

1 Einführung

Produzierende Unternehmen sehen sich mit immer dynamischer werdenden Umwelteinflüssen konfrontiert. Während eine zunehmend digitalisierte Produktionsumgebung immer komplexer werdende Umgebungsbedingungen schafft, ist es die Aufgabe der Instandhaltung, deren Funktionsfähigkeit aufrecht zu erhalten. [acatech 2015, S. 30 f.; ERNER 2019, S. 5 ff.] Zum einen hat sie direkten Einfluss auf die Betriebsfähigkeit der Anlagen und damit auf die erzielbaren Erlöse, zum anderen gehören die Instandhaltungskosten zu den strategisch beeinflussbaren Kostenanteilen des Anlagenbetriebs [LEIDINGER 2017, S. 12]. Mit der Digitalisierung instand zu haltender Assets gehen gänzlich neue Möglichkeiten zur Beherrschung der zunehmenden Komplexität einher. Dieser Fortschritt erlaubt ein Verständnis der Instandhaltung von einem bisher notwendigen, kostenverursachenden hin zu einem kostenvermeidenden Funktionsbereich, der sich folglich aktiv an der Wertschöpfung beteiligt [FREUND 2010, S. 3].

1.1 Problemstellung

Eine umfassende Vernetzung sämtlicher Entitäten muss in der Folge zu einer Auflösung des bisher üblichen Bereichsdenkens führen [ROY 2017, S. 167]. Hier fungiert Predictive Maintenance als Enabler: Durch die Vorverlagerung des Erkenntnisgewinns über eine bevorstehende Störung wird die Planbarkeit einer Instandhaltungsmaßnahme ermöglicht (vgl. [HENKE et al. 2019, S. 35]). Daraus resultiert die Notwendigkeit einer Planungssystematik, um ein prognostiziertes Ausfallverhalten in ein wirtschaftliches Verhältnis zu den abzuleitenden Maßnahmen zu setzen. Immerhin stellt die bloße Bereitstellung von Prognoseergebnissen, beispielsweise in Form von Wahrscheinlichkeitsverteilungen, noch keinen unmittelbaren Mehrwert für das operative Instandhaltungspersonal dar. Es bedarf daher der Integration solcher Prognoseergebnisse in den Planungsprozess, um diese konkurrierenden Zielsetzungen in ein Verhältnis zueinander zu setzen. Handlungsalternativen bestehen insofern, als dass die einzuplanenden Maßnahmen zur Vorbeugung dasselbe Zielsystem adressieren, das durch Produktionsaufträge in der Regel bereits auszulasten versucht wird.

Das daraus resultierende Koordinationsproblem macht ein Abwägen zwischen der Notwendigkeit einer vorbeugenden Maßnahme gegenüber wertschöpfenden Tätigkeiten im Rahmen der Produktionsplanung erforderlich. Ein simultanes Bedienen beider Interessen führt insbesondere zu einem zeitlichen Konflikt. Insofern ist eine übergeordnete Zielgröße zu definieren, die im Einklang mit den Unternehmenszielen steht und im Rahmen des Abwägungsprozesses zu fokussieren ist. Abbildung 1-1 veranschaulicht die isoliert voneinander betrachteten Interessensgruppen, die ihre jeweiligen Optima verfolgen.

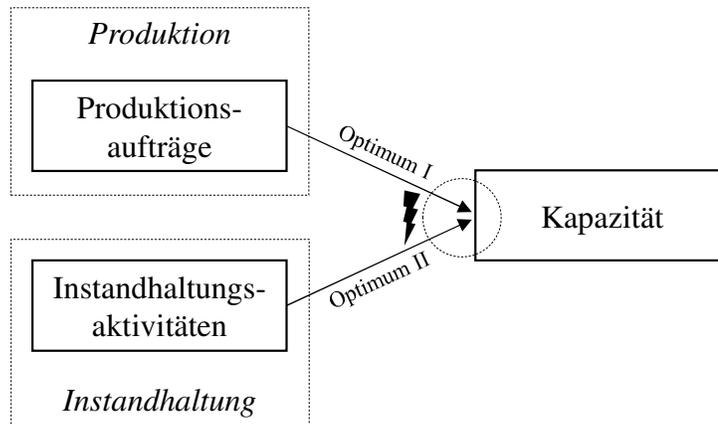


Abbildung 1-1: Koordinationskonflikt zwischen Produktions- und Instandhaltungsplanung (i. A. a. [KURZ 2018, S. 4])

