

Hochschule Magdeburg-Stendal



Fachbereich Wasser- und Kreislaufwirtschaft Studiengang Kreislaufwirtschaft

Bachelorarbeit

von
Erik Syllwasschy (20072249)

Identifikation von relevanten Informationen zur Rückgewinnung von
Automatisierungskomponenten aus Produktionssystemen

Betreuer:

Prof. Dr. Gilian Gerke, HS Magdeburg

apl. Prof. Dr.-Ing. habil. A. Lüder, IAF, OvGU Magdeburg

Dipl.-Ing. N. Schmidt, OvGU Magdeburg

26. Februar 2017

Kurzfassung

Diese Arbeit betrachtet die Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten, wie sie in Fertigungssystemen der Automobilindustrie zu finden sind. Die Möglichkeiten der Vermarktung von gebrauchten, reparierten oder aufgearbeiteten Automatisierungskomponenten durchdringen den Markt heute schon. Durch die Verwendung gebrauchter Automatisierungskomponenten können existierende Fertigungssysteme sinnvoll erweitert werden. Die stoffliche Verwertung dieser Komponenten, falls Verwendung nicht wirtschaftlich, ermöglicht eine nachhaltige Reduzierung der Umweltbelastung, durch Substitution von Rohstoffen. Durch Schließen der Kreisläufe, durch Verwendung und Verwertung, lassen sich Umwelt und Rohstoffressourcen gleichermaßen schonen.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Unsicherheiten bei Entscheidungen zur geeigneten Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten zu reduzieren und eine quantitative Bewertung zu ermöglichen. Dazu werden relevante Informationen zur Rückgewinnung zusammengetragen, als eine Art Kontrollliste aufbereitet, sodass diese den Entscheidungsträgern als Unterstützung dienen kann.

Zusätzlich wird eine wirtschaftliche Betrachtung der Rückgewinnung im Allgemeinen durchgeführt, die die Rückgewinnung einer Automatisierungskomponente mit dem Neukauf und der Beseitigung dieser vergleicht.

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, Erik Syllwasschy, dass ich meine Bachelorarbeit „Identifikation von relevanten Informationen zur Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten aus Produktionssystemen“ selbstständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt habe, und dass ich alle von anderen Autoren wörtlich übernommenen Stellen wie auch die sich an die Gedankengänge anderer Autoren eng anliegenden Ausführungen meiner Arbeit besonders gekennzeichnet und die Quellen zitiert habe. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

.....

(Unterschrift)

Magdeburg, 26.02.2017

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	1
Selbstständigkeitserklärung.....	2
Inhaltsverzeichnis.....	3
Abbildungsverzeichnis.....	5
Tabellenverzeichnis.....	6
1 Einleitung.....	7
2 Theoretische Grundlagen	9
2.1 Die Fabrik und der Fabriklebenszyklus	9
2.2 Der Fabrikaufbau	11
2.3 Rückgewinnung.....	14
2.3.1 Systemrückgewinnung.....	14
2.3.2 Materialrückgewinnung.....	14
2.4 Rückgewinnungsformen.....	15
2.4.1 Wiederverwendung.....	16
2.4.2 Weiterverwendung.....	16
2.4.3 Wiederverwertung.....	16
2.4.4 Weiterverwertung.....	16
2.5 Behandlungsprozesse.....	17
2.5.1 Demontage	17
2.5.2 Aufbereitung	18
2.5.3 Aufarbeitung	18
2.6 Rückgewinnungsprozess	20
3 Identifikation relevanter Informationen zur Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten	23
3.1 Europäische Union.....	23
3.2 Nationales Recht (Deutschland).....	24
3.2.1 Kreislaufwirtschaftsgesetz	24
3.2.2 Elektro- und Elektronikaltgerätegesetz	26
3.2.3 Bundes-Immissionsschutzgesetz.....	26
3.2.4 BVT Merkblätter.....	26
3.2.5 Fazit.....	26
3.3 Richtlinien/Normen.....	27

3.4	Identifizierte Informationen	28
3.4.1	Funktionsfähigkeit.....	32
3.4.2	Demontagefähigkeit.....	33
3.4.3	Gefährliche Stoffe	34
3.4.4	Marktfähigkeit	35
3.4.5	Verwertbarkeit.....	37
4	Anwendung der identifizierten Informationen zur Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten	38
4.1	Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS).....	39
4.2	Elektromotor	42
4.3	Industrieroboter	45
5	Bewertung des wirtschaftlichen Potentials von Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten	49
6	Fazit und Ausblick.....	52
7	Zusammenfassung	54
	Quellenverzeichnis	55

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Fabriklebenszyklus und die Rückgewinnung.....	10
Abbildung 2: Darstellung der Rückgewinnungsformen in der Nachnutzungsphase [10]	15
Abbildung 3: Rückgewinnungsprozess von Automatisierungskomponenten.....	21
Abbildung 4: Abfallhierarchie nach [16].....	24
Abbildung 5: Automatisierungskomponenten Rückgewinnung [34].....	38
Abbildung 6: SPS auf Hutschiene [36]	39
Abbildung 7: Elektromotor [38]	42
Abbildung 8: Industrieroboter [40]	45
Abbildung 9: Darstellung der Informationsquellen zur Prozessauswahl für Rückgewinnungsziele.....	51

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Identifizierte Hierarchieebenen einer Fabrik [10]	12
Tabelle 2: Identifikation relevanter Informationen zur Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten	29
Tabelle 3: Anwendung der identifizierten Informationen zur Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten am Beispiel SPS	39
Tabelle 4: Anwendung der identifizierten Informationen zur Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten am Beispiel Elektromotor	42
Tabelle 5: Anwendung der identifizierten Informationen zur Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten am Beispiel Industrieroboter.....	45

1 Einleitung

Der auf produzierende Unternehmen wirkende Marktdruck zwingt diese, sich immer schneller und umfassender an sich ändernde Marktgegebenheiten anzupassen. Im Detail können sich solche Anpassungen in einem sich schnell ändernden Produktportfolio des Unternehmens darstellen. Für die Produktionssysteme erzwingt das einen schnellen Entwurf und eine Rekonfigurierbarkeit dieser. Aktuelle Forschungsschwerpunkte liegen somit meist auf der Optimierung des Fabriklebenszyklus bis einschließlich der Nutzungsphase. Eine weitergehende Betrachtung über diese Phase hinaus ist selten oder nur oberflächlich der Fall. Dabei trägt auch die schnelle und einfache Nachnutzung von Produktionssystemen zur Optimierung des Fabriklebenszyklus bei. Auch können in der Nachnutzungsphase gewonnene physische Anlagen, Automatisierungskomponenten oder Materialien dazu beitragen [1].

Sowohl das heute höhere Umweltbewusstsein als auch das gestiegene Interesse an Abfallreduzierung erfordern eine systematische Betrachtung der Nachnutzungsphase.

In dieser Arbeit soll sich auf Automatisierungskomponenten, wie sie in Fertigungssystemen der Automobilindustrie zu finden sind, und deren Materialien beschränkt werden.

Die Möglichkeiten der Vermarktung von gebrauchten, reparierten oder aufgearbeiteten Automatisierungskomponenten durchdringen den Markt heute schon. Existierende Fertigungssysteme können durch die erneute Verwendung von bereits gebrauchten Automatisierungskomponenten von einer Kostenersparnis profitieren. Falls eine Verwendung nicht wirtschaftlich oder zustandsbedingt nicht möglich ist, wird die Automatisierungskomponente verwertet. Das ermöglicht eine nachhaltige Reduzierung der Umweltbelastung, durch Substitution von Rohstoffen. Durch Schließen der Kreisläufe, durch Verwendung und Verwertung, lassen sich somit Umwelt und Rohstoffressourcen gleichermaßen schonen.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Unsicherheiten bei Entscheidungen zur geeigneten Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten zu reduzieren und eine quantitative Bewertung zu ermöglichen. Dazu werden relevante Informationen zur Rückgewinnung zusammengetragen und als eine Art Kontrollliste aufbereitet, sodass diese den Entscheidungsträgern als Unterstützung dienen kann.

Um dies zu ermöglichen, werden zunächst die Grundlagen betrachtet. Es werden der Fabriklebenszyklus und Fabrikaufbau, die Rückgewinnung von Systemen und Materialien sowie Rückgewinnungsformen bis hin zu den Prozessen, Demontage, Aufbereitung und Aufarbeitung untersucht. Die Identifikation der relevanten Informationen zur Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten wird anschließend beschrieben, beginnend mit der Gesetzgebung bis hin zu Normen und Richtlinien. Es folgt die Anwendung der relevanten Informationen an drei Fallbeispielen (SPS, Elektromotor und Industrieroboter). Abgerundet wird die Arbeit durch eine allgemeine wirtschaftliche Betrachtung der Rückgewinnung. Dabei werden die Kosten von Neukauf inklusive Beseitigung des Altteils mit den Rückgewinnungskosten verglichen. Mit einem Fazit und Ausblick endet die Arbeit.

2 Theoretische Grundlagen

In diesem Kapitel werden die verwendeten Begrifflichkeiten erläutert, Definitionen gegeben und die Zusammenhänge, wie diese in dieser Arbeit angewandt werden, beschrieben. Die Einordnung von Rückgewinnungsprozessen im Fabriklebenszyklus wird betrachtet und es wird aufgezeigt, an welcher Stelle die Arbeit ihren Ansatz findet für eine wissenschaftliche Betrachtung des Forschungsziels.

2.1 Die Fabrik und der Fabriklebenszyklus

In der Gesellschaft haben Fabriken einen hohen Stellenwert, sie sind die Quelle des Wohlstandes und dienen der Herstellung von physischen (Ausgangs-) Produkten aus Eingangsprodukten [2] [3]. Je nach Industriezweig werden verschiedene Produkte hergestellt, was unterschiedliche Ausprägungen der Fabriken nach sich zieht: In der Prozessindustrie werden kontinuierlich Produkte z.B. Chemikalien in Reaktoren hergestellt, in der Fertigungsindustrie stückweise z.B. Autos mit Hilfe von Industrierobotern.

Unabhängig vom Industriezweig steckt in jeder Fabrik ein hoher Aufwand, diese zu planen, zu betreiben und am Ende der Nutzungsphase, die Fabrik fachgerecht Außerbetrieb zu stellen. Mittels Modellen wird versucht, diesen Werdegang von Fabriken, dessen komplexe Sachverhalte, in einfachere Strukturen zu stecken. Ein solches Modell bildet der Fabriklebenszyklus. Es beschreibt den zeitlichen Ablauf einer Fabrik [4] und dient demzufolge der Beschreibung der Phasen. Abhängig vom Detaillierungsgrad kann das Modell unterschiedlich in Umfang ausfallen. Die Grundstrukturen und die Begrifflichkeiten des Fabriklebenszyklus lassen sich jedoch wie folgt nach [4] [5] benennen:

- Phase 1 : Entwicklungsphase, die Fabrikplanung
- Phase 2 : Realisierungsphase, die Errichtung und Inbetriebnahme
- Phase 3 : Nutzungsphase, der Fabrikbetrieb
- Phase 4 : Nachnutzungsphase, die Außerbetriebstellung, dazu zählen
 - die Stilllegung
 - der Abbau
 - der Rückbau

Die erste Phase, die Fabrikplanung, umfasst den Bereich von der ersten Idee bis zum detailliert ausgearbeiteten, realisierbaren Konzept [6]. Die zweite Phase, die Errichtung und Inbetriebnahme der Fabrik, setzt das ausgearbeitete Konzept in Realität um und nimmt sie in Betrieb [7]. Die dritte Phase, der Fabrikbetrieb, umfasst die eigentliche Produktion der Produkte, die dann verkauft werden können. Um die Produktion aufrechterhalten zu können, ist Wartung und Instandhaltung notwendig [5]. Die vierte Phase, die Außerbetriebstellung der Fabrik, beginnt mit dem Ende des Fabrikbetriebes und umfasst Bereiche der gesicherten Stilllegung, des Abbaus und des Rückbaus, der Rückgewinnung von Anlagen und Materialien, sowie deren wirtschaftlichen und gesetzeskonformen Behandlung zur weiteren Verwendung oder Beseitigung [7]. Die Phasen können vereinzelt Überschneidungen aufweisen, wie z.B. bei Phase 1 und 2, da die Errichtung und Inbetriebnahme durch die Fabrikplanung begleitet wird.

Ziel dieser Arbeit ist jedoch die Betrachtung der Nachnutzungsphase einer Fabrik mit der Außerbetriebstellung und deren Rückgewinnungspotentiale. Aus diesem Grund wird nachfolgend Phase 4 betrachtet.

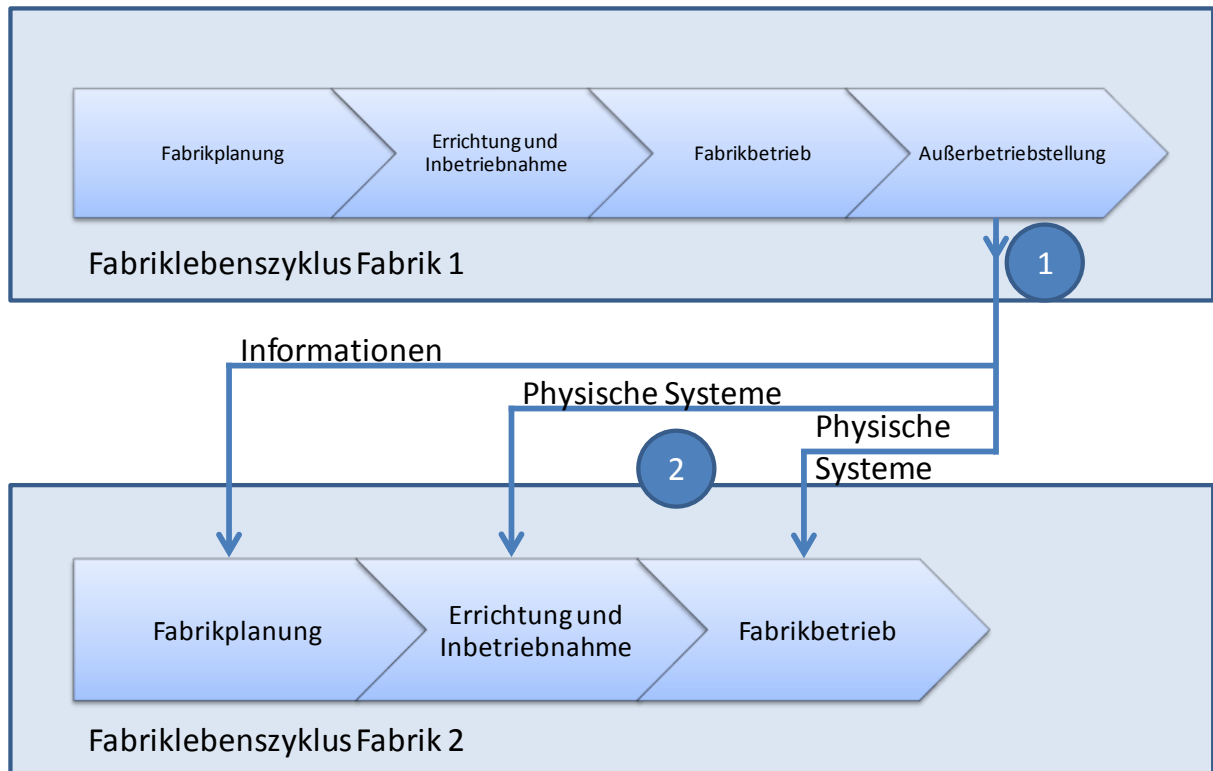


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Fabriklebenszyklus und die Rückgewinnung

Der Begriff „*Rückgewinnung*“ beschreibt einen Vorgang bzw. einen Prozess, etwas einer erneuten Nutzung zu zuführen.

In der Phase der Außerbetriebstellung einer Fabrik kann rückgewonnen werden (siehe auch Abbildung 1 Punkt (2)):

- Informationen zu rückgewonnenen Systemen (Anlagen, Automatisierungskomponenten, Materialien)
- physische Systeme:
 - fertigungstechnische Anlagen
 - Automatisierungskomponenten
 - Materialien (Kunststoffe, Metalle, metallische Legierungen)

Es lassen sich beispielsweise Ersatzteile für eine zweite Fabrik, für den Fabrikbetrieb rückgewinnen. Automatisierungskomponenten aus der ersten Fabrik finden beispielsweise einen erneuten Einsatz in der zweiten Fabrik, in der Phase Errichtung und Inbetriebnahme. Es lassen sich aber auch Informationen rückgewinnen, die eine erneute Anwendung in der Fabrikplanung finden.

Ergänzend zu Abbildung 1 lässt sich in der Industrie Wärme, Energie, Metalle rückgewinnen. Es lässt sich Kapital rückgewinnen. Diese Arbeit wird sich auf die Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten und die dazugehörigen Informationen, die zum Gelingen der Rückgewinnung beitragen, beschränken. Das ist durch Punkt (1) in Abbildung 1 dargestellt.

Im nächsten Abschnitt wird der Fabrikaufbau betrachtet, um die Verortung von Automatisierungskomponenten in der Fabrik aufzuzeigen.

2.2 Der Fabrikaufbau

In dieser Arbeit wird sich auf Fabriken der Fertigungsindustrie bezogen, im speziellen die Fertigungssysteme im Automobilbereich.

Fertigungssysteme verwenden einfache oder komplexe Materialien und stellen wertgesteigerte Produkte her [8]. Es werden festgelegte Arbeitsvorgänge ausgeführt zur Herstellung eines definierten Produktes [9].

Dazu findet sich in der Literatur eine Veröffentlichung [10], welche den Fabrikaufbau bei einem Automobilhersteller wiedergibt. Es wird eine neunstufige hierarchische Fertigungssystemstruktur einer Fabrik in Tabelle 1 beschrieben.

Tabelle 1: Identifizierte Hierarchieebenen einer Fabrik [10]

Ebene		Karosseriebau
9	Fertigungsnetzwerk	Volkswagen AG mit Zulieferern
8	Fabrik	Werk Wolfsburg
7	Fertigungslinie	Karobauscheibe
6	Fertigungsabschnitt	Aufbau
5	Arbeitseinheit	Aufbauteil
4	Arbeitsstation	Schweißzelle
3	Funktionsgruppe	Roboter mit Schweißarm
2	Komponente	Schweißzange
1	Konstruktionselement	Schweißkontakt

Die folgenden Beschreibungen der einzelnen Ebenen, hinsichtlich ihrer Funktionalität, erfolgt in Anlehnung an Zawisza et al. [10].

1. Ein Konstruktionselement ist ein Bauteil, welches in einer Komponente integriert ist und für dessen Funktionalität notwendig ist.
2. Eine Komponente erbringt eine unterstützende Funktion im Fertigungssystem. „Komponenten, die für einen Fertigungsschritt notwendig sind, werden in Funktionsgruppen zusammengefasst“.[10]
3. Funktionsgruppen verbinden Fertigungstechnologien in einem Fertigungsschritt, die nur in einer festen Kombination angewandt werden können.
4. Arbeitsstationen schließen eine oder mehrere Funktionsgruppen ein, die wertschöpfende und/oder unterstützende Funktionen des Fertigungsprozesses erbringen.
5. Eine Arbeitseinheit ist eine Verknüpfung mehrerer Arbeitsstationen, die eine geschlossene Prozesskette bilden.
6. „Der Fertigungsabschnitt wird durch eine Verkettung einer Vielzahl von wertschöpfenden und nichtwertschöpfenden Funktionen charakterisiert, bei der die Mengen von Arbeitseinheiten über Puffer gekoppelt werden.“[10]

7. Fertigungslinien stellen eine Abgrenzung zwischen fertigungstechnischen Disziplinen dar, z.B. zwischen Presswerk, Karosseriebau, Lackierer und Endmontage.
8. Die Fabrik und 9. das Fertigungsnetzwerk werden durch alle fertigungstechnischen und sonstigen unterstützenden Funktionen charakterisiert.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten, wie sie in der Automobilindustrie vorkommen, und deren Materialien zu betrachten.

Automatisierungskomponenten sind Einrichtungen zum Messen, Steuern und Regeln von Prozessen [11]. Automatisierungskomponenten in einer Fabrik können Maschinen sein, beispielsweise ein Industrieroboter. Eine Automatisierungskomponente kann eine Baugruppe der Maschine sein, die in einem System eine bestimmte Rolle einnimmt, beispielsweise der Antrieb des Industrieroboters ein Elektromotor.

Jede Automatisierungskomponente durchläuft, wie die Fabrik, einen Lebenszyklus, in der Literatur als Produktlebenslauf bezeichnet [8]. Ist eine Fabrik am Ende Ihrer Nutzungsphase angekommen, wird diese Außerbetrieb genommen, es bedeutet aber nicht, dass die Nutzungsphasen von den Automatisierungskomponenten, die in der Fabrik betrieben wurden, am Ende des Lebenszyklus angekommen sind. Somit können sich neue Kreisläufe ergeben, die betrachtet werden können. Wenn auch die Automatisierungskomponenten ihrer Nutzungsphase ist, können Teile oder Materialien rückgewonnen werden.

Eine weitere Betrachtung der Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten wird deshalb nur auf Ebene 3, 2 und 1 gemäß Tabelle 1 erfolgen.

Im nächsten Kapitel werden die für diese Arbeit wichtigen Grundlagen zur Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten, Verwendung und Verwertung umfassend betrachtet. Es wird sich auf die Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten in Phase 4 des Fabriklebenszyklus beschränkt. In den weiterführenden Kapiteln wird eine Betrachtung der relevanten Informationen folgen, der Prozesse, die zur Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten beitragen.

2.3 Rückgewinnung

Die Rückgewinnung umfasst die Verwendung und die Verwertung. Im Verständnis dieser Arbeit hat sie das oberste Ziel, Funktionsgruppen, Komponenten und Konstruktionselemente aus Fertigungssystemen einer erneuten Verwendung zum gleichen Zweck zuzuführen. Die zerstörungsfreie Demontage ist dabei ein zentraler Prozess, um eine Rückgewinnung zu ermöglichen. Eignen sich die Automatisierungskomponenten nicht für einen direkten erneuten Einsatz, bleibt die Aufarbeitung der Automatisierungskomponenten für einen erneuten Einsatz aber für einen anderen Zweck, oder die Verwertung der Materialien. Die Rückgewinnungsmöglichkeiten werden nachfolgend erläutert.

2.3.1 Systemrückgewinnung

Das Ziel der Systemrückgewinnung ist die Wieder- und Weiterverwendung. Es wird die Form und Gestalt nicht aufgelöst. Eine Verwendung, für denselben oder einen anderen Zweck ist möglich. Systeme können Automatisierungskomponenten innerhalb physischer Systeme sein, wie beispielsweise ein Industrieroboter, und entsprechen damit Ebene 3 „Funktionsgruppe“ aus Tabelle 1

Diese Betrachtung lässt sich auch auf Teilsysteme übertragen. Ein System kann in Teilsysteme zerfallen. Es kann sich um ein Bauteil handeln, welches eine definierte Funktion ausüben oder Daten und Informationen austauschen kann, die zur Ausführung der Aufgabe notwendig sind. Dazu gehört zum Beispiel, die Überwachung von Prozessparametern von Bauteilen einer Maschine. Komponenten können sein, das Gehäuse, Kabel, Automatisierungstechnik, Antriebe. Das entspricht Ebene 2 „Komponente“ und 1 „Konstruktionselement“ aus Tabelle 1

2.3.2 Materialrückgewinnung

Das Ziel der Materialrückgewinnung ist die Wieder- und Weiterverwertung. Es wird die Form und Gestalt aufgelöst. Eine Verwertung, für denselben oder einen anderen Zweck ist möglich. Systeme, die keine Verwendung erhalten und zum Abfall geworden sind, werden der Materialrückgewinnung zugeführt. Materialien können hierbei z.B. Metall, Legierung, Kunststoff oder Glas sein. Dazu werden hauptsächlich mechanische Verfahren eingesetzt, die die vorhandenen Werkstoffverbindungen auftrennen und die Feststoffe sortieren.

Für die Materialrückgewinnung eignen sich physische Systeme auf allen der hier betrachteten drei Ebenen der Tabelle 1.

2.4 Rückgewinnungsformen

Die Rückgewinnungsformen aus VDI 2343 [12] sind in Abbildung 2 dargestellt und lassen sich auf den Inhalt diese Arbeit anwenden.

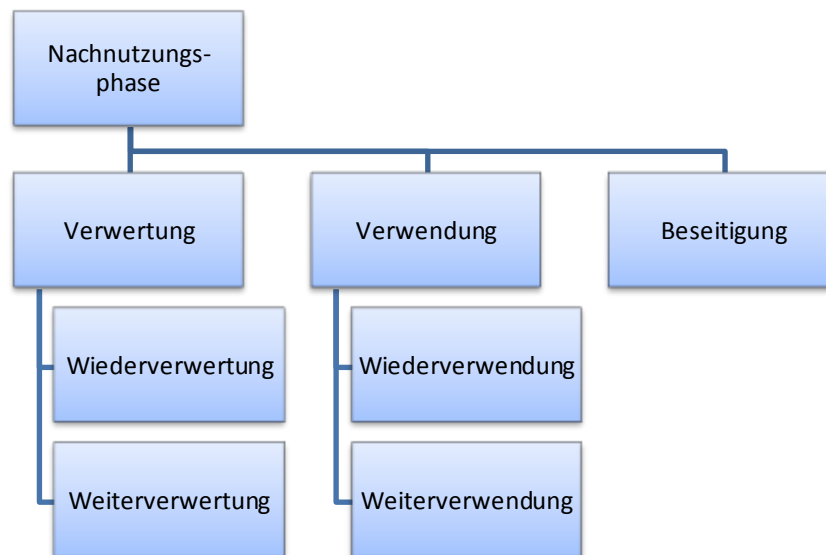


Abbildung 2: Darstellung der Rückgewinnungsformen in der Nachnutzungsphase [10]

Verwenden wird im Sinne dieser Arbeit verstanden als eine erneute Nutzung von Automatisierungskomponenten oder ihrer Teile, entweder für denselben oder einen anderen Zweck.

Die Verwendung ist mit dem Blick auf Ökonomie und Ökologie einer Verwertung vorzuziehen. Bei der Verwendung bleibt das Wertniveau erhalten. Bei der Verwertung dagegen, durch die Auflösung der Gestalt, verliert die Automatisierungskomponente einen hohen Teil ihres Herstellaufwandes [13].

Die Verwertung ist eine rohstoffliche und werkstoffliche Verwertung. Im Kreislaufwirtschaftsgesetz wird die Verwertung in §3 Abs. 26 im Sinne des Gesetzes so beschrieben, dass Abfälle einem sinnvollen Zweck zugeführt werden, mit dem Ziel andere Materialien zu ersetzen (Substitution von Rohstoffen).

Die Beseitigung (und thermische Verwertung) wird hier nicht betrachtet.

Behandlungsprozesse wie Demontage, Aufbereitung und Aufarbeitung sind Elemente der Rückgewinnung [14].

2.4.1 Wiederverwendung

Die Wiederverwendung beschreibt eine erneute Nutzung von gebrauchten Automatisierungskomponenten oder ihren Teilen für denselben Verwendungszweck [14] [15]. Das Kreislaufwirtschaftsgesetz definiert in §3 Abs. 21 die Wiederverwendung als ein Verfahren, „bei dem Erzeugnisse oder Bestandteile, die keine Abfälle sind, wieder für denselben Zweck verwendet werden, für den sie ursprünglich bestimmt waren“ [16]. Es lässt sich durchaus beschreiben als eine Art zweites Leben. Aufarbeitungsarbeiten sind möglich.

2.4.2 Weiterverwendung

Die Weiterverwendung dagegen bezeichnet eine erneute Nutzung von gebrauchten Automatisierungskomponenten oder ihren Teilen für einen anderen Verwendungszweck, für den sie ursprünglich nicht hergestellt wurde, ohne eine Veränderung der Gestalt des Produktes [14] [15]. Aufarbeitungsarbeiten sind möglich.

2.4.3 Wiederverwertung

Im Gegensatz zur Verwendung wird die Gestalt der Automatisierungskomponente bei der Verwertung aufgelöst. Die enthaltenen Materialien werden mit einer möglichst hohen Qualität zurückgewonnen. Hierbei handelt es sich um Materialrückgewinnung, auch genannt werkstoffliches Recycling [17]. Durchlaufen die recycelten Stoffe einen gleichartigen Produktionsprozess, wie bei der Automatisierungskomponente, aus der sie zuvor rückgewonnen wurden, so wird von Wiederverwertung gesprochen [12] [15]. Somit entstehen gleichwertige Automatisierungskomponente aus den recycelten Werkstoffen. Hier sind Aufbereitungsarbeiten nötig.

2.4.4 Weiterverwertung

Bei der Weiterverwertung wird die Gestalt der Automatisierungskomponente aufgelöst. Die rückgewonnenen Materialien durchlaufen einen anderen Produktionsprozess und es werden keine Automatisierungskomponenten, sondern Systeme mit anderen Eigenschaften und Gestalt hergestellt [12] [17]. Hier sind Aufbereitungsarbeiten nötig.

2.5 Behandlungsprozesse

Für den Rückgewinnungsprozess von Automatisierungskomponenten finden die Behandlungsprozesse Aufarbeitung und Aufbereitung Anwendung. Die Demontage ist ein Schlüsselprozess für die Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten bzw. ihren Teilen, die eine Rückgewinnung erst ermöglichen, und wird deshalb gesondert betrachtet.

2.5.1 Demontage

Die Demontage ist das Verfahren zur Herauslösung einer Automatisierungskomponente aus einem größeren physischen System oder zur Zerlegung in ihre Bestandteile oder Materialien bzw. formlosen Stoffen. Im Mittelpunkt steht der Lösevorgang der Verbindungen mittels Trennen [18] [19]. Der Demontagevorgang ist damit ein Schlüsselprozess für die Rückgewinnung.

Demontage wird in der Nachnutzungsphase durchgeführt zur [19]:

- Entfrachtung von Schadstoffen und schadstoffhaltiger Bestandteilen
- Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten
- Sammlung sortenreiner recyclingfähiger Materialien

Entsprechend ihrer Wirkung auf die Verbindung werden Demontageverfahren in Zerstörungsgrade eingeteilt.

Die zerstörungsfreie Demontage dient zur Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten primär für die Wiederverwendung, beispielsweise mittels Lösen von Schraubverbindungen.

Die teilzerstörende Demontage verfolgt das Ziel, wertvolle Bauteile zu erhalten, nimmt aber Beschädigungen an anderen Teilen in Kauf, wie zum Beispiel das Aufbohren von Schraubverbindungen. Das kann bei der Teilsystemrückgewinnung zum Einsatz kommen.

Die zerstörende Demontage erzeugt neue Trennstellen, bietet hohe Flexibilität [19] und bietet sich damit für die Materialrückgewinnung an.

2.5.2 Aufbereitung

Die Aufbereitung ermöglicht die Materialrückgewinnung. Dazu werden verfahrenstechnische Aufbereitungsprozesse genutzt, um die Materialien stofflich aufzulösen und zu sortieren, damit sie wieder in die Neuproduktion von Werkstoffen fließen können [14] [17].

Vorliegende Werkstoffverbindungen werden mit Hilfe mechanischer Beanspruchung zerstört. Dazu zählen beispielsweise Druck, Schlag, Prall und Scheren. Die Zerkleinerungsmaschinen, wie der Hammerreißer, allgemein bezeichnet als Shredder, oder langsam laufende Rotorreißer eignen sich für die Aufschlusszerkleinerung. Rotorreißer ebenso wie Hammerreißer werden eingesetzt beispielweise, um PKW zu zerkleinern. [20]

Für Automatisierungskomponenten kommt eine solche mechanische Aufschlusszerkleinerung zur Anwendung. Kraftschlüssige und stoffschlüssige Verbindungen werden so getrennt. Im Anschluss werden die Fraktionen in Metalle, Nichtmetallen und Leichtfraktion klassiert und sortiert.

Klassierung erfolgt mit Sieben, beispielweise Trommelsieb. Bei der Sortierung werden die physikalischen Eigenschaften der verschiedenen Stoffe genutzt, um mit Verfahrenstechnik das Sortieren zu ermöglichen. Magnetscheider werden eingesetzt, um die magnetisierbaren Stücke herauszuziehen. Dabei werden die magnetischen Materialien von den Unmagnetischen getrennt. [20]

Eine vollständige Betrachtung der in der Recyclingtechnik angewandten Prozesse erhebt diese Arbeit jedoch nicht.

2.5.3 Aufarbeitung

Die Aufbereitung unterstützt die Systemrückgewinnung. Ziel von Aufarbeitungsprozessen ist es, die Automatisierungskomponenteneigenschaften für eine erneute Verwendung zu bewahren oder wiederherzustellen [18] [20].

Es werden nur Automatisierungskomponenten rückgewonnen, die technisch einwandfrei einsatzfähig sind und/oder bei denen die vollständige Funktionsfähigkeit durch einfache Reparaturen wiederhergestellt werden kann. Dafür ist eine technische Überprüfung notwendig.

Eine Übersicht zu Aufarbeitungsprozessen und den Begrifflichkeiten wird nachfolgend gegeben:

- Reparatur: Gezielte Aufhebung eines Mangels oder Schadens mit dem Ziel, die Funktionsfähigkeit der Automatisierungskomponente wiederherzustellen [14]
- Austauschautomatisierungskomponente: Gebrauchte Automatisierungskomponente, die nach dem Stand der Technik so aufgearbeitet wird, dass es in Qualität und Funktion einem entsprechenden Neuteil vergleichbar ist [14]
- Instandgesetzte Automatisierungskomponente: Zu den instandgesetzten Automatisierungskomponenten zählt die teilinstandgesetzte, grundinstandgesetzte, generalüberholte Automatisierungskomponente [14]:
 - Teilinstandgesetzte Automatisierungskomponente: Automatisierungskomponente, bei der Mängel oder Schäden und bei der dazu erforderlichen Demontage erkannte oder offensichtlich erkennbare Mängel oder Schäden beseitigt wurden, mit dem Ziel, die Funktionsfähigkeit der Automatisierungskomponente wiederherzustellen [14]
 - Grundinstandgesetzte Automatisierungskomponente: Automatisierungskomponente inklusive vorhandener Nebengeräte, die nach technischer Überprüfung instandgesetzt wurde [14]
 - Generalüberholte Automatisierungskomponente: Automatisierungskomponente, die vollständig zerlegt und deren einzelne Teile begutachtet und entsprechend dem Stand der Technik instandgesetzt oder gegebenenfalls ersetzt wurden, um die volle Funktionsfähigkeit der Automatisierungskomponente wiederherzustellen [14]

Defekte oder stark beschädigte Automatisierungskomponenten werden direkt der Materialrückgewinnung zugeführt.

Eine weitere Unterscheidung des Ausgangszustandes der Automatisierungskomponenten und den Grad der Aufarbeitungsmöglichkeiten werden nicht betrachtet.

Die Aufarbeitung gehört zu den höherwertigen und im Sinne des Umweltschutzes zu bevorzugenden Behandlungsprozessen im Vergleich zur Aufbereitung [14].

2.6 Rückgewinnungsprozess

Bei dem Rückgewinnungsprozess, wie er in dieser Arbeit angenommen wird, kommen Automatisierungskomponenten zur Funktionsprüfung, welche für eine Verwendung in einer anderen Fabrik in Frage kommen. Automatisierungskomponenten, dessen funktionellen Eigenschaften eingeschränkt sind, durch Defekte oder starke Beschädigungen, werden der Verwertung zugeführt, um an die enthaltenen Materialien zu gelangen. Betrachtet wird, ob:

- die Automatisierungskomponente mit ihrer funktionellen Eigenschaft erneut genutzt werden kann.
- die Automatisierungskomponente mit ihrer funktionellen Eigenschaft nach einer Funktionsherstellung erneut genutzt werden kann.
- die Automatisierungskomponente nicht weiter genutzt werden kann und somit der Verwertung zugeführt werden muss.

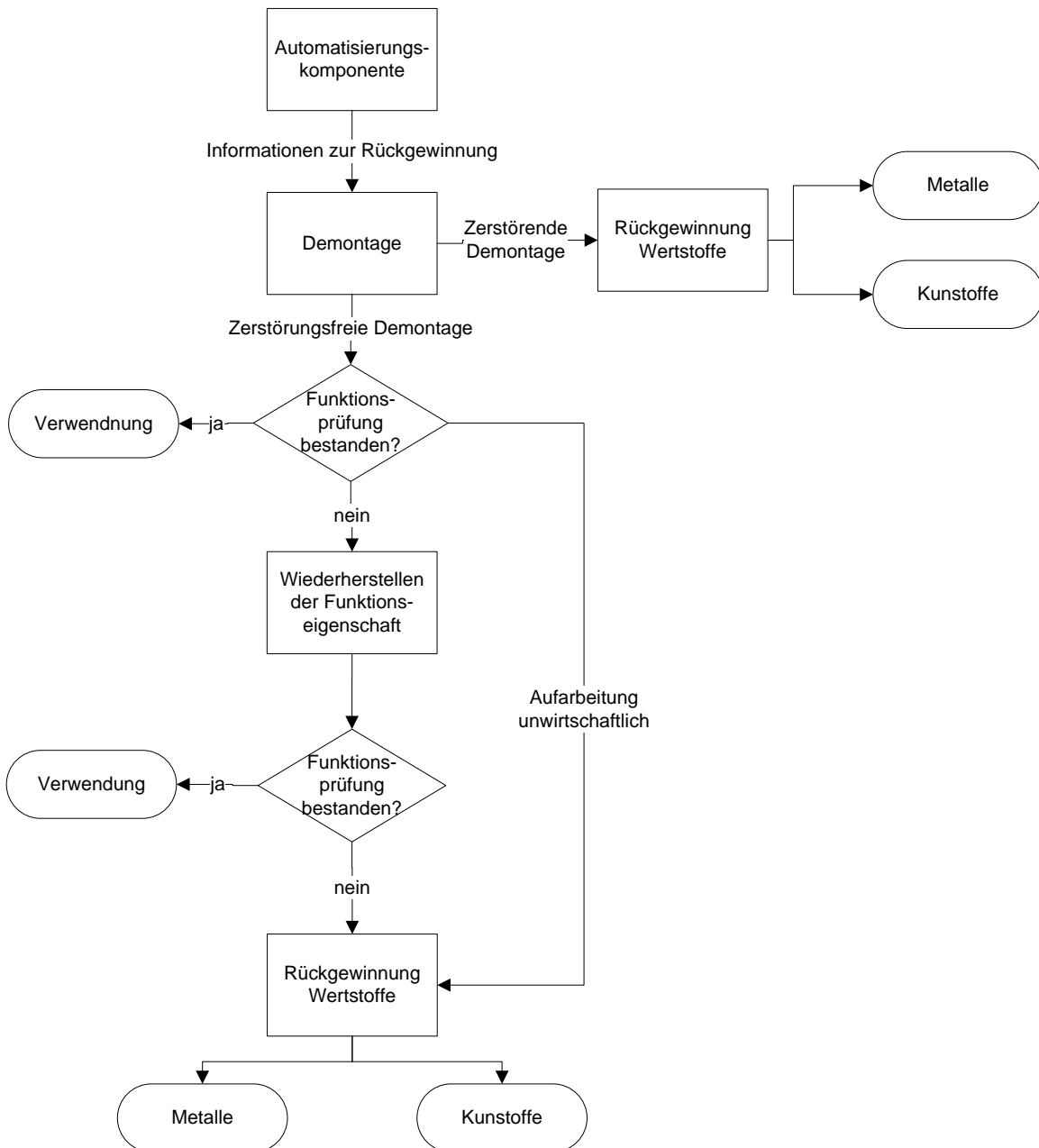


Abbildung 3: Rückgewinnungsprozess von Automatisierungskomponenten

In Abbildung 3 wird der Rückgewinnungsprozess für Automatisierungskomponenten im Flussdiagramm dargestellt und nachfolgend erklärt.

Eine Fabrik ist am Ende ihres Fabriklebenszyklus angekommen und wurde außer Betrieb genommen. Die Außerbetriebstellung einer Fabrik bedeutet jedoch nicht zwangsläufig, das Ende des Lebenszyklus der enthaltenen Anlagen oder Automatisierungskomponenten. Sie sind mitunter noch voll funktionsfähig. Daher wird nun versucht, funktionsfähige Automatisierungskomponenten rückzugewinnen, die für einen erneuten Einsatz in Frage kommen.

Finanzielle Aspekte sind hierbei auch von Bedeutung. Es muss der Bedarf vorhanden sein für Wiedervermarktung oder Wiedereinsatz von gebrauchten Automatisierungskomponenten gegenüber Neuteil [21] – außerdem müssen dabei eventuell anfallende Aufarbeitungskosten berücksichtigt werden. Den Fokus dieser Betrachtung legt diese Arbeit dabei auf Automatisierungskomponenten, wie sie in Fertigungssystemen der Automobilindustrie vorkommen, z.B. Industrieroboter, Elektromotoren oder speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS). Die zurückgewonnenen Automatisierungskