choice of materials as well as manufacturing technologies. These criteria include technological, economic and environmental feasibility. The aim of the paper is to provide guidelines for decisions on the use of additive manufacturing, enabling the industrial users to take advantage of the benefits and to avoid the drawbacks of additive manufacturing compared to conventional manufacturing technologies.

Keywords: additive manufacturing, design of machinery, systems engineering

1. INTRODUCTION

The use of additive manufacturing (or 3D printing) in industrial applications is commonly referred to as being used in rapid prototyping, rapid tooling or rapid manufacturing (Gebhardt and Hötter, 2016). According to the 2019 Gartner's Hype Cycle for additive manufacturing, '3D printing in manufacturing operations' is in the 'trough of disillusionment' (Shanler and Basiliere, 2018). Intense research is going on in institutions and companies (see for example Horizon 2020 (European Commission, 2018)) to implement additive manufacturing in use cases that have not yet reached the 'plateau of productivity' and some applications are very promising.

Examples are the use of additive manufacturing to provide customer individualized grippers (Schunk, 2018) or lightweight structures in aerospace industry (Wright, 2017). Besides these few examples, additive manufacturing has by far not yet reached the commonness of

Prof. Dr.-Ing. Bernhard Meussen teaches material engineering, mechanics, production engineering and mechanical design as Professor at the department of engineering science of the NORDAKADEMIE.
E-mail: bernhard.meussen@nordakademie.de

Dipl.-Ing. Benjamin Wagner works as a scientific engineer at the department of engineering science of the NORDAKADEMIE. He is responsible for the material and production engineering laboratories and teaches material science.
E-mail: benjamin.wagner@nordakademie.de

conventional manufacturing technologies like milling or casting. To foster the spread of the industrial use of additive manufacturing, it is important to teach the technology to mechanical engineers and designers on the one hand (Meussen, Schwieters and Wagner, 2018), but also to involve these experts into the development of the technology. This paper tries to contribute to the latter by giving a situation analysis on additive manufacturing from a mechanical engineers' point of view. This view is important, because in general, mechanical engineers and designers are responsible for the selection of materials and production technology (Pahl et al., 2007). The analysis is part of an ongoing project that uses a systems engineering approach to create a process to establish additive manufacturing in industrial use.

2. CRITERIA FOR THE SELECTION OF MATERIALS AND PRODUCTION TECHNOLOGIES

Mechanical engineers and designers follow certain design processes to develop technical solutions to a given problem (Pahl et al., 2007). As additive manufacturing includes aspects of material sciences and manufacturing technologies, the engineering designer will apply the following criteria when choosing a material or a manufacturing technology.

According to Feldhusen and Grote, 2007, the criteria for the application of materials are

- the realisation of the required technological profile,
- the highest economic feasibility by combining inexpensive materials with applicable manufacturing technologies,
- the resource conservation and
- recyclability of the material.

For the selection of the appropriate manufacturing technology, Feldhusen and Grote, 2007, suggest:

- the realisation of the required functionality using the right material,
- the realisation of the required process stability,
- the highest economic feasibility,
- the highest working safety and
- best ecological balance.

As most of these criteria apply for materials and manufacturing technologies, this paper will consider the functionality, the economic feasibility, the process stability, the ecological balance and the production safety.

3. FUNCTIONALITY

Functionality depends on the purpose of the designed physical product. Thus, any selection of properties of additive manufactured objects must be insufficient to cover all functional aspects. However, as engineers use additive manufactured parts to form structures, stiffness and material strength are among the most relevant material properties. One of the greatest advantages of additive manufacturing in terms of functionality is the ability to produce shapes with a high degree of freedom.

3.1 Stiffness of additive manufactured components

Mechanics defines the stiffness of a material as the amount of a reversible, elastic deformation under a given load. In continuum mechanics this material behaviour is defined by (Altenbach, 2015, p. 259):

$$\sigma_i = E_{ij}\varepsilon_j \leftrightarrow \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_{11} & E_{12} & E_{13} & E_{14} & E_{15} & E_{16} \\ & E_{22} & E_{23} & E_{24} & E_{25} & E_{26} \\ & & E_{33} & E_{34} & E_{35} & E_{36} \\ & & & E_{44} & E_{45} & E_{46} \\ & & & & E_{55} & E_{56} \\ & & & & & E_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

where σ_i is the stress, E_{ij} the symmetric elasticity matrix and ε_j the strain. Theoretically, all elements of the elasticity matrix have to be determined to describe the elasticity behaviour of the material. With steel, for example, Hooke's Law is commonly applied due to its linear correlation between stress and strain, the quasi isotropy and its cubic structure. Other materials require other formulations. The elements of the stiffness matrix may be measured by tensile testing.

Figure 1 shows tensile tests for additive manufactured plastic specimen following DIN EN ISO 572 on a Zwick Roell Z100 testing machine. They were produced by a 3D Systems ProJet MJP 3600 (multi-jet modelling) and are made of Visijet M3-X, a material that is said to be an ABS-like plastic (3D Systems Inc., 2017a).

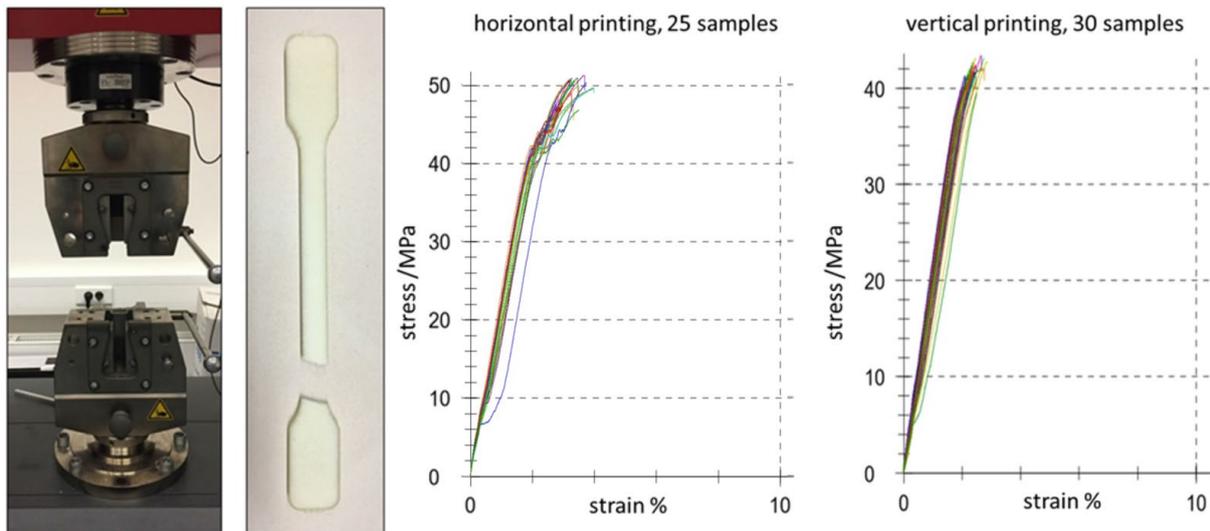


Figure 1: Tensile testing of additive manufactured specimen (results in horizontal printing (x) right chart, vertical printing (z) left chart)

Table 1 gives an example of tensile testing results. The example of AlSi10Mg produced by selective laser melting without stress relief is taken from Lachmayer and Lippert, 2018. The results show, that the stiffness in the printed material is lower than the specified material properties and that there is a slight variation of the values depending on the printing direction. The elastic behaviour follows the characteristics of the material type thermoplastics and aluminium alloy, respectively. For the values measured in this work, the standard deviation s is given in brackets in table 1.

The results indicate that the printing process and the printing direction have an influence on the stiffness of the material. Thus, the calculation of the deformation of additive manufactured parts should be performed with a lower elastic modulus than that of the original material and when deformation is a significant property of the part, the direction of the printed structure has to be considered as an anisotropy of the material.

	<i>material as specified by supplier</i>	<i>test result of manufactured specimen</i>
<i>Visijet M3-X horizontal printing</i>	2168 MPa*	2010 MPa*** (s = 201MPa)
<i>Visijet M3-X vertical printing</i>	2168 MPa*	1800 MPa*** (s = 224 MPa)
<i>AlSi10Mg horizontal printing</i>	75 GPa (+/- 10 GPa)**	66-69 GPa****
<i>AlSi10Mg vertical printing</i>	70 GPa (+/- 10 GPa)**	64 GPa ****

Table 1: Elastic modulus of additive manufactured components
(* 3D Systems, Inc., 2017a; ** EOS GmbH, 2014; *** this work; **** Lachmeyer and Lippert, 2018)

3.2 Strength of additive manufactured components

The strength is a major feature of any structural component. The type of strength required is determined by the type of loading. For brevity, only the tensile strength, which may be derived from measurements as described above, will be considered. Table 2 gives the tensile strength, table 3 the fracture strain. The values for AlSi10Mg (without stress relief) are again taken from Lippert and Lachmeyer, 2018. For the tests performed in this work, the standard deviation *s* is given in brackets in both tables.

The tensile strength also shows a variation of the measured values, both from the specified values and depending on the printing direction. In both cases the deviation is of higher significance than the deviation for the elastic modulus. The fracture strain for the plastic material is only half of the specified value showing a lower ductility of the material than specified.

In practical applications, the real stress state tensor is compared to a scalar value, the equivalent stress (for ductile metals, the von-Mises-stress is often calculated from the values of the stress tensor and then compared to the appropriate strength value). Here, the anisotropy of the additive manufactured component has to be taken into account.

	<i>material as specified by supplier</i>	<i>test result of manufactured specimen</i>
<i>Visijet M3-X horizontal printing</i>	49 MPa*	49.0 MPa*** (s = 2.04 MPa)
<i>Visijet M3-X vertical printing</i>	49 MPa*	41.4 MPa*** (s = 1.45 MPa)
<i>AlSi10Mg horizontal printing</i>	460 MPa (+/- 20 MPa)**	328 MPa ****
<i>AlSi10Mg vertical printing</i>	460 MPa (+/- 20 MPa)**	365 MPa ****

Table 2: Tensile strength of additive manufacture components
(* 3D Systems, Inc., 2017a; ** EOS GmbH, 2014; *** this work; **** Lachmeyer and Lippert, 2018)

	<i>material as specified by supplier</i>	<i>test result of manufactured specimen</i>
<i>Visijet M3-X horizontal printing</i>	8.3 %*	3.2 %*** (s = 0.44 %)
<i>Visijet M3-X vertical printing</i>	8.3 %*	2.4 %*** (s = 0.23 %)
<i>AlSi10Mg horizontal printing</i>	9 % (+/- 2 %)**	9.8 %****
<i>AlSi10Mg vertical printing</i>	6 % (+/- 2 %)**	4.9 %****

Table 3: Fracture strain of additive manufacture components
 (* 3D Systems, Inc., 2017a; ** EOS GmbH, 2014; *** this work; **** Lachmeyer and Lippert, 2018)

The deviations in the material properties elastic modulus, tensile strength and fracture strain from the specified values are caused by the specific forming operation of the additive manufacturing process. All additive manufacturing processes have in common that material is applied layer by layer. This leads to a microstructure, which depends in the orientation and position of the part in the production space. Figure 2 gives a microscopic view of the structure produced with a 3D Systems ProJet 3510 HD Plus. The layers are visible. It is reasonable, that the structure in the material within a layer differs from the material properties between the layers. The 32µm-resolution, which was set up in the machine, could be reproduced.

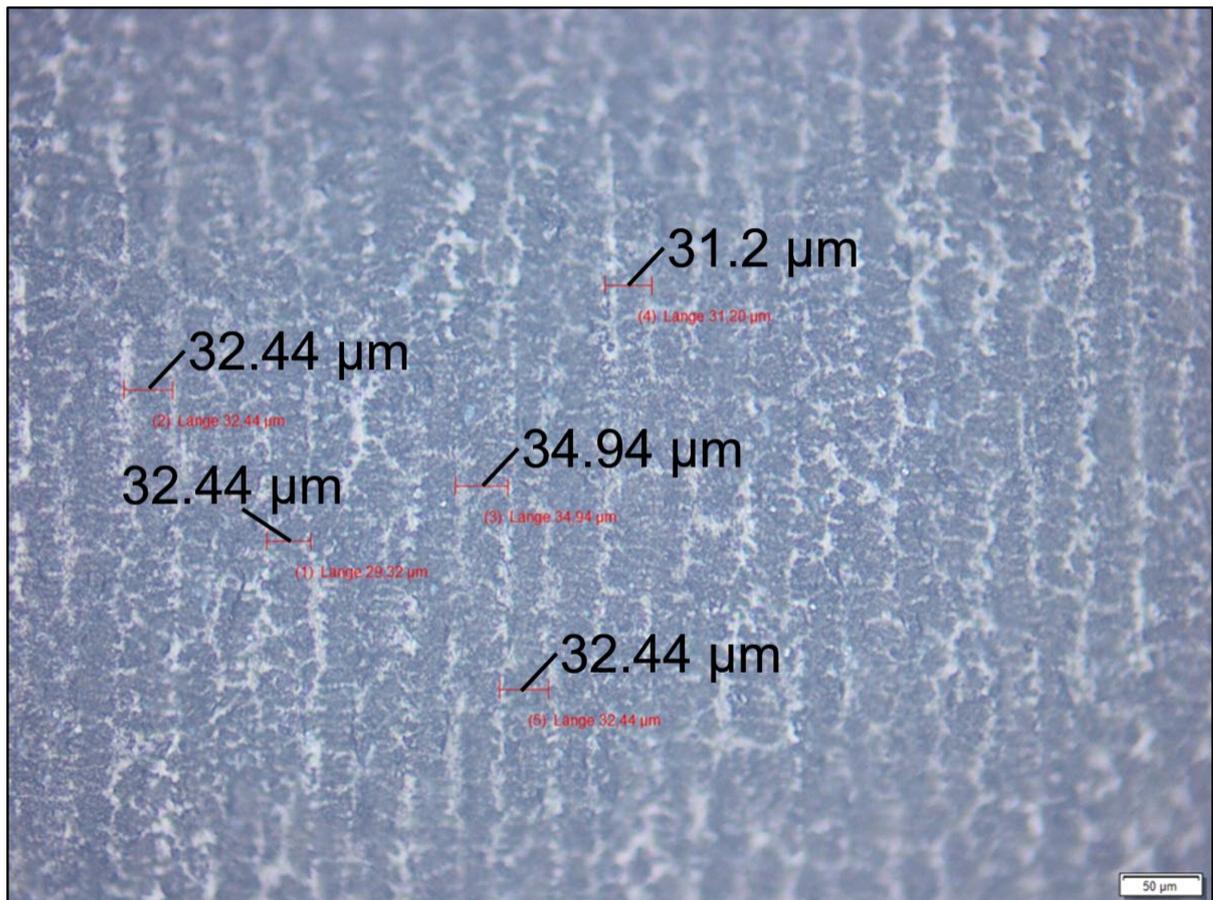


Figure 2: Printed layers using multi-jet modelling: values give layer thickness

3.3 Geometric features

One of the major advantages of additive manufacturing is the geometric freedom for the designer to shape the physical object. Even the printing of movable parts in one printing job is possible (see figure 3).

The freedom of shape offers the possibility to print objects that are inspired by bionic structures for lightweight parts, for example in aerospace industry. However, the freedom is not without limits. Some additive manufacturing technologies require supporting structures, the resolution of the printing process must be considered, size is limited depending on the machine used and the layer-wise printing requires attention. Similar to conventional manufacturing technologies as welding or casting, design guidelines as the VDI 3405 are useful for mechanical engineers to design process conform parts (VDI 3405, 2014).

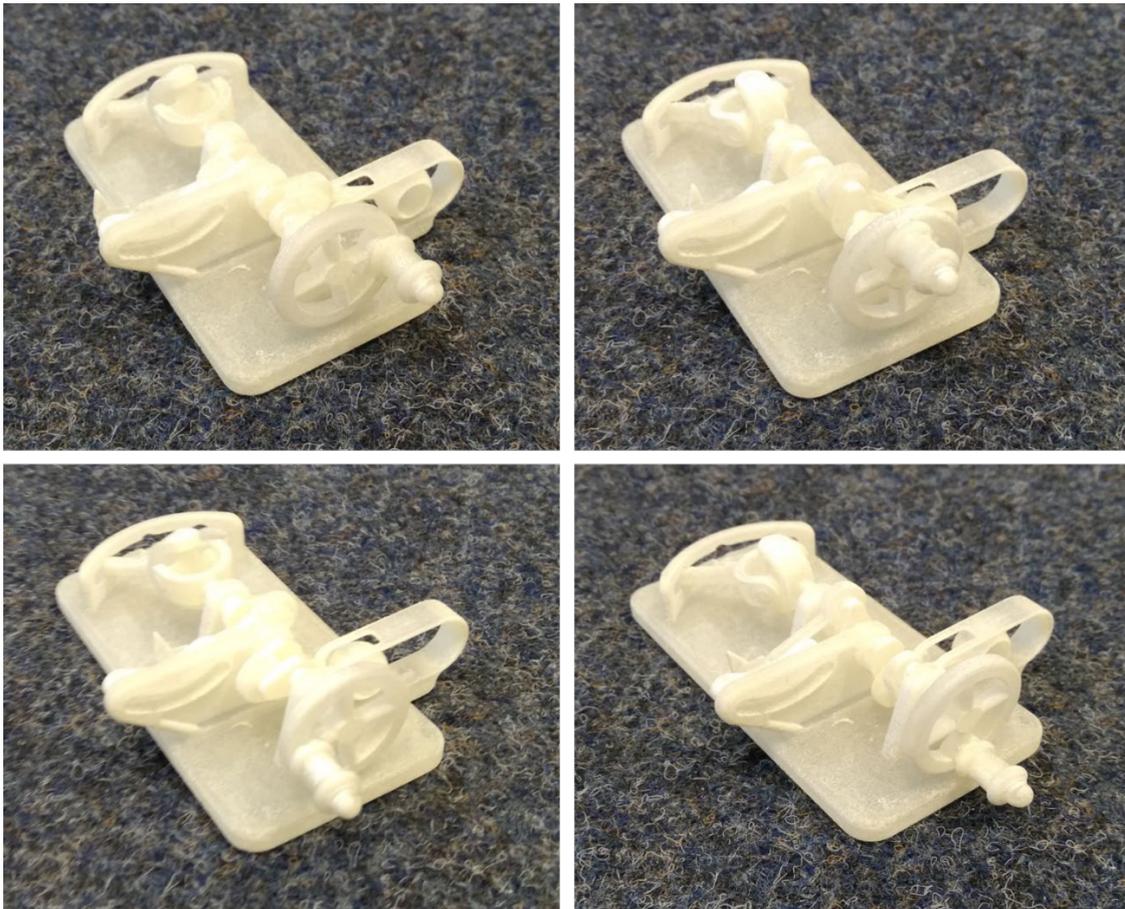


Figure 3: Movable, printed parts: see handle in the lower right corner of the pictures (multi-jet modelling on a 3D Systems ProJet 3510 HD Plus)

As shown in figure 1, with additive manufacturing parts are built in layers. This has consequences on the detail of geometry produced as in any digitized media: see the pixels in a digitized picture. In additive manufacturing, the pixels are voxels (volume x element). On the one hand, each point in space may then be filled with a voxel or not and on some machines the voxel material may change. The limited resolution (in comparison to conventional manufacturing technologies) leads to staircase-like shapes instead of straight lines and to circles that are not perfectly round. Figure 4 gives microscopic views on circular holes printed with multi-jet modelling in 16 μm resolution on a 3D Systems ProJet 3510 HD Plus.

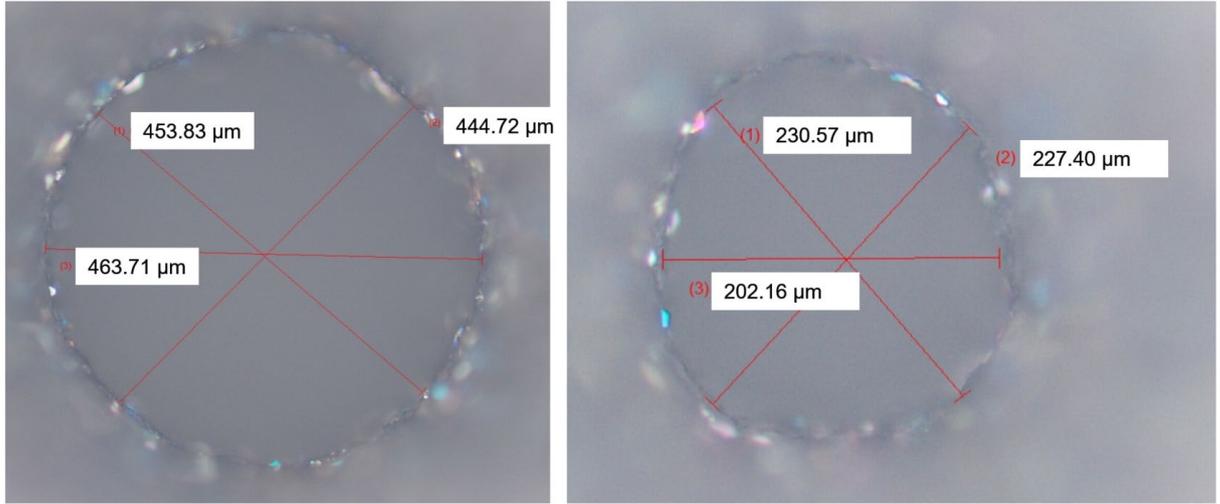


Figure 4: Printed holes: 0.5 mm (left), 0.25 mm (right); values give diameter (multi-jet modelling on a 3D Systems ProJet 3510 HD Plus)

4. ECONOMIC FEASIBILITY

The manufacturing of parts causes costs. These production costs $C_{prod.}$ are (Ehrlenspiel et al., 2014):

$$C_{prod.} = C_{mat.} + C_{man.} \quad (2)$$

with the material costs $C_{mat.}$ and the manufacturing costs $C_{man.}$. The material costs are calculated by multiplying the material direct costs C_{mdc} for buying the material with material overhead factor f_{mo} :

$$C_{mat.} = C_{mdc} \cdot f_{mo}/100. \quad (3)$$

The manufacturing costs $C_{man.}$ are calculated by costs for the personal per time operating the machine $c_{pers.}$ multiplied with the time the person is required $t_{pers.}$, the costs for the machine use per time $c_{mach.}$ multiplied with the time the machine runs $t_{mach.}$ and specific tooling costs or other special costs if necessary, $C_{spec.}$:

$$C_{Man.} = c_{pers.} \cdot t_{pers.} + c_{mach.} \cdot t_{mach.} + C_{spec.} \quad (4)$$

To compare additive manufacturing with a conventional manufacturing process, multi-jet modelling with Visijet M3-X and injection moulding with acryl butadiene styrene (ABS) of a small product (size 130 mm x 70 mm x 25 mm) are used as an example.

Table 4 gives figures for the cost calculation based on a 3D System ProJet 3510 HD Plus and typical values for the injection moulding process for 750 pieces. Personnel working times includes time for machine preparation. Post processing of the additive manufacturing process is included. The calculations for different quantities are given in figure 5.

	Multi-jet modelling	Injection moulding
C_{mdc}	55.08 €	0.21 €
f_{mo}	5 %	10 %
$C_{pers.}$	34.09 €	34.09 €
$t_{pers.}$	0.01 h	0.003 h
$C_{mach.}$	2.33 €	4.24 €
$t_{mach.}$	0.88 h	0.0075 h
$C_{spec.}$	0 €	20,000 €

Table 4: Values for cost estimate of multi-jet modelling and injection moulding

Comparing the material costs and the required machine time shows that additive printing is currently neither cheap nor fast compared to traditional manufacturing technologies. The main advantage is the avoidance of costs for special tools, leading to a break-even point at higher numbers of units. For additive manufacturing using metal, Baumers, 2012, shows similar results. It may be expected that material costs and printing times for additive manufactured parts will drop, influencing the break-even point in favour of additive manufacturing.

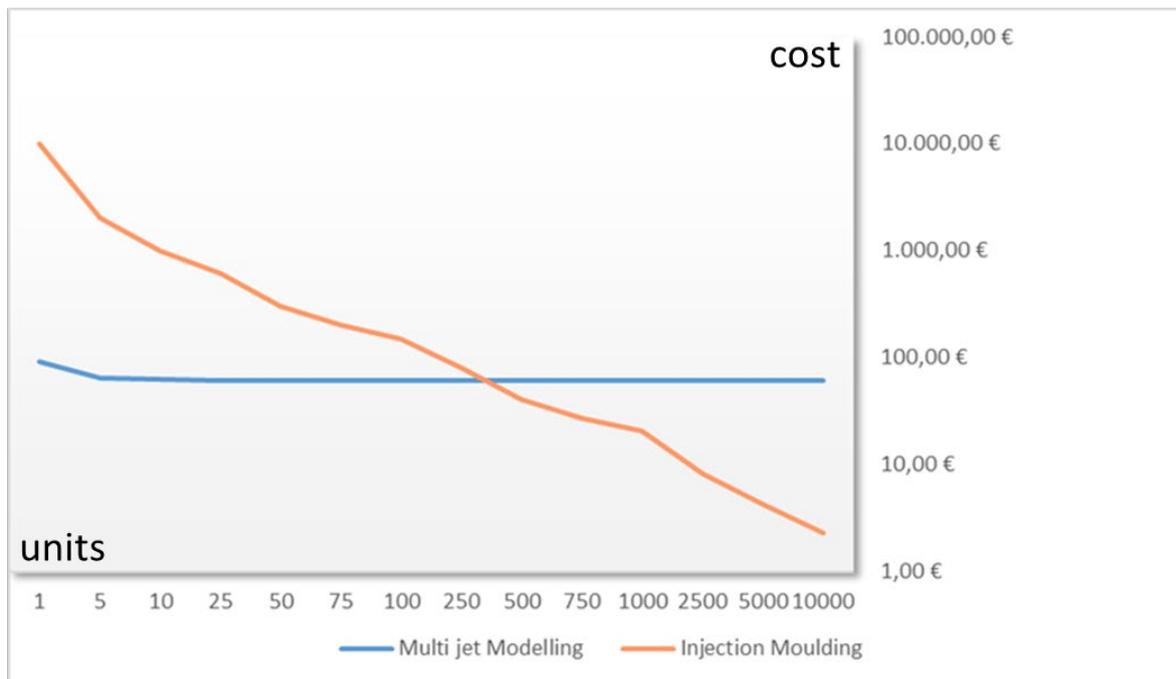


Figure 5: Costs of additive manufacturing and conventional manufacturing technologies per number of units

5. PROCESS STABILITY

According to Dietrich and Schulze, 2009, the process capability index C_{pc} measures the quality of a process by comparing the specified values with real process values by

$$C_{pc} = \min(C_{pcl}; C_{pch}). \quad (5)$$

C_{pcl} is the lower process capability index and C_{pch} the higher process capability index:

$$C_{pcl} = \frac{\bar{x} - T_l}{6\sigma}, \quad (6)$$

$$C_{pch} = \frac{T_h - \bar{x}}{6\sigma}. \quad (7)$$

In (6) and (7), \bar{x} is the mean process value, 6σ the standard deviation times 6 ("six sigma"), T_l the lower tolerance and T_h the higher tolerance value. A value of C_{pc} close to 1.67 shows high process stability.

Table 5 gives values for the process capability index for the vertical printing of Visijet M3-X on a 3D Systems ProJet MJP 3600 for the values from tables 1, 2 and 3. The values must be considered with care, as at least 50 samples are recommended, but only 30 were used in the calculation.

<i>Material parameter (VisiJet M3-X)</i>	<i>Process capability index C_{pc}</i>
<i>Elastic modulus (vertical printing)</i>	0,30
<i>Fracture strain (vertical printing)</i>	0,29
<i>Fracture stress (vertical printing)</i>	0,21

Table 5: Process capability index C_{pc} of multi-jet modelling

3D Systems, Inc. advertises the ProJet MJP 3600 for rapid prototyping and rapid tooling, not for rapid manufacturing.

6. ECOLOGICAL BALANCE

The ecological balance for the choice of a material connects with the energy consumption for the production of the part, the consequence for the environment and the recycling capability of the material (Grote and Feldhusen, 2007). As additive manufacturing produces parts that are near to or even identical to the final shape, as casting does, the process generates less waste and requires less energy than, for example, milling. In terms of recycling, additive manufactured materials show in general a similar recycling capability as every other plastic, ceramic or metal material.

7. PRODUCTION SAFETY

Handling of the raw materials for additive manufacturing requires some care. Uncured Visijet M3-X, for example, is a soft solid or paste-like colourless material with mild odour (3D Systems Inc., 2016). It is slightly hazardous to health and easily inflammable. Uncured material should not be touched by bare skin. The cured (printed) material is not problematic in this sense, however, it is not food safe. The area of manufacturing has to be well ventilated.

Metallic powders as AlSi10Mg require more attention (3D Systems, Inc., 2017b). Raw AlSi10Mg for additive manufacturing is a silver/grey odourless powder. It is slightly hazardous to health, moderate flammable and is slightly physical hazardous. When using the powder, suitable protective equipment is required. Vapour and mist must not be inhaled. The additive manufacturing machines require ventilation.

8. SUMMARY

For a mechanical designer, the functionality of the product is the main concern (Pahl et al., 2007). The degrees of freedom when shaping the product is the most compelling advantage of additive manufacturing. It offers high flexibility to individualize products, for example for biometric reasons (see additive manufacturing for medical use (see Shanler and Basiliere, 2018)). However, the higher flexibility is not limitless.

Due to the layer-wise manufacturing process, the material properties of additive manufactured parts tend to be anisotropic. When using conventional manufacturing technologies, the degree

of anisotropy is well understood, as in rolling of sheet metals, or even used by design, as in composite materials.

The material properties are, as for all materials, depending on the manufacturing process. However, the stability of the additive manufacturing process is often not yet high enough to meet industrial standards. This is of high importance when thinking about legal restrictions and product safety.

Expecting dropping prices for additive manufactured materials and of machines, the break-even point of additive manufacturing compared to other manufacturing technologies will shift to higher unit numbers, leading to the use of additive manufacturing in serial production.

The ecological balance and production safety show, that as for all industrial processes, these processes consume natural resources. Metals are generally easier to recycle. Additive manufacturing produces products which are close to the final shape, thus saving material compared for example to milling. The freedom of shape may also lead to products which require less material by design.

To summarize, additive manufacturing will become more common, if professional engineers and engineering students get the knowledge

- of the geometric possibilities and limits of additive manufacturing technologies,
- of the anisotropy of the material properties of additive manufactured parts,
- of the process parameters in the additive manufacturing process and their consequences on the material properties and the product quality,
- of economic performance indicators and are
- aware of the ecological consequences and the requirements for safe production.

As the industrial use of additive manufacturing has left the 'peak of inflated expectations' and has fallen into the 'trough of disillusionment' (Shanler and Basiliere, 2018), providers of additive manufacturing technologies should take the advantage to shape their technology to meet the users' (their clients') needs, for example by

- using the anisotropy to improve material properties of products,
- concentrating on the production parameters which are crucial for material properties and process stability and
- promoting the advantages of the digitized additive manufacturing technology in the context of digitized industrial value chains.

9. REFERENCES

- 3D Systems, Inc. (2016): *Safety Data Sheet Visijet M3-X*, available at: http://infocenter.3dsystems.com/materials/sites/default/files/sds-files/professional/24108-s12-02-asds_ghsenglishvisijet_m3-x.pdf, last accessed on 12.11.2019.
- 3D Systems, Inc. (2017a): *Multijet Plastic Printers*, available at: <http://de.3dsystems.com/sites/default/files/2017-10/3d-systems-proJet-mjp-3600-plastic-tech-specs-usen-2017-03-22-web.pdf>, last accessed on 12.11.2019.
- 3D Systems, Inc. (2017b): *Safety Data Sheet LaserForm® AlSi10Mg Type A*, available at: http://infocenter.3dsystems.com/materials/sites/default/files/sds-files/production/dmp/151810-S12-00-C_SDS-GHS_English_LaserForm%20AlSi10Mg%20Type%20A.pdf, last accessed on 12.11.2019.
- Altenbach, H. (2015): *Kontinuumsmechanik*. Springer, Berlin, DOI 10.1007/978-3-662-47070-1.

- Baumers, M. (2012): Economic aspects of additive manufacturing: benefits, costs and energy consumption. Loughborough University, available at: <https://dspace.lboro.ac.uk/2134/10768>, last accessed on 12.11.2019.
- Dietrich, E. and Schulze, A. (2009): Statistische Verfahren zur Maschinen und Prozessqualifikation. Hanser, Munich.
- Ehrlenspiel, K.; Kiewert, A.; Lindemann, U. and Mörtl, M. (2014): Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren. Springer, Berlin.
- European Commission (2018): Horizon 2020, available at: <http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/area/key-enabling-technologies>, last accessed on 12.11.2019.
- EOS GmbH (2014): Materialdatenblatt EOS Aluminium AlSi10Mg, available at: http://lightway-3d.de/download/LIGHTWAY_EOS_Aluminium_AlSi10Mg_de_Datenblatt.pdf, last accessed on 12.11.2019.
- Grote, K.-H. and Feldhusen, J. (2007): Dubbel: Taschenbuch für den Maschinenbau. Springer, Berlin.
- Gebhardt, A. and Hötter, J.-St. (2016): Additive Manufacturing 3D Printing for Prototyping and Manufacturing. Hanser, Munich.
- Lippert, R. B. and Lachmayer, R. (2018): Validierung laserstrahlgeschmolzener Strukturbauteile aus AlSi10Mg, in : Lachmayer, R., Lippert, R.B. and Kaierle, St. (Ed.) (2018): Additive Serienfertigung. Springer, Berlin, pp. 39-51, DOI 10.1007/978-3-662-56463-9.
- Meussen, B., Schwieters, F. and Wagner, B (2018): Nutzung der additiven Fertigung (3D-Druck) in der Lehre an der NORDAKADEMIE, in: NORDBLICK, Vol. 7, pp. 46-57.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J. and Grote, K.-H. (2007): Engineering Design: A Systematic Approach. Springer, Berlin.
- Schunk GmbH & Co. KG (2018): Schunk eGrip, available at: http://schunk.com/de_de/services/digitale-services/egrip/, last accessed on 12.11.2019.
- Shanler, M. and Basiliere, P. (2018): Hype Cycle for 3D Printing, 2017. Gartner Inc., ID: G00338188.
- VDI 3405 (2014): Additive Fertigungsverfahren - Grundlagen, Begriffe, Verfahrensbeschreibung. Beuth, Berlin.
- Wright, I. (2017): The Airbus Roadmap to Additive Manufacturing, available at: <http://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/15886/The-Airbus-Roadmap-to-Additive-Manufacturing.aspx>, last accessed on 12.11.2019.

ANFORDERUNGSANALYSE IN AGILEN PROJEKTEN MIT STAKEHOLDER-BOARDS



Felix Schaeffer
Drägerwerk AG & Co. KGaA, Lübeck

Joachim Sauer
NORDAKADEMIE – Hochschule der Wirtschaft, Elmshorn

Abstract: Unabhängig vom eingesetzten Vorgehensmodell ist die gründliche und strukturierte Analyse von Anforderungen für den Erfolg von Softwareentwicklungsprojekten sehr wichtig. In diesem Artikel wird ein in der Praxis entwickelter Ansatz für die Anforderungsanalyse in agilen Projekten vorgestellt. Zur Integration aller Stakeholder werden neu entwickelte Stakeholder-Boards eingesetzt, bei denen alle Anforderungen über eine Contribution Poker genannte Technik eingebracht und ausgehandelt werden.

Keywords: Anforderungsanalyse, Requirements Engineering, Stakeholder, Agilität, IT-Projekte

1. EINLEITUNG UND MOTIVATION

Die Digitalisierung führt in vielen Unternehmen zu einer zunehmenden Unterstützung der Geschäftsprozesse durch Software. Während bei deren Neuentwicklung die Anforderungen initial über das Projektvorhaben und die Anforderungsanalyse ermittelt werden, ergeben sich in der Benutzung der Software oder durch veränderte Umwelteinflüsse kontinuierlich neue Anforderungen. Unter der Prämisse, dass die Software weiterentwickelt werden soll, stellt sich die Frage, wie die verschiedenen Anforderungen der unterschiedlichen Stakeholder in der Umsetzung berücksichtigt werden können. Die Diversität der Anforderungen ergibt sich unter anderem aus den unterschiedlichen Quellen. Beispiele hierfür sind:

- Das Management, das die Ziele des Geschäftsplans erreichen will.
- Die Kunden, die am Ende Leistungen in Anspruch nehmen.
- Der Wettbewerbsmarkt, der sich kontinuierlich verändert.
- Die Softwareanwender, die den Geschäftsprozess effizient erfüllen wollen.
- Weitere Fachbereiche, die durch andere Projekte Querauswirkungen auf den Geschäftsprozess haben.

Felix Schaeffer (M-Sc.) arbeitet als Global Process IT Expert an Anforderungen für die Plattform zur Service-Abwicklung des Medizin- und Sicherheitsherstellers Drägerwerk AG & Co. KGaA. Nach erfolgreichem dualen Bachelorstudium an der NORDAKADEMIE startete er als IT-Consultant und übernahm später zusätzlich die Rolle als Junior Produktmanager. In beiden Rollen konnte er praktische Erfahrungen zum RE und zu unterschiedlichen Projektvorgehen sammeln. Der Fokus auf das RE und agiles Vorgehen wurde 2018 durch den Wechsel zu Dräger verstärkt.
E-Mail: info@felix-schaeffer.de

Prof. Dr. Joachim Sauer ist Sprecher des Fachbereichs Informatik und Studiengangsleiter des Bachelorstudiengangs Angewandte Informatik an der NORDAKADEMIE. Nach dem Studium zum Diplom-Informatiker an der Universität Hamburg promovierte er im Arbeitsbereich Softwaretechnik. In der Wirtschaft war er viele Jahre als Softwareentwickler und -architekt sowie als IT-Berater und Projektleiter tätig. Ein aktueller Forschungsschwerpunkt sind Digitalisierungsprojekte und hybride Vorgehensweisen bei der Softwareentwicklung.
E-Mail: joachim.sauer@nordakademie.de

Insbesondere bei größeren Vorhaben steigt die Anzahl der Einflüsse auf die Anforderungen und somit die Gefahr von konträren Zielvorstellungen. Das Requirements Engineering (RE) beinhaltet, aus den Zielvorstellungen der Stakeholder die Anforderungen zu ermitteln, zu dokumentieren, zu prüfen sowie abzustimmen und zu verwalten (Rupp (2014): 14).

Die hohe Bedeutung des RE wird bei der zeitlichen und finanziellen Betrachtung einer Anforderungsänderung deutlich. Es entstehen beispielsweise Mehraufwände durch die Überprüfung der Analyse, die Anpassung der Anforderungsbeschreibung, die Abstimmung mit den weiteren Stakeholdern, den technischen Ausbau aus dem System, die Überarbeitung der Testdokumentation oder gar die Korrektur bereits entstandener Folgefehler im Produktiveinsatz. Je früher auf veränderte Anforderungen reagiert werden kann, umso mehr zeitliche oder finanzielle Folgekosten können vermieden werden (Rubin (2012): 40). Abbildung 1 zeigt zur Veranschaulichung des Sachverhalts auf der Abszisse den Lebenszyklus einer Anforderung und auf der Ordinate die Kosten einer Anforderungsänderung. Es ist erkennbar, dass die Kosten mit zunehmendem zeitlichem Verlauf exponentiell steigen. Dies liegt daran, dass zu einem späteren Zeitpunkt im Prozess alle bereits durchgeführten Tätigkeiten korrigiert werden müssen.

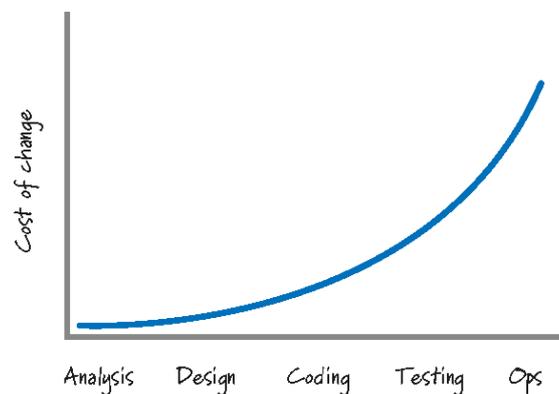


Abbildung 1: Kosten von Anforderungsänderungen in den einzelnen Phasen (Ruben (2012): 41)

Je nach Vorgehensmodell wird das RE unterschiedlich in den Softwareentwicklungsprozess integriert. Das Wasserfallmodell ist ein Vertreter der plangesteuerten Vorgehen. Hierbei werden die Phasen Anforderungsanalyse, Spezifikation, Implementierung, Test und Abnahme sequenziell nach Abschluss der vorausgehenden Phase durchlaufen (Sommerville (2016): 45). Ein Großteil der Anforderungsanalyse erfolgt in der anfänglichen Phase des Projektes. Ziel ist es dabei, ein Pflichtenheft zu erarbeiten, welches in den folgenden Phasen implementiert, getestet und für den Betrieb abgenommen wird.

Ein anderes Vorgehensmodell ist beispielsweise Scrum, welches zu den agil-inkrementellen Vorgehen zählt. Die inkrementelle Herangehensweise beschreibt ein Herunterbrechen des Problems auf Teilbestandteile, bei denen die Phasen Anforderungsanalyse, Spezifikation, Implementierung, Test und Abnahme zyklisch wiederholt werden (Sommerville (2016): 45). Durch die sich wiederholenden Zyklen erfolgt ein kontinuierliches Requirements Engineering. Bei Scrum werden die Anforderungen in einer Anforderungsliste, dem sogenannten Product Backlog, priorisiert geordnet (Schwaber & Sutherland (2017): 15). Durch Einwirkungen aus der Umwelt des Softwarevorhabens kann sich die Priorisierung einzelner Anforderungen im Product Backlog ändern und somit die Umsetzungsreihenfolge verschieben. Daraus ergibt sich die Frage, wie das Requirements Engineering bei agilem Vorgehen so eingesetzt werden kann, dass das Softwarevorhaben zielführend unterstützt wird. Bei der Ermittlung und Priorisierung der Anforderungen sind dabei die unternehmensintern und -extern gegebenen Rahmenbedingungen sowie eine objektive Berücksichtigung aller Stakeholder zu beachten.

Im Rahmen einer Masterarbeit wurde in Zusammenarbeit mit der Drägerwerk AG & Co. KGaA¹ für die Weiterentwicklung eines internen Software-Produktes ein Vorgehensmodell entwickelt. Die betriebliche Herausforderung beruhte darauf, ein Konzept für das agile Anforderungsmanagement zu entwickeln, das system- und teamübergreifend angewendet werden kann. Das Software-Produkt setzte sich aus mehreren Komponenten zusammen, an denen eigenständige Software-Teams arbeiteten. Ein wesentlicher Faktor war die der Unternehmensgröße geschuldete Menge an Endanwendern und strategischen Stakeholdern. Durch den weltweiten Einsatz des Softwareproduktes waren weltweit ungefähr 3 000 Anwender involviert, sodass eine Vielzahl von Anforderungen für lokale Marktbedürfnisse zu berücksichtigen waren.

Zur Berücksichtigung all dieser Faktoren wurde das Konzept des Stakeholder-Boards entwickelt. In diesem Artikel wird das entwickelte Vorgehensmodell vorgestellt. Es wird zunächst die Disziplin des Requirements Engineerings kurz skizziert. Anschließend wird beschrieben, wie RE in den agilen Scrum-Ansatz in der betrieblichen Praxis integriert werden kann. Da die Abstimmung mit den Stakeholdern ein wesentliches Merkmal des agilen Anforderungsmanagements ist, wird das dafür eingesetzte Stakeholder-Board als Gremium zur Priorisierung von Themen ausführlich vorgestellt. In der Evaluierung wird überprüft, ob das Stakeholder-Board die zuvor genannten Herausforderungen erfolgreich adressiert.

2. REQUIREMENTS ENGINEERING

Der effiziente Umgang mit Anforderungen, die in das zu entwickelnde Produkt einfließen sollen, spielt unabhängig vom Vorgehensmodell eine bedeutende Rolle. Die Tätigkeiten im Zusammenhang mit Anforderungen werden als Anforderungsmanagement („Requirements Engineering“, RE) bezeichnet (Rupp (2014): 13).

Das International Requirements Engineering Board (IREB) – eine Non-Profit-Organisation, die sich dem Thema des Requirements Engineerings widmet und ein weltweit anerkanntes Zertifizierungsprogramm anbietet – definiert RE wie folgt:

„Das Requirements-Engineering ist ein systematischer und disziplinierter Ansatz zur Spezifikation und zum Management von Anforderungen mit den folgenden Zielen:

- die relevanten Anforderungen zu kennen, Konsens unter den Stakeholdern über die Anforderungen herzustellen, die Anforderungen konform zu vorgegebenen Standards zu dokumentieren und die Anforderungen systematisch zu managen
- die Wünsche und die Bedürfnisse der Stakeholder zu verstehen und zu dokumentieren,
- die Anforderungen zu spezifizieren und zu managen, um das Risiko zu minimieren, ein System auszuliefern, das nicht den Wünschen und Bedürfnissen der Stakeholder entspricht.“ (Glinz (2014): 18; Rupp (2014): 13)

Aus dieser Definition lassen sich die vier Hauptaktivitäten des Requirements Engineerings ableiten: Ermitteln, Dokumentieren, Prüfen/Abstimmen sowie Verwalten (Rupp (2014): 14). Die Aktivitäten des RE gewähren einen ganzheitlichen Blick auf Anforderungen und deren Lebenszyklus.

Bei der ersten Aktivität, dem Ermitteln von Anforderungen, wird ein System über eine System- und Kontextgrenze definiert. Mit Ermittlungstechniken werden die relevanten Anforderungen an ein System identifiziert. Die Dokumentation dieser Anforderungen stellt die zweite Aktivität dar. Dabei werden die ermittelten Anforderungen über Dokumentationstechniken in geeigneter Weise festgehalten. Die dritte Aktivität ist das Prüfen und Abstimmen von Anforderungen.

¹ Zur besseren Lesbarkeit nachfolgend Dräger genannt.

Diese Tätigkeit stellt sicher, dass die Anforderungen Qualitätsaspekte erfüllen, sodass die nachträgliche Korrektur einer bereits umgesetzten Anforderung vermieden wird. Die vierte Aktivität ist das Verwalten von Anforderungen, welches auch Requirements Management genannt wird. Die Verwaltung von Anforderungen stellt sicher, dass über Attribute strukturierte Informationen vorliegen. Des Weiteren wird der Prozess bei Anforderungsänderungen, der Priorisierung und der Messung des RE-Prozesses über Metriken betrachtet.

Unabhängig vom Vorgehensmodell ist ein Requirements Engineering notwendig, da die Softwareentwicklung auf Basis von Anforderungen erfolgt. Im klassischen Projektmanagement erfolgt die Anforderungsanalyse dabei zu Projektbeginn, sodass das Pflichtenheft als Implementierungsgrundlage dient. Durch die möglichst vollständige Spezifikation wird ein Gesamtüberblick über das Vorhaben möglich. Sollten sich während der Implementierung Änderungen an der Spezifikation ergeben, müssen alle Phasen von Anforderungsanalyse bis zur Abnahme wiederholt werden. Bei agilen Vorgehensmodellen stellt das RE hingegen durch die iterativen Zyklen eine kontinuierliche Aufgabe dar (Schwaber & Sutherland (2017): 4; Sommerville (2016): 47). Dadurch generieren iterative Vorgehen sowohl eine kontinuierliche Komplexität in der Anforderungsintegration als auch Aufwände in der Anforderungsprüfung zur (Neu-)Ausrichtung der Software hinsichtlich des ursprünglichen Gesamtvorhabens.

Im Folgenden werden die RE-Aktivitäten in agilen Vorgehen genauer betrachtet, da das Vorgehensmodell, das in diesem Artikel vorgestellt wird, in das Scrum-Framework integriert wird.

Die Kernkonzepte von Scrum sind dabei von den beiden Autoren Schwaber und Sutherland in „The Scrum Guide“ beschrieben (Schwaber & Sutherland (2017)). Das Framework basiert auf fünf Werten und einer empirischen Prozesssteuerung mittels Transparenz, Überprüfung und Adaption. Für den iterativen Ablauf werden drei Rollen, fünf Ereignisse und drei Artefakte verwendet. Eine Übersicht über die Bestandteile ist in Abbildung 2 dargestellt.

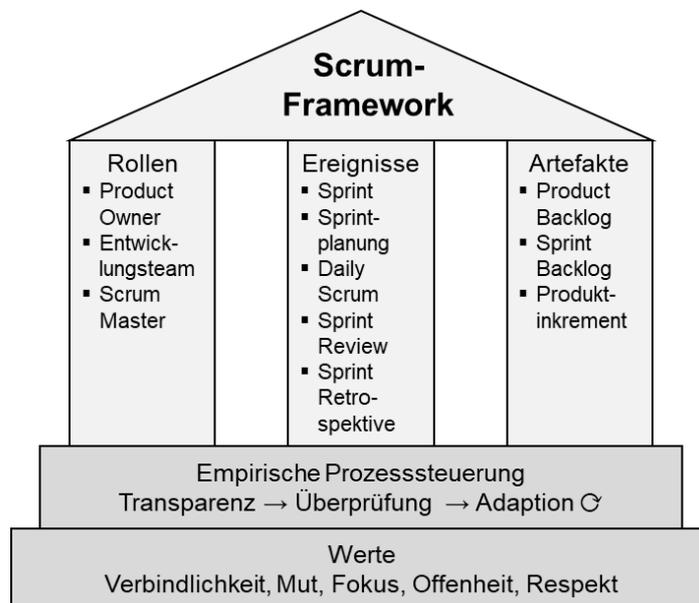


Abbildung 2: Bestandteile des Scrum-Frameworks im Überblick (eigene Darstellung)

Eine der drei Rollen ist der Product Owner, der als Produktverantwortlicher für die Wertmaximierung des Produktes zuständig ist. Der Product Owner pflegt die Anforderungsliste, das Product Backlog, und übernimmt zur Planung eines Zyklus (Sprint) die am höchsten priorisierten Anforderungen ins Sprint Backlog. Die für den Zyklus geplanten

Anforderungen werden dem Entwicklungsteam in der Sprintplanung erläutert. Nach einvernehmlicher Planung des Sprintumfangs werden die Anforderungen im Sprint entwickelt und am letzten Tag in einem gemeinsamen Termin (Sprint Review) dem Product Owner und den Stakeholdern vorgestellt. Durch die Einbindung der fachlichen Ansprechpartner entsteht eine enge Zusammenarbeit. Da zwischen Sprints keine Pausen existieren, beginnt der nächste Sprint mit dem gleichen Ablauf am Ende des vorherigen Sprints² (Schwaber & Sutherland (2017): 6).

Das Requirements Engineering ist im dargestellten Ablauf des Scrum-Frameworks durchgängig aufzufinden. Der Product Owner ist die Schnittstelle zu den Stakeholdern des Softwareproduktes und somit für die Erfassung der Anforderungen verantwortlich. Für die Wertmaximierung der Software müssen die Anforderungen im Product Backlog priorisiert und für den Sprint eingeplant werden. Für die bilaterale, objektive Bewertung der Anforderungsreife bzw. deren Erfüllungsgrad werden Kriterien definiert. Die Anforderungen werden kontinuierlich in Zusammenarbeit zwischen Product Owner und Stakeholdern abgestimmt, sodass auf Veränderungen bei Anforderungen eingegangen werden kann. Zur Erfüllung von Qualitätsaspekten werden mit dem gesamten Scrum-Team Kriterien definiert, die notwendig sind, um eine Anforderung in einen Sprint zur Umsetzung einzuplanen. Diese Kriterien werden in einer „Definition of Ready“-Liste gepflegt, gelten für alle umzusetzenden Anforderungen und können bei Bedarf an die Rahmenbedingungen angepasst werden. Nach Erfüllung dieser Kriterien und Planung für den Sprint, müssen die Anforderungen im Sprint durch das Entwicklungsteam umgesetzt werden. Zur objektiven Zielmessung einer Anforderung wird diese um Abnahmekriterien, sogenannte Akzeptanzkriterien, ergänzt. Die checklistenähnlichen Kriterien ermöglichen eine Transparenz der seitens der Kunden gewünschten Anforderungen und dienen zur Abnahme im Sprint Review. Abnahmekriterien, die für alle Anforderungen gelten, werden zentral in einer „Definition of Done“-Liste gepflegt und ergänzen die anforderungsspezifischen Akzeptanzkriterien. Trotz Erfüllung aller Abnahmekriterien können im Sprint Review bei der Vorstellung neue Bedürfnisse entstehen oder neue Funktionalitäten erforderlich werden, die der Product Owner dann als Anforderung erfasst. Ein Scrum-Team sollte dabei so unabhängig wie möglich von anderen Teams arbeiten, sodass Ressourcen- oder Kompetenzabhängigkeiten vermieden werden. Zur Entlastung des Product Owners im Sinne des RE ist daher auch ein RE-Spezialist im Scrum-Entwicklungsteam möglich (Röpstorff & Wiechmann (2016): 38).

Da die finanziellen, zeitlichen und personellen Ressourcen bei umfangreichen Vorhaben mit einer Vielzahl an Stakeholdern meist knapp sind, stellt sich die Frage nach einer objektiven Bewertung und Priorisierung der Anforderungen. Anforderungen lassen sich dabei in unterschiedlichen Detailierungstiefen beschreiben. Rubin definiert hierzu Epics, Features, User Stories und Tasks. Epics haben die geringste Detailtiefe und ermöglichen einen Überblick über das Gesamtvorhaben. Die Konkretisierung der Epics erfolgt durch Features. Diese stellen einen vollständigen Mehrgewinn für ein Release dar, sind jedoch zu umfangreich für einen einzelnen Sprint. Deswegen werden Features in singuläre Anforderungen als User Stories aufgegliedert. Während die bisherigen Ebenen die Anforderungen des Product Owners repräsentieren, kann das Scrum-Entwicklungsteam unterhalb einer User Story Aufgaben („Tasks“) als Leitlinie der durchzuführenden Arbeiten zur Erfüllung der User-Story-Anforderung definieren. (Ruben (2012): 86) Die Detailierungsebenen sind in Abbildung 3 mit dem Namen und einer Umfangscharakteristik schematisch visualisiert.

² Der Vollständigkeit halber sei die Sprint-Retrospektive im Anschluss an das Sprint Review genannt, bei der in einer Selbstreflexion des Entwicklungsteams mit dem Prozesseigner (Scrum Master) Maßnahmen zur empirischen Prozesssteuerung erarbeitet werden.

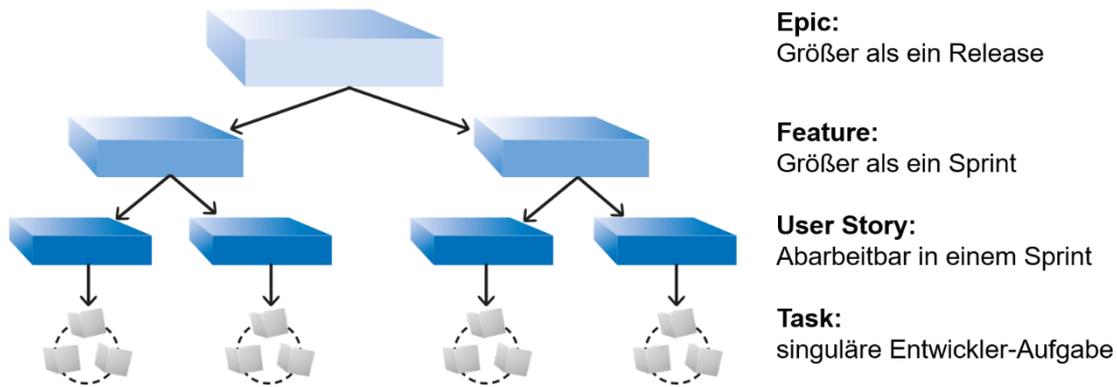


Abbildung 3: Detaillierungsebenen einer Anforderung (Ruben (2012): 87)

Ogleich die Detaillierungsebenen eine bessere Strukturierung schaffen, findet sich in der Literatur häufig keine Antwort darauf, wie der Product Owner ein objektives und auf die beteiligten Stakeholder abgestimmtes, agiles Requirements Engineering vornehmen kann (Schwaber (2018); Sutherland (2019); Larman & Vodde (2015); Cohn (2004); Wang, Zhao, Wang & Sun (2014); Baron & Hüttermann (2010)).

Je nach Zusammensetzung und Anzahl der Stakeholder entsteht ein Interessenskonflikt, da Zielsetzungen und Interessen der Stakeholder widersprüchlich sein können. Daraus ergibt sich der Bedarf eines Konzepts für agiles Anforderungsmanagement und agile Anforderungspriorisierung, das die Interessen aller Stakeholder möglichst umfassend berücksichtigt.

3. AGILE ANFORDERUNGSANALYSE IN DER PRAXIS AM BEISPIEL VON DRÄGER

Grundlage für ein agiles Anforderungsmanagement sind die vier Hauptaktivitäten des Requirements Engineerings. Die Eignung der jeweils eingesetzten Methoden und Konzepte muss überprüft und an die vorliegenden betrieblichen sowie vom Vorgehensmodell gegebenen Rahmenbedingungen angepasst werden.

Dräger ist ein 1889 in Lübeck gegründetes Unternehmen. Weltweit arbeiten in rund 50 Ländern ungefähr 14 400 Mitarbeiter in Service- und Vertriebsgesellschaften, um den Kunden Produkte der Medizin- und Sicherheitstechnik bereitzustellen. Das umfangreiche Produktportfolio ist in vielen Gebieten, wie beispielsweise Krankenhäusern, Feuerwehren und Industrieunternehmen im Einsatz, um Leben zu schützen, zu unterstützen und zu retten. Zum Kerngeschäft des Unternehmens gehören nicht nur die Produktion der Geräte, sondern auch der Vertrieb und produktnahe Dienstleistungen. (Dräger (2019): 1) Die Geschäftsprozesse zur Abwicklung der Serviceprozesse für Innendienst und Techniker werden dabei zentral im Unternehmenshauptsitz Lübeck entwickelt, in IT-Systemen bereitgestellt und sukzessive in die einzelnen Länderniederlassungen ausgerollt.

Sowohl bei den Rollout-Projekten als auch im Tagesgeschäft ergeben sich kontinuierlich neue Anforderungen durch die lokalen Anwender des Systems. Beim Umgang mit diesen neuen Anforderungen ist ein strukturiertes Anforderungsmanagement in Verbindung mit dem agilen Entwicklungsansatz notwendig. Vor allem durch die weltweite Nutzung des Systems und die hohe Anzahl an Anwendern ergibt sich eine Vielzahl von Anforderungen. Bei einer landesspezifischen Umsetzung einer Anforderung steigt durch die regionalen Ausprägungen in den Prozessen bzw. IT-Systemen die Komplexität. Dies führt zu potenziellen Mehraufwänden in der Berücksichtigung anschließender Anforderungen (Berücksichtigung aller Varianten) oder zu einem erhöhten Schulungsaufwand.

Das zur Umsetzung entwickelte, strukturierte Vorgehensmodell gliedert sich in die drei Phasen „Requirements Engineering“, „agile Entwicklung“ und „Dokumentation/Release“, die iterativ zur Anwendung kommen. Abbildung 4 zeigt diese drei Phasen mit den jeweiligen Eingängen zur Phase und dem Phasenergebnis. In der Requirements-Engineering-Phase werden die Anfragen der Stakeholder erfasst und bereits klassifiziert. Die Klassifizierung dient der Zuordnung von gleichartigen Anforderungen (zum Beispiel anhand des Geschäftsprozesses, eines unternehmerischen Ziels, einer spezifischen Anwendung), sodass sich ein Überblick über alle Anforderungen zu einem Themengebiet ergibt. Mittels des im nächsten Kapitel vorgestellten Priorisierungsverfahrens erfolgt in regelmäßigen Zeitabständen die Bewertung von Themengebieten mit den Stakeholdern. Dies ermöglicht die kombinierte Erarbeitung von Lösungen als Epics zu den singulären Anforderungen der Stakeholder, sodass eine Vielzahl der Stakeholder mittels einer gesamtheitlichen Lösung zufrieden gestellt werden kann. Das Erarbeiten der aus dem Epic resultierenden Features und User Stories erfolgt durch den Product Owner bzw. dem RE-Spezialisten-Team im Sprintmodus, sodass ein verbindlicher Fokus auf der Erarbeitung der Spezifikation vorliegt. Des Weiteren ermöglicht dies eine empirische Prozesssteuerung, da die RE-Tätigkeiten vollständig transparent sind. Auch die Stakeholder profitieren vom „Requirements Sprint“, da durch die Sprint Reviews eine enge Zusammenarbeit bei der Erarbeitung des Lösungskonzeptes erfolgt. Durch die Spezifikation der Epics in Features und User Stories wird in Phase 2 eine agile Implementierung im Sprintmodus ermöglicht. Da User Stories innerhalb eines Sprints umgesetzt werden sollten, entsteht am Ende jeden Sprints ein vorzeigbares und nutzbares Inkrement, welches eine Plausibilisierung des Konzeptes zur Realisierung ermöglicht. Je nach Reifegrad der einzelnen Fragmente, werden diese Inkremente zu einem Release gebündelt und in Phase 3 dem Endanwender bereitgestellt. Hierzu sind Dokumentation und Kommunikation nötig, die in diesem Schritt ebenfalls bereitgestellt werden. Im Idealfall werden die Rollout-Aktivitäten als Akzeptanzkriterium definiert, jedoch müssen die unternehmensinternen Rahmenbedingungen berücksichtigt werden. Dabei ist abzuwägen, ob sich die entwickelten Epics ohne großen Aufwand bei den Anwendern einführen lassen oder der Rolloutprozess durch fachliche Vorbereitungen und Schulungen gesondert betrachtet wird.

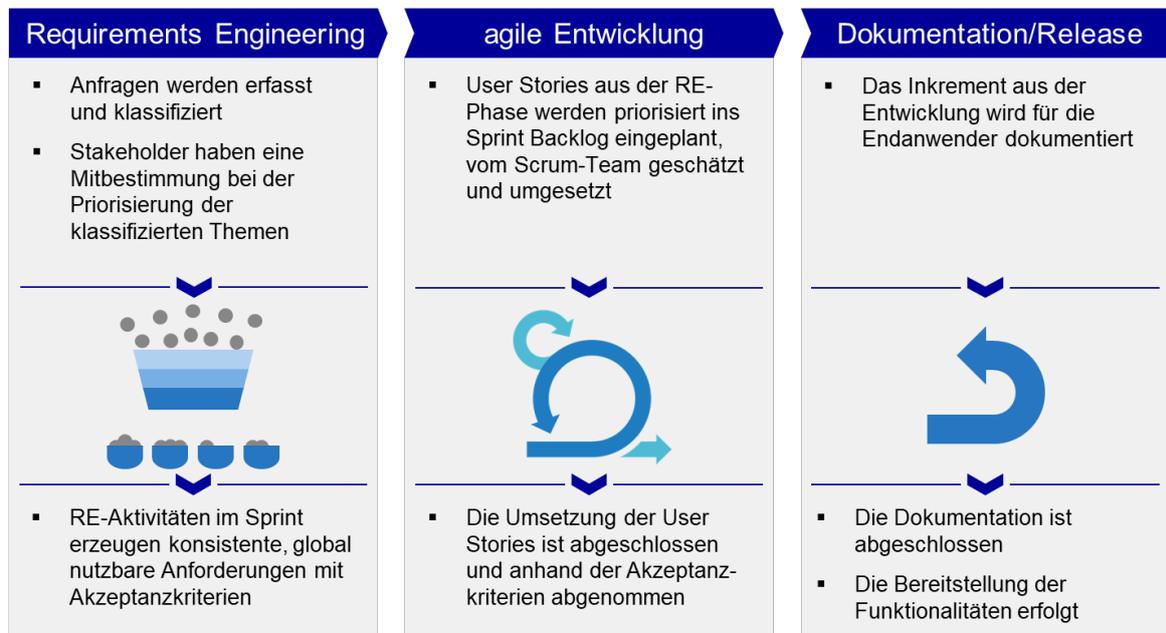


Abbildung 4: Visualisierung der drei Phasen des Vorgehensmodells mit den Phaseneingängen und deren Ergebnis (eigene Darstellung)

Während die priorisierten Epics in regelmäßigen Abständen mit den Stakeholdern bewertet werden, erfolgen alle anderen Aktivitäten der Phasen innerhalb der Sprints iterativ. Im Folgenden werden die einzelnen Abschnitte mit Schwerpunkt auf der ersten Phase vorgestellt.

Die erste Phase umfasst ein umfangreiches Requirements Engineering. Dessen Ziel ist es, die landes- oder projektspezifischen System-Funktionalitäten auf ein Minimum zu reduzieren, sodass die Komplexität langfristig niedrig gehalten wird. Hierfür ist die Anwendung aller vier Aktivitäten des Requirements Engineerings notwendig.

Beim Ermitteln von Anforderungen müssen die beteiligten Interessengruppen über eine Stakeholder-Analyse festgestellt werden, da diese Gruppen die Anforderungen an das Produkt stellen. Eine Berücksichtigung aller Interessengruppen ist notwendig, da sowohl das Tagesgeschäft (lokaler und kurzfristiger Fokus) für die Abwicklung des Geschäftsprozesses als auch die strategische Ausrichtung (globaler und langfristiger Fokus) zur Sicherstellung des Unternehmenserfolges notwendig sind. Eine strukturierte Analyse der Anforderungen wird durch die Klassifikation als Epics ermöglicht. Die Kategorien werden so gebildet, dass sie gemäß einem Geschäftsprozess jeweils ein Gesamtziel darstellen. Den Epics werden die einzelnen Detailanforderungen zugewiesen, die zur Erreichung des Ziels beitragen.

Die Verwendung einer solchen Klassifizierung von Anforderungen bietet eine Reihe von Vorteilen:

- Die Konsolidierung vermeidet eine mehrfache Implementierung beziehungsweise Änderung der Anforderung, da eine breitere Informationsgrundlage zur Verfügung steht.
- Durch die ermittelten Anforderungen lassen sich aus einem Sachobjekt häufige Fehler- oder Verbesserungspotenziale ableiten. Dadurch können bereits die ursächlichen Probleme und nicht erst deren Resultate analysiert und behoben werden.
- Bei einer Kategorisierung fließen Anforderungen vieler Anspruchsgruppen ein. Durch eine generelle Umsetzung werden globale statt lokale Änderungen herbeigeführt, die von mehreren Anspruchsgruppen genutzt werden können. Dies hat zur Folge, dass sich die Gesamtkomplexität des Systems reduzieren lässt.
- In großen Produkten mit vielen Anforderungen kann eine Diskussion mit den Interessengruppen auf der entsprechenden Gruppierungs- oder Detailebene durchgeführt werden. Dies ermöglicht eine effiziente Gestaltung der Abstimmung.
- Die Gruppierungen ermöglichen einen Gesamtüberblick über das Produktvorhaben, ohne dabei Informationen durch die darunterliegenden Ebenen zu verlieren.

Im Anschluss an die Ermittlung, Gruppierung und Analyse der Anforderungen ist eine transparente Darstellung in Form einer Dokumentation notwendig. In Scrum gilt gemäß dem Scrum Guide das Product Backlog als einzige Informationsquelle für die Anforderungen (Schwaber & Sutherland (2017): 15).

Nach der kontinuierlichen Ermittlung und Dokumentation von Anforderungen, müssen diese mit den Stakeholdern geprüft und abgestimmt werden. Durch das Einwirken unterschiedlicher Stakeholder ist bei der Priorisierung ein Kompromiss aus kurzfristigen Anforderungen des Tagesgeschäfts und langfristigen Strategieanforderungen notwendig. Die Umsetzung von lokalen Anforderungen aus dem Tagesgeschäft erhöht langfristig die Komplexität des Gesamtsystems, da keine Analyse des Gesamtsystems erfolgt. Insofern sollten die in Epics und Features gebündelten Anforderungen in der Sprintplanung berücksichtigt werden. Durch Kunden- und Markteinflüsse ergeben sich neue Anforderungen, die sich unter Umständen auf den Unternehmenserfolg auswirken. Daher ist ein flexibles Reagieren auf Veränderungen, wie es im agilen Manifest als Grundwert beschrieben ist, notwendig und muss bei der Sprintplanung kontinuierlich berücksichtigt werden (Beck (2001)). Zur schnellstmöglichen

Umsetzung der strategischen Ziele in Form der Epics und Features ist es notwendig, im Sprint möglichst viel Kapazität für die gebündelten Anforderungen zur Verfügung zu stellen. Daher sind die kritischen Tagesgeschäftsanforderungen anhand objektiver Kriterien auf ein Minimum zu reduzieren. Zusammengefasst ergibt sich für einen Sprint eine Kombination aus den singulären und den aus den Features resultierenden User Stories. Die Unterscheidung in konsolidierte Anforderungen und Tagesgeschäftsanforderungen sowie deren Charakteristik ist in Abbildung 5 zusammenfassend dargestellt.



Abbildung 5: Darstellung der Unterschiede zwischen konsolidierten Anforderungen und nicht konsolidierten Anforderungen aus dem Tagesgeschäft (eigene Darstellung)

Zur Gewährleistung der Übersicht über die Anforderungen dient die Aktivität „Verwaltung von Anforderungen“. Im Kontext des Scrum-Frameworks dienen das Product Backlog als „Anforderungsablage“ (wo?) und die User Stories zur Beschreibung der Anforderungen (wie?). Grundlage für eine effiziente Anforderungsverwaltung ist die Verwendung von Attributen, die Informationen zu einer Anforderung in strukturierter Form speichern. Das Resultat der RE-Tätigkeiten aus den Requirements Sprints sind kontinuierlich qualitativ hochwertige Anforderungen für die Softwareentwicklung.

Nachdem die Anforderungen spezifiziert wurden, müssen diese in Software entwickelt werden. Dies ist der Hauptbestandteil der zweiten Phase. Die agile Vorgehensweise und die Verwendung des Scrum-Frameworks ermöglichen die kontinuierliche Berücksichtigung neuer Anforderungen. Dazu bieten die Sprint-Inkrementen eine frühzeitige Rückmeldung zu den bereits entwickelten Anforderungen. Durch Einbeziehung und enge Zusammenarbeit mit den Stakeholdern erfolgt die Abstimmung von Anforderungen anhand der aktuellen Marktbedürfnisse. Bei der Etablierung des Vorgehensmodells zum agilen Requirements Engineering müssen die Rollen, Ergebnisse und Artefakte aus dem Scrum-Framework auf die betriebliche Situation adaptiert werden. Aufgrund der Einzigartigkeit jedes Vorhabens und dem Fokus auf das Requirements Engineering in diesem Artikel, wird auf eine weitergehende Ausführung der agilen Software-Entwicklung verzichtet und es sei auf das Werk (Cohn (2004)) verwiesen.

Am Ende eines jeden Sprints und mit Erfüllung der Abnahmekriterien wird das Produkt-Inkrement als Artefakt geschaffen. Die regelmäßige Bündelung und Bereitstellung der Inkremente stellt ein Release dar. Dessen anschließende Bereitstellung ist Bestandteil der dritten Phase.

Nach der Fertigstellung der Sprints bedarf es einer Paketierung der Anforderungen in einem Release. Die für ein Release benötigte fachliche Dokumentation und das Release-Management erfolgen in der dritten Phase. Während der Entwicklungsarbeiten muss parallel an der Dokumentation gearbeitet werden, damit das Release aus fachlicher Sicht nicht verzögert wird und für den Anwender schnellstmöglich bereitgestellt werden kann. Je nach Größe und Reifegrad der Organisation, ist die Bereitstellung neuer Funktionalitäten durch Schulungen oder Prozessanpassungen zeitintensiv. Daher kann es unter Umständen sinnvoll sein, die Rollout-Phase von der Entwicklungsphase zu separieren. Ein hoher Prozessreifegrad wird erwirkt, indem das Dokumentationsteam in das Scrum-Entwicklungsteam integriert wird. Dies vermeidet teamexterne Abhängigkeiten.

4. ANWENDUNG DES STAKEHOLDER-BOARDS

Im betrieblich entwickelten Vorgehensmodell wurde erläutert, dass bei der Sprintplanung sowohl die in Epics gebündelten Anforderungen als auch kritische Tagesgeschäftsanforderungen zu berücksichtigen sind.

Durch die Bearbeitung der zu einem Epic konsolidierten User Stories entsteht eine themenkomplexspezifische Änderung am System. Bei der Erarbeitung des Epics sollte eine Ist- und Soll-Analyse zwischen dem System und dem Geschäftsprozess durchgeführt werden. Diese ermöglicht durch neue oder geänderte Funktionalitäten die Ausrichtung des Systems am Geschäftsprozess und die bestmögliche Erreichung der Ziele der Stakeholder. Da sich somit die Interessen der Stakeholder in den konsolidierten Anforderungen wiederfinden, sollten die Stakeholder bei der Bewertung der Epics einbezogen werden. Das Resultat der Bewertung ist eine praktisch orientierte Priorisierung. Eine effiziente Abstimmung ist dabei nur mit repräsentativen Vertretern einer Interessengruppe möglich, da der Koordinierungsaufwand und der zeitliche Aufwand von Diskussionen mit zunehmender Teilnehmeranzahl steigen. Daher wird aus Vertretern der Stakeholder das „Stakeholder-Board“ als Gremium gebildet. Bei der Auswahl der Teilnehmer ist darauf zu achten, dass jede Stakeholder-Gruppe mit einem Repräsentanten vertreten ist.

Da die Stakeholder im Gremium die Priorisierung der bis zum nächsten Stakeholder-Board stattfindenden Epics vornehmen, ist die Rolle des Stakeholders von besonderer Bedeutung. Wird ein Anwender delegiert, so fehlt gegebenenfalls das Wissen zur Repräsentation der strategischen Ziele der eigenen Stakeholder-Gruppe. Wird hingegen das Top-Management auf Vorstandsebene als Delegierter nominiert, so fehlt das Wissen aus den operativen Abläufen und Problemfeldern des Tagesgeschäfts. Je nach Stakeholder-Gruppe existieren unterschiedliche Hierarchien und Rollenbilder, sodass eine generelle Empfehlung für einen Stakeholder schwer realisierbar ist. Alternativ kann vor Durchführung des ersten Stakeholder-Boards eine Präsentation des Vorhabens bei den Stakeholdern zu einem besseren Verständnis führen. Anschließend kann der Stakeholder selbst eine geeignete Person oder Personengruppe zu seiner Vertretung benennen.

Die Teilnehmer des Stakeholder-Boards werden vom Product Owner, fortfolgend Moderator genannt, zu einem Termin eingeladen. In Vorbereitung auf diesen bereitet der Moderator die Themenkomplexe vor. Der Moderator sollte dabei im engen Austausch mit der Produktentwicklung stehen, sodass ein Fachwissen für den Geschäftsprozess und das System gegeben ist. Bei der inhaltlichen Aufbereitung sind Requirements-Engineering-Fähigkeiten zur Verifizierung und Konsolidierung der Anforderungen notwendig. Dies ermöglicht die Bildung konsistenter und geschäftsprozesskonformer Epics. Des Weiteren ermöglicht das prozessuale Fachwissen des Moderators eine Verbesserung der Features. Verbesserungen ergeben sich durch eine Ursachenanalyse der von den Stakeholdern beschriebenen Anforderungen.

Am Tagungstag des Stakeholder-Boards erfolgt zunächst eine Vorstellung der Epics. Für die darauffolgende Priorisierung ist es notwendig, dass die vorgestellten Themengebiete inhaltlich verstanden werden. Daher erfolgt eine zeitbegrenzte Diskussion zur Klärung offener Fragen der Teilnehmer. Bei der Vorstellung und Diskussion können sich bereits durch unterschiedliche Zielabsichten der Stakeholder Interessenskonflikte ergeben. Um eine objektive Bewertung der Epics zu gewährleisten, ist eine Priorisierungstechnik notwendig. Hierzu eignet sich die Adaption der Planning-Poker-Methode³, welche im betrieblichen Kontext „Contribution Poker“ genannt wird. Dazu erhält jeder Teilnehmer ein virtuelles Budget, das er entsprechend der eigenen Priorität verdeckt den einzelnen Epics zuweist. Je nach Durchführung des Stakeholder-Boards kann dies entweder bei einem Vor-Ort-Termin mit Karten oder bei einer Internetkonferenz über eine digitale Umfrage erfolgen.

Nach Zuweisung des Budgets werden die Ergebnisse präsentiert, sodass sich anhand des zugeteilten Wertes eine Epic-Priorität ableiten lässt. Die Epics mit dem höchsten zugewiesenen Budget haben somit, aus Sicht der Stakeholder, die höchste Bedeutung. Daher ist eine Berücksichtigung dieser Epics in den Sprints bis zum nächsten Stakeholder-Board sinnvoll. Die Anzahl der umsetzbaren Epics orientiert sich am inhaltlichen Umfang und den verfügbaren Entwicklungskapazitäten. Die nicht umsetzbaren Epics werden im nächsten Stakeholder-Board gemeinsam mit den zwischenzeitlich neu erarbeiteten Epics vorgestellt und neu priorisiert.

Nach Festlegung der Priorisierung werden gemeinsam mit den Stakeholdern Erfolgskriterien zur objektiven Zielmessung der Umsetzung der Epics definiert. Der Umfang der umzusetzenden Epics orientiert sich dabei an der zur Verfügung stehenden Entwicklungskapazität und dem Intervall des Stakeholder-Boards. Als Orientierung kann die Velocity des Teams und eine grobe Aufwandschätzung der Epics dienen. Die Velocity beschreibt die Metrik, wie viel Arbeit ein Scrum-Entwicklungsteam innerhalb eines Sprints durch Abarbeitung von User Stories erledigt (Cohn (2004): 90). Die Schätzung der Aufwände kann dabei entweder über Komplexität der User Stories (Story Points) oder über zeitliche Aufwandsschätzungen erfolgen.

Der Zusammenhang wird am folgenden Beispiel deutlich: Die Stakeholder-Boards sind im Abstand von sechs Monaten terminiert. Das Scrum-Team arbeitet in 2-Wochen-Sprints und erreicht eine durchschnittliche Velocity von 20 Story Points je Sprint. Zwischen zwei Sprints stehen somit 240 Story Points zur Verfügung⁴.

Das Stakeholder-Board hat das Ziel, sich mit den Stakeholdern zu möglichen Entwicklungsthemen in einem gegebenen Zeithorizont abzustimmen und dabei eine Gewichtung der Epics festzulegen. Sollten dennoch zwei Themen gleichermaßen viel Budget zugeteilt bekommen oder aufgrund einer gemeinsamen Entscheidung mehrere Themen adressiert werden, so kann es vorkommen, dass die grobe Aufwandsschätzung der vorgestellten Themen die Kapazität übersteigt. In diesem Fall ist darauf zu achten, den Stakeholdern transparent darzustellen, dass von beiden Themen nicht der volle Umfang des Epics bis zum nächsten Stakeholder-Boards geliefert werden kann. Anderenfalls entsteht bei den Stakeholdern eine falsche Erwartungshaltung, die zu einer Frustration führen kann. Nach Aufteilung des Budgets zu den Epics ist die Tagung des Stakeholder-Board beendet.

Bei den nächsten Stakeholder-Board-Terminen wird zusätzlich vor der Vorstellung der neuen Epics mittels einer Stakeholder-Zufriedenheitsbefragung die Zielerreichung überprüft. Da unter Umständen einige Stakeholder nur strategisch involviert sind, ist eine Bewertung der operativen Verbesserungen durch die umgesetzten Epics nur schwer abschätzbar. Für eine

³ Die Methode wird üblicherweise in einem Scrum-Team zur Aufwandsschätzung verwendet.

⁴ 6 Monate / 2-Wochen-Sprint = 12 Sprints; 12 Sprints * 20 Story Points = 240 Story Points

Bewertbarkeit bedarf es daher der Vorbereitung der Teilnehmer, weshalb der Stakeholder-Board-Termin mit genügend Vorlaufzeit geplant werden muss. Die gründliche Vorbereitung des Stakeholders sollte nicht nur für die Zufriedenheitsbefragung erfolgen, sondern auch im Eigeninteresse für das nachfolgende Contribution Poker. Eine breite Informationsgrundlage ermöglicht eine Beeinflussung der Diskussionsrunde zu Gunsten der Interessen des Teilnehmers.

Der Ablauf des Contribution Pokers im Stakeholder-Board wird in Abbildung 6 zusammenfassend visualisiert.

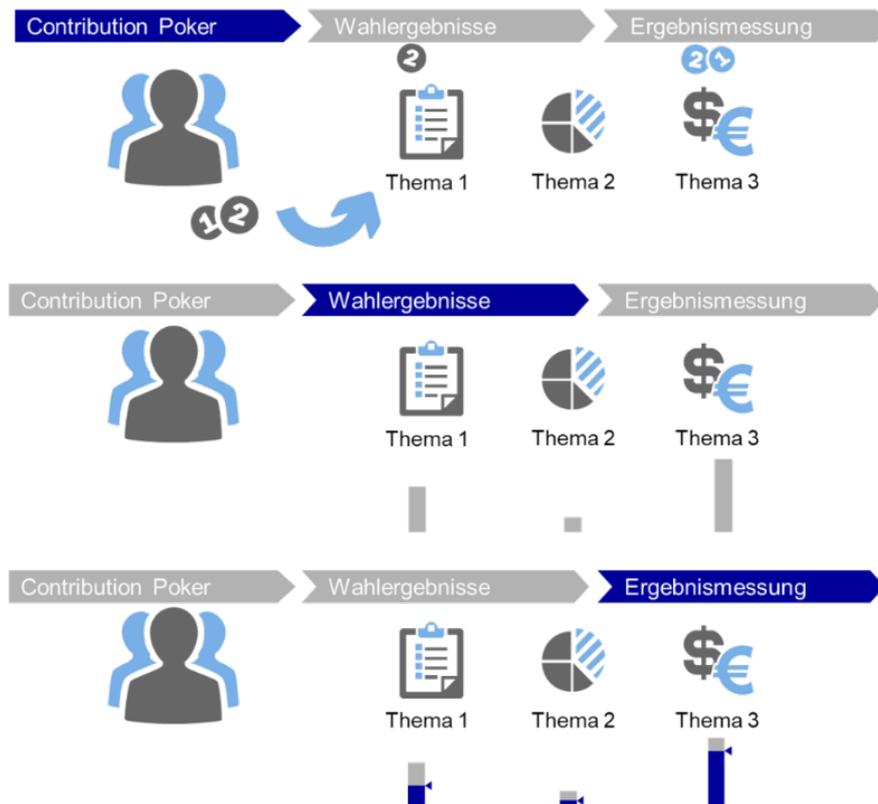


Abbildung 6: Ablauf des Contribution Pokers im Stakeholder-Board (eigene Darstellung)

Im oberen Teil der Abbildung ist das Verteilen des Budgets im Contribution Poker dargestellt. Nach Vorstellung der Epics erhält jeder Teilnehmer ein virtuelles Budget, das auf die Themen verteilt wird. Das Vergabeverfahren an die Teilnehmer muss transparent sein, um keinen Stakeholder zu benachteiligen. Es bieten sich zwei Verfahren an:

1. Das Gesamtbudget wird wertemäßig gleichmäßig auf alle Teilnehmer verteilt. Alle Teilnehmer haben dieselben Möglichkeiten, unabhängig von ihrer Stellung im Unternehmen.
2. Das Gesamtbudget wird entsprechend einer unternehmensrelevanten Kennzahl vergeben. Dadurch wird die Einflussnahme der Stakeholder gewichtet. Dies stößt in der Praxis jedoch nur dann auf Zuspruch, wenn die Kennzahl für alle nachvollziehbar und möglichst auch beeinflussbar ist.

Im mittleren Teil der Abbildung werden die Wahlergebnisse nach Verteilen des Budgets aller Stakeholder dargestellt. Dies sollte in jedem Stakeholder-Board erfolgen, damit jeder Stakeholder seine Kenntnis über die zu bearbeitenden Schwerpunktthemen bis zum nächsten Stakeholder-Board ausbauen kann.

Im unteren Abschnitt der Abbildung ist die Ergebnismessung dargestellt. Durch die Abfrage der Zufriedenheit der Stakeholder kann ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess des Vorgehensmodells und der *vorbereitenden* Themen erfolgen. Die Teilnehmer beurteilen dazu in einem Fragebogen mit einer Ordinalskala (zum Beispiel mit einer Skala von eins bis zehn) die Zufriedenheit. Der Fragebogen enthält dabei die Themen, die im vorherigen Stakeholder-Board abgestimmt wurden, da nur zu diesen Themen Verbesserungen vorliegen. Die Ergebnisse dieses Votings repräsentieren den Erfolg des Software-Teams und ermöglichen eine Reflexion im Sinne der empirischen Prozesssteuerung. Eine generelle Unzufriedenheit der Stakeholder ist ein möglicher Indikator für einen zu verbessernden Prozess, wie zum Beispiel Schwächen im RE-Prozess bei der Konzepterarbeitung. Obgleich die Ergebnismessung die erste Phase im nächsten Stakeholder-Board ist, ist sie in der Abbildung als letzter Schritt abgebildet, da sich eine Ergebnismessung erst anhand der Implementierung durchführen lässt und sie somit den Abschluss des letzten Stakeholder-Boards beziehungsweise Contribution Pokers darstellt.

5. EVALUATION DES STAKEHOLDER-BOARDS

Die Erprobung des Stakeholder-Boards in der betrieblichen Praxis hat ergeben, dass eine gründliche Vorbereitung aller Beteiligten und eine durch einen Moderator stringent geleitete Sitzung für den Erfolg wesentlich sind. Im betrieblichen Einsatz bei Dräger haben sich einige Aspekte als maßgeblich für den Erfolg des Stakeholder-Boards gezeigt:

Stakeholder: Das Gremium setzt sich aus Stellvertretern der einzelnen Interessengruppen zusammen. Um die Interessen ihrer Gruppe vertreten zu können, müssen sich die Teilnehmer zuvor auf den Termin vorbereiten. Ein Prozess- und Fachwissen ist für ein Verständnis der vom Prozess-Team vorgestellten Epics von Vorteil. Des Weiteren ist für die Diskussionsrunde diplomatisches Geschick eine wichtige Anforderung an die Teilnehmer.

Vorbereitete Epics: Der Moderator ist für die Konsolidierung und Vorbereitung des Stakeholder-Boards verantwortlich. Die Diskussion und die Planung der nächsten Entwicklungsaufgaben erfolgt auf Epic-Ebene. Deshalb müssen die Epics zum Termin des Stakeholder-Boards vorbereitet sein. Es empfiehlt sich, die vorzustellenden Epics bereits vorab an die Teilnehmer zu senden, sodass die Stakeholder die Themen bereits kennen. Diese können sich bei Bedarf im Vorfeld mit weiteren Ansprechpartnern (z. B. lokalen Endanwendern) über eine Priorisierung abstimmen.

Verteilung des virtuellen Budgets: Die Zuteilung des virtuellen Budgets an die Teilnehmer muss durch ein nachvollziehbares Vergabeverfahren erfolgen. Bei einer intransparenten Vergabe fühlen sich Stakeholder gegebenenfalls benachteiligt. Zwei objektive Möglichkeiten sind die gleichmäßige oder die kennzahlenbasierte Verteilung. Bei der gleichmäßigen Verteilung erhalten alle Teilnehmer ein identisches virtuelles Budget. Bei der kennzahlenbasierten Verteilung wird das virtuelle Gesamtbudget anhand einer Kennzahl aus der betrieblichen Praxis prozentual aufgeteilt. Vorteil der gleichmäßigen Aufteilung ist, dass alle Teilnehmer gleichgestellt sind und Diskussionen zur ungleichen Aufteilung vermieden werden. Daraus resultiert jedoch der Nachteil, dass die Einflussnahmen der einzelnen Stakeholder nicht reflektiert werden. Bei der kennzahlenbasierten Verteilung drehen sich die Vor- und Nachteile um. Die Einflussnahme der Stakeholder wird durch ein entsprechendes Budget berücksichtigt. Für eine Akzeptanz der Stakeholder ist es nötig, dass die Kennzahlen für die Berechnung des virtuellen Budgets nachvollziehbar dargestellt werden. Dabei kann die Motivation der Stakeholder erhöht werden, indem vom Stakeholder beeinflussbare Kennzahlen verwendet werden.

Bei beiden Vergabeverfahren ist ein Konsens im Stakeholder-Board anzustreben, sodass Konflikte zwischen den Stakeholdern vermieden werden. Eine Möglichkeit hierfür ist die

Fragen- und Diskussionsrunde, bei der die Bedeutung der eigenen Themen erläutert werden kann. Sollte ein Konsens aufgrund von unterschiedlichen Zielen der Stakeholder nicht möglich sein, repräsentiert das Stakeholder-Board dennoch ein Gesamtbild der Priorisierung im Sinne aller teilnehmenden Stakeholder.

Für eine erfolgreiche Durchführung müssen nicht nur Erfolgsfaktoren für eine hohe inhaltliche Qualität, sondern auch organisatorische Aspekte berücksichtigt werden. Die Durchführung der Tagung des Stakeholder-Boards sollte nach Möglichkeit als ein Vor-Ort-Termin stattfinden. Insbesondere bei globalen Softwareprojekten gestaltet sich dies aufgrund der zusätzlichen Teilnehmer-Koordination und finanziellen sowie zeitlichen Aufwände als schwierig. Dennoch bietet ein Vor-Ort-Termin folgende Vorteile und sollte bei kleineren Vorhaben gegenüber einer Videokonferenz präferiert werden:

Persönliches Kennenlernen: Der Termin vor Ort ermöglicht ein gegenseitiges Kennenlernen der Stakeholder. Auch nach Abschluss der Tagung können gemeinschaftliche Erfahrungen der einzelnen Stakeholder ausgetauscht werden.

Unabhängigkeit von Technik: Ein persönliches Treffen vermeidet technische Schwierigkeiten, wie beispielsweise Verbindungsabbrüche in einer Videokonferenz.

Vermeidung von unterschiedlichen Zeitzonen: Bei internationalen Strukturen kann die Terminfindung durch unterschiedliche Zeitzonen erschwert werden, sodass entweder ein Kompromiss aller Teilnehmer oder eine Aufteilung der Stakeholder-Board-Tagungen notwendig ist. Bei einem Vor-Ort-Termin entfällt dieser Einflussfaktor.

Sollte eine persönliche Durchführung aufgrund organisatorischer Rahmenbedingungen nicht möglich sein, muss das Stakeholder-Board virtuell als Videokonferenz durchgeführt werden. Dabei ist darauf zu achten, dass das Prozess-Team die Epics inhaltlich vorbereitet und diese vorstellt.

Für ein besseres Verständnis bietet es sich an, die Ergebnisse des Stakeholder-Boards in Kurzform visuell als Präsentation aufzuarbeiten.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

In diesem Artikel wurde aufgezeigt, wie Requirements Engineering in einem agilen Vorgehen mit Berücksichtigung der Stakeholder angewendet werden kann. Die Herausforderung gegenüber den klassisch-plangetriebenen Vorgehen besteht in dem variablen Umfang des Gesamtvorhabens. Die Variabilität ergibt sich durch die Produktverantwortung des Product Owners, der die Priorität der Anforderungen je Sprint festlegen muss. Auch durch die kontinuierliche Zusammenarbeit mit den Stakeholdern und Veränderungen der Marktbedürfnisse oder Rahmenbedingungen ergeben sich neue Anforderungen, die auf den Projektumfang einwirken. Die enge Zusammenarbeit mit möglichst vielen Stakeholdern erfordert eine objektive Bewertung und Priorisierung der Anforderungen.

Im Rahmen des Artikels wurde das Stakeholder-Board vorgestellt, das die Stärken der Disziplinen Requirements Engineering und agiles Vorgehen kombiniert. Durch die Konsolidierung von Anforderungen entstehen mittels eines ausführlichen Requirements Engineerings ganzheitliche Ansätze zur Verbesserung des Produktes. Durch die iterative Umsetzung werden potenziell nutzbare Inkremente entwickelt, die eine regelmäßige Verifizierung anhand der Bedürfnisse und definierten Anforderungen erfahren. Ferner wird mit den Anspruchsgruppen im Stakeholder-Board eine enge Zusammenarbeit ermöglicht, die transparent darstellt, an welchen Themen in einem definierten Zeitraum gearbeitet wird. Dadurch kann den Stakeholdern verständlich gemacht werden, dass durch die begrenzten

Ressourcen Zeit, Kapazität und Finanzen nicht jede Anforderung zum nächstmöglichen Zeitpunkt umgesetzt werden kann.

Diese aufeinander abgestimmte Priorisierung ermöglicht eine objektive Bewertung der Themen. Das Vorgehensmodell eignet sich auch für kleine, insbesondere jedoch für große Vorhaben mit vielen Stakeholdern. Dabei ist der Kommunikationsaufwand zur Vorstellung des neuen Vorgehensmodells zu berücksichtigen. Die Akzeptanz des Vorgehens wird maßgeblich durch Aufzeigen der resultierenden Ergebnisse des Stakeholder-Boards geprägt.

Da der Einsatz des Vorgehensmodells im Fachbereich bei Dräger die Komplexität des Softwareproduktes verringert und gleichzeitig die Gleichberechtigung der Stakeholder erhöht hat, ist ein Einsatz bei weiteren Fachbereichen und Produkten geplant.

7. LITERATURVERZEICHNIS

- Cohn, M. (2004): *Succeeding with Agile: Software Development Using Scrum*, Signature Series Cohn, 1. Auflage, Upper Saddle River, NJ, Addison-Wesley.
- Baron, P.; Hüttermann, M. (2010): *Fragile Agile - Agile Softwareentwicklung richtig verstehen und leben*, 1. Auflage, München, Hanser Verlag.
- Glinz, M. (2017): *A Glossary of Requirements Engineering Terminology: Standard Glossary for the Certified Professional for Requirements Engineering. (CPRE) Studies and Exam*. Hrsg. von International Requirements Engineering Board (IREB), zugegriffen über https://www.ireb.org/content/downloads/1-cpre-glossary/ireb_cpre_glossary_17.pdf am 15.09.2019.
- Kreutzer, R. T. (2015): *Digitale Revolution: Auswirkungen auf das Marketing*, 1. Auflage, Wiesbaden, Springer Gabler.
- Larman, C.; Vodde, B. (2015): *Large-Scale Scrum: More with LeSS - Signature Series Cohn*. Upper Saddle River, NJ u. a., Addison-Wesley.
- Röpstorff, S.; Wiechmann, R. (2016): *Scrum in der Praxis: Erfahrungen, Problemfelder und Erfolgsfaktoren*, 2., aktualisierte und überarbeitete Auflage, Heidelberg, dpunkt.Verlag.
- Rubin, K. S. (2012): *Essential Scrum: A Practical Guide to the Most Popular Agile Process*. 1. Auflage, Signature Series Cohn, Upper Saddle River, NJ, Addison-Wesley.
- Rupp, C. (2014): *Requirements-Engineering und -Management: Aus der Praxis von klassisch bis agil*, 6. aktualisierte und erweiterte Auflage, München, Hanser.
- Schwaber, K. (2018): *Nexus™ Guide: The Definitive Guide to scaling Scrum with Nexus: The Rules of the Game*, Hrsg. von scrum.org, zugegriffen über https://scrumorg-website-prod.s3.amazonaws.com/drupal/2018-01/2018-Nexus-Guide-English_0.pdf am 15.09.2019.
- Schwaber, K.; Sutherland, J. (2017): *The Scrum Guide: The Definitive Guide to Scrum: The Rules of the Game*, zugegriffen über <https://www.scrumguides.org/docs/scrumguide/v2017/2017-Scrum-Guide-US.pdf> am 15.09.2019.
- Sommerville, I. (2016): *Software Engineering*, 10. Auflage, Boston, Pearson.
- Sutherland, J. (2019): *The Scrum@Scale Guide – The Definitive Guide to Scrum@Scale: Scaling that Works*, Hrsg. von Scrum Inc., zugegriffen über <https://www.scrumatscale.com/wp-content/uploads/Scrum@Scale-Guide.pdf> am 15.09.2019.
- Wang, X.; Zhao, L.; Wang, Y.; Sun, J. (2014): *The Role of Requirements Engineering Practices in Agile Development: An Empirical Study*, in: *Requirements Engineering - First Asia Pacific Requirements Engineering Symposium, APRES 2014*, S. 195 – 209.



NORDAKADEMIE

Hochschule der Wirtschaft

Köllner Chaussee 11

25337 Elmshorn

Tel: 04121 4090-0 · Fax: 04121 4090-906

E-Mail: info@nordakademie.de

follow us