Zielgrößen der Produktionsplanung

Die Produktionsplanung und –steuerung (PPS) verfolgt nach SCHUH & STICH die Ziele

- Steigerung der Termintreue,
- Verringerung der Durchlaufzeiten,
- Reduzierung der Lagerbestände,
- Erhöhung der Produktqualität,
- Erhöhung der Kapazitätsauslastung und
- Erhöhung der Flexibilität [SCHUH & STICH 2012, S. 238].

Vor dem Hintergrund einer integrierten Sichtweise für Produktion und Instandhaltung stehen insbesondere die Teilziele „Steigerung der Termintreue“ und „Erhöhung der Kapazitätsauslastung“ in gegenseitiger Wechselwirkung zu Instandhaltungsinteressen. Immerhin können diese Ziele erst dann realisiert werden, wenn sie durch die Unterstützung einer zuverlässigen Instandhaltung ermöglicht werden.

Grundsätzlich ist die Zielsetzung der Produktionsplanung stets erlösgetrieben (vgl. [HAASIS 2008, S. 1 ff.; SCHUH & STICH 2012, S. 11 ff.; CLAUS et al. 2015, S. 7 ff.; KAHLE 1996, S. 10]). Sämtliche Zielgrößen der Planungsprozesse adressieren somit in letzter Konsequenz den Wertschöpfungsgedanken.

Zielgrößen der Instandhaltungsplanung

Nach MATYAS verfolgt die Instandhaltungsplanung primär die Zielgrößen

- Zuverlässigkeits- und Sicherheitsmaximierung sowie
- Kostenminimierung bzw. Gewinnmaximierung.

Außerdem werden neben diesen Hauptzielen Unterziele verfolgt, die sich in

- technisch-organisatorische (z.B. Reduzierung von Maschinenausfällen),

- wirtschaftliche (z.B. Reduzierung von Ausfall- und Ausfallfolgekosten) und
- sonstige Ziele

untergliedern lassen. [MATYAS 2013, S. 25 f.]

Im Zusammenhang mit den Zielgrößen der Produktionsplanung ergibt sich insofern ein einheitliches Bild, als dass durch das Erfüllen der instandhaltungsbezogenen Zielsetzung die Realisierung der Absichten seitens der Produktion gewährleistet werden kann. Insbesondere die Minimierung von Kosten bzw. die Maximierung des Gewinns steht im Einklang mit den Produktionsplanungszielen. Aus diesem Grund ist diese Absicht mit dem Begriff der Wirtschaftlichkeit synonym zu verstehen und als übergeordnete Zielgröße im Rahmen des Abwägungsprozesses zu adressieren.

Im Gegensatz zu produktionsseitigen Zielen, die überwiegend gewinnbringend formuliert werden und somit positiver Natur sind, sind die Zielgrößen der Instandhaltungsplanung tendenziell kostengetrieben (vgl. [acatech 2015, S. 29; HENKE et al. 2019, S. 82]).

1.2 Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, den in Abschnitt 1.1 aufgezeigten Konflikt durch eine integrierte Sichtweise zu lösen. Es bedarf eines Planungsansatzes, der beide Zielsetzungen gleichermaßen bedient und zu einem gemeinschaftlichen Optimum führt. In diesem Zusammenhang ist die Wirtschaftlichkeit als übergeordnete Zielgröße zu verstehen. Während die für die Produktionsplanung relevanten Parameter konventionell beizubehalten sind, ermöglicht die Prädiktion von potenziell bevorstehenden Störungen einen wesentlichen Mehrwert für die Planbarkeit von präventiven Instandhaltungsmaßnahmen.

In einem ersten Schritt müssen die konkurrierenden Interessen daher miteinander vergleichbar gemacht werden. Wie bereits im Rahmen der jeweiligen Zielsetzungen herausgestellt wurde, werden die Absichten der Produktionsplanung in der Regel erlösgetrieben formuliert, wohingegen Instandhaltungsziele überwiegend vor dem Hintergrund anfallender Kosten charakterisiert werden (vgl. Abschnitt 1.1). Ein gegenseitiges Abwägen setzt in der Folge allerdings voraus, dass die jeweiligen Größen miteinander verglichen werden können. Die erste Forschungsfrage fokussiert daher die Vergleichbarkeit der bisher widersprüchlichen Zielsetzungen.

Forschungsfrage 1:

Wie können erlösgetriebene Produktionsinteressen mit kostengetriebenen Instandhaltungsinteressen vergleichbar gemacht werden?

Eine besondere Herausforderung besteht zudem darin, dass der Planungsprozess im Sinne von Predictive Maintenance ausgehend von einer Ausfallprognose initiiert wird und somit mit Unsicherheit behaftet ist. Es bedarf daher eines flexiblen Ansatzes, der eine dy-

namische Betrachtung der Prognoseergebnisse erlaubt. Potenziell bevorstehende Ereignisse sind vor dem Hintergrund der damit einhergehenden Folgen in ein ökonomisches Verhältnis zu setzen, um somit ein wirtschaftliches Gesamtoptimum zu erzielen. Erst dann kann ein spürbarer Mehrwert erzielt werden, da die Prognose von Störungen selbst noch keine wirtschaftlich messbare Größe verspricht. Würde man dem operativen Instandhaltungspersonal lediglich Prognoseergebnisse, beispielsweise in Form von Wahrscheinlichkeitsverteilungen, zur Verfügung stellen, ließen sich daraus noch keine konkreten Folgemaßnahmen ableiten. Erst die Einordnung von prognostizierten Ereignissen in die ökonomische Verhältnismäßigkeit lässt die Erkenntnis über wirtschaftlich sinnvolle Maßnahmen zu. Es bedarf einer Nutzbarmachung von Predictive Maintenance-Prognoseergebnissen im ökonomischen Sinne. Daher zielt die zweite Forschungsfrage darauf ab, inwiefern solche Prognoseergebnisse in die operative Produktions- und Instandhaltungsplanung integriert werden können.

Forschungsfrage 2:

Wie können Prognoseergebnisse im Sinne von Predictive Maintenance in die operativen Planungsprozesse integriert und einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zugrunde gelegt werden?

Um den durch Abbildung 1-1 veranschaulichten Koordinationskonflikt zwischen Produktions- und Instandhaltungsinteressen aufzulösen, sind die jeweiligen Zielsetzungen gegeneinander abzuwägen. Ziel dabei ist es, eine bisher isolierte Betrachtung beider Interessensgruppen in eine integrierte Betrachtung zu überführen. Wie ein simultanes Bedienen von Produktions- und Instandhaltungsinteressen umzusetzen ist, führt schließlich zur dritten Forschungsfrage.

Forschungsfrage 3:

Wie können Produktions- und Instandhaltungsinteressen simultan gegeneinander abgewogen werden?

Die Beantwortung der drei Forschungsfragen führt sowohl zu einer konzeptionellen als auch zu einer technischen Zielsetzung. Einerseits unterliegt die Entwicklung des simultanen Planungsansatzes wissenschaftlichen Ansprüchen, die in einer konzeptionellen Ausarbeitung des Forschungsvorhabens münden. In einem ersten Schritt wird daher eine theoretische Ausarbeitung fokussiert. Als anwendungsorientiertes Forschungsvorhaben ist andererseits jedoch auch die Umsetzung der Planungssystematik zu gewährleisten. Die technische Implementierung, die es Unternehmen in der Praxis erlaubt, Produktions- und Instandhaltungsinteressen im operativen Betrieb gegeneinander abzuwägen, wird daher ausdrücklich angestrebt.

1.3 Forschungsdesign und methodisches Vorgehen

Aufgrund der betonten Anwendungsorientierung ist der Wahrung der Praktikabilität eine primäre Bedeutung beizumessen. Neben dem konzeptionellen Erschließen einer simultanen Produktions- und Instandhaltungsplanung ist ebenso die technische Umsetzung zu fokussieren. Insofern bedarf es einer stetigen Wechselwirkung zwischen Wissenschaft und Praxis: Es gilt, ein in der Realität erkanntes Problem auf Basis wissenschaftlicher Grundsätze zu lösen und schließlich wieder in die Praxis zu transformieren.

Das Prinzip der Design Science Research Cycles

Nach FORD ist ein häufig auftretendes Problem wissenschaftlicher Konzepte die mangelnde Eignung für den praktischen Einsatz [FORD et al. 2005, S. 46]. Daher ist es bereits während der Konzeptionierungsphase entscheidend, einen gegenseitigen Austausch zwischen Wissenschaft und Praxis zu gewährleisten. Um diesen zu erwirken, ist auch die Auswahl einer geeigneten Forschungsmethodik entscheidend (vgl. [DRESCH et al. 2015, S. 2]).

In Anlehnung an die Design Science Research Cycles erfolgt die Konzeption daher in gegenseitiger Wechselwirkung mit der Wissensbasis auf der einen Seite und der Umgebung auf der anderen Seite, wie Abbildung 1-2 veranschaulicht (vgl. [HEVNER 2007; PEFFERS et al. 2007]).

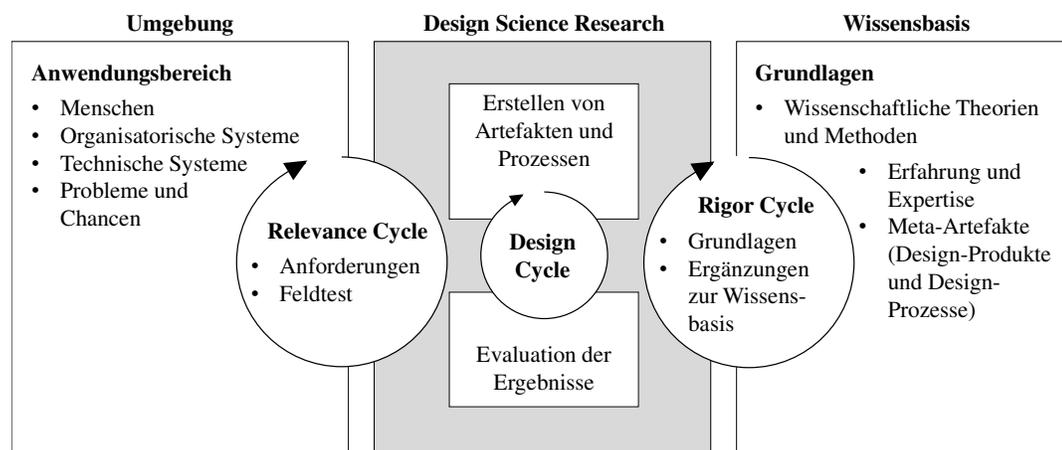


Abbildung 1-2: Das Prinzip der Design Science Research Cycles [HEVNER 2007, S. 88]

Als Initiator des Forschungsprozesses gelten Anforderungen aus dem Anwendungsbereich [HEVNER 2007, S. 89]. Die Identifikation eines realen Problems stellt somit die Ausgangsbasis für die Forschung dar, die durch den Relevance Cycle von der Umgebung in den Bereich der Design Science Research überführt wird. HEVNER betont in diesem Zusammenhang, dass neben der Problemlösung als solcher analog die Akzeptanz bei der Zielgruppe wächst [HEVNER 2007, S. 89]. Durch das Adressieren von realen Problemen treffen die Forschungsergebnisse auf diese Weise auf eine größere Akzeptanz, sodass eine

Umsetzung erheblich erleichtert wird. Immerhin hat die Problemstellung ihren Ursprung im Anwendungsbereich und wird durch das zyklische Vorgehen am Ende des Forschungsprozesses wieder in diesen transformiert. Der Zyklus selbst erlaubt in diesem Zusammenhang Iterationen, was einen zentralen Mehrwert der Forschungsmethodik darstellt. Auf diese Weise können auch Erkenntnisse, die im Rahmen der Implementierungsphase gewonnen werden, bei der Konzepterstellung berücksichtigt werden. Ein iteratives Vorgehen erlaubt entsprechende Anpassungen, bis ein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt werden konnte. [BRENDL 2017, S. 140; WIERINGA 2014, S. 32]

Die Wissensbasis gewährt im Zusammenhang mit dem Forschungsprozess die Fundierung wissenschaftlicher Grundsätze. Hier werden dem zu konzeptionierenden Objekt sowohl Grundlagen als auch existierende wissenschaftliche Theorien und Methoden zugrunde gelegt. In diesem Zusammenhang betont HEVNER die Wichtigkeit, dass die Wissensbasis zwei Arten von zusätzlichem Wissen bereitstellt: Den Stand der Technik durch Erfahrungen und Fachwissen sowie bestehende Artefakte und Prozesse des Anwendungsbereichs [HEVNER 2007, S. 88]. Ausgehend von einer identifizierten Wissenslücke wird diese durch den Rigor Cycle schließlich geschlossen. Der Zyklus verkörpert damit das Prinzip, einerseits Input für den Forschungsprozess bereitzustellen, andererseits aber auch, dass dessen Output wiederum in die Wissensbasis zurückgespielt wird. Insofern wird existierendes Wissen um Innovationen ergänzt. [GREGOR & HEVNER 2013, 338 f.]

Der Bereich der Design Science Research stellt sowohl grafisch als auch methodisch den Mittelpunkt des Forschungsdesigns dar. Ausgehend von der Initiierung des Forschungsprozesses durch eine reale Problemstellung im Rahmen des Anwendungsbereichs wird dem Forschungsobjekt zunächst eine wissenschaftliche Basis zugrunde gelegt. Die Konzeptionierung selbst findet dann im Sinne der Design Science Research statt, die im Grundsatz von sieben Leitlinien charakterisiert ist [HEVNER et al. 2004, S. 83]:

- Leitlinie 1: Design als Artefakt
- Leitlinie 2: Problemrelevanz
- Leitlinie 3: Bewertung des Designs
- Leitlinie 4: Forschungsbeiträge
- Leitlinie 5: Stringenz der Forschung
- Leitlinie 6: Design als Suchprozess
- Leitlinie 7: Kommunikation der Forschung

Charakteristisch für Design Science Research ist, die Erstellung von Artefakten als Zielsetzung zu formulieren [GREGOR & HEVNER 2013, S. 339 ff.]. Auf der einen Seite ist diese Tatsache der Ursprungsdomäne der Konzeption von Informationssystemen geschuldet, auf der anderen Seite werden wissenschaftlich Erkenntnisse auf diese Weise greifbar. Eine solche Ergebnisorientierung erleichtert insbesondere den iterativen Anpassungsprozess auf Basis der Evaluation. Während HEVNER et al. im Jahr 2004 diese sieben

Leitlinien für Design Science Research formuliert haben, wurde das Prinzip 2007 um das in Abbildung 1-2 veranschaulichte zyklische Vorgehen erweitert (vgl. [HEVNER et al. 2004; HEVNER 2007]). Der Design Cycle beschreibt dabei Iterationsschleifen während der Erstellung des Artefakts, sodass fortwährend Evaluationsergebnisse beim Design berücksichtigt werden können. PEFFERS et al. definieren in diesem Zusammenhang die Aktivität der Demonstration, um Design Science Research anzuwenden. Um die Lösung einer oder mehrerer Instanzen des Problems zu demonstrieren, bedürfe es einer experimentellen Umsetzung des Artefakts. [PEFFERS et al. 2007, S. 13]

Die Anwendung der Design Science Research Cycles

Die in Abschnitt 1.1 formulierte Problemstellung stammt aus dem Anwendungsbereich. Ein bisher forschungsgetriebenes Prognostizieren von Maschinenstörungen bedarf einer Nutzbarmachung, indem Prognoseergebnisse in den Kontext der organisatorischen Abläufe auf dem Shopfloor integriert werden. Die Initiierung des Forschungsprozesses erfolgt also auf Basis des Relevance Cycles. Auch ist es die Zielsetzung des Vorhabens, erzielte Ergebnisse schließlich wieder in die industrielle Praxis zu überführen (vgl. Abschnitt 1.2), sodass ein zyklisches Vorgehen – beginnend und endend in der Praxis – gewährleistet wird.

Bevor der Forschungsprozess im Rahmen der Design Science Research angestoßen wird, wird die dafür notwendige wissenschaftliche Basis bereitgestellt. Durch Kapitel 2 werden in diesem Zusammenhang Grundlagen bezüglich der Instandhaltung, der Produktionsplanung und –steuerung, des Risikomanagements und des Opportunitätslösungsansatzes ausgeführt. Neben strategischen Aspekten, wie der Dezentralisierung des Planungsprinzips, werden hier die notwendigen Begrifflichkeiten eingeführt und der Forschungsgegenstand sowohl spezifiziert als auch eingeordnet. Kapitel 2 führt die Domänen im konventionellen Sinne isoliert voneinander betrachtet ein. Darüber hinaus wird die Wissensbasis durch Kapitel 3 um bestehende Ansätze des dynamischen Scheduling, des Risikomanagements sowie der integrierten Produktions- und Instandhaltungsplanung ergänzt. Hier gilt es, den Stand der Forschung einerseits abzubilden und diesen andererseits vor dem Hintergrund des Forschungskontexts zu bewerten. Ausgehend von der Eignungsbeurteilung werden relevante Aspekte durch den Rigor Cycle in den Forschungsprozess überführt, um der Konzeption die notwendigen Grundlagen bereitzustellen. In Kombination mit der anwendungsorientierten Initiierung wird der Stand der Forschung dahingehend überprüft, inwiefern die Anforderungen durch bestehende Ansätze bereits erfüllt werden können. Die Identifikation der Forschungslücke rechtfertigt schließlich das Forschungsvorhaben. Eine Rückführung nach erfolgreicher Implementierung ergänzt abschließend vorhandenes Wissen.

Ausgehend von der vorherigen Bewertung werden solche Konzeptbausteine im Rahmen der Design Science Research berücksichtigt, die eine geeignete Ausgangsbasis für den

Forschungsprozess darstellen. Um für das Planungsprinzip eine geeignete Grobarchitektur zu definieren, wird in Kapitel 4 der konzeptionelle Rahmen bestimmt. Dieser beschreibt das grundsätzliche Planungsgerüst, das eine simultane Produktions- und Instandhaltungsplanung abbildet. Nach Erstellen des konzeptionellen Grundprinzips wird die vorhandene Makroarchitektur um den integrierten Entscheidungsfindungsprozess in Kapitel 5 ergänzt. Dieser beschreibt schließlich den wirtschaftlichen Abwägungsprozess von Produktions- und Instandhaltungsinteressen.

Im Sinne der ersten Leitlinie der Design Science Research wird das Planungsobjekt als Artefakt konzeptioniert, womit es sich um ein ergebnisorientiertes Vorhaben handelt. Die Planungssystematik ist daher technisch umzusetzen und vor dem Hintergrund definierter Zielkriterien zu validieren. Hier bedarf es wiederholter Iterationsschleifen, um ausgehend von einer Ergebnisevaluation das Forschungsobjekt sukzessive auszurichten. Um sämtliche Szenarien und mögliche Gegebenheiten abzubilden, erfolgt die Iteration durch den Design Cycle zunächst auf Basis plastischer Daten. Die Umsetzung folgt somit dem Prinzip einer experimentellen Anwendung nach PEFFERS et al., um die Lösung mehrerer Instanzen des Problems zu demonstrieren (vgl. [PEFFERS et al. 2007, S. 13]). Eine gezielte Definition der Inputparameter erlaubt eine Validierung verschiedener Szenarien, die durch einen abgegrenzten Ausschnitt der Realität nicht zwingend umfänglich hätten abgebildet werden können. Das Prinzip des Design Cycles repräsentiert damit das wesentliche Merkmal, das die Eignung der ausgewählten Forschungsmethodik ausmacht. Die gezielte Parametrisierung der Datenbasis erlaubt daher die Validierung aller Konzeptbausteine in ihrer Gänze.

Nach erfolgreicher Evaluation der (plastischen) Validierungsergebnisse erfolgt durch den Relevance Cycle die Überführung der Forschungsergebnisse in die Anwendungsdomäne. Am Beispiel eines ausgewählten Anwendungsfalls aus der Praxis erfolgt schließlich die finale Validierung im Sinne der eingangs geforderten Anwendungsorientierung. Eine prototypische Implementierung des Artefakts überführt demnach die geleisteten Forschungsergebnisse in die Industrie.

Das Forschungsdesign der Design Research Cycles erlaubt dementsprechend eine beidseitige Einflussnahme auf die Konzepterstellung, sowohl seitens der Praxis als auch seitens der Grundlagenwissenschaften. Das iterative Vorgehen ermöglicht dann eine gegenseitige Abstimmung bis schließlich die Anforderungen des Anwendungsbereichs erfüllt und die Wissensbasis ergänzt wurde. Abbildung 1-3 veranschaulicht die Anwendung der Design Science Research Cycles im Rahmen dieser Arbeit in Anlehnung an die Darstellungsform in Abbildung 1-2.

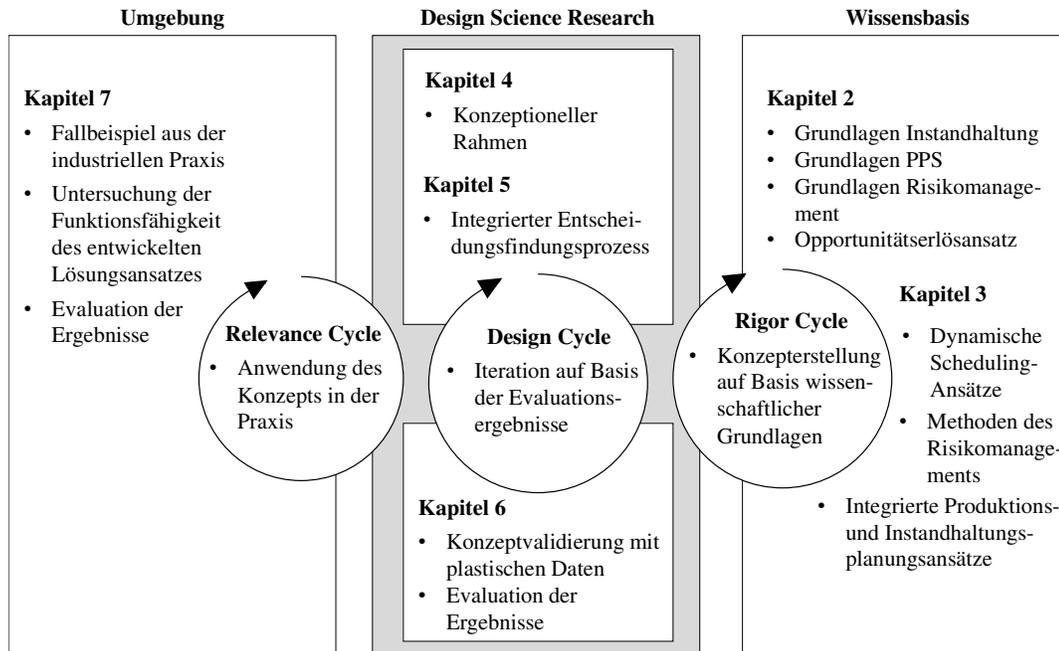


Abbildung 1-3: Die Anwendung der Design Research Cycles im Rahmen dieser Arbeit (i. A. a. [HEVNER 2007, S. 88])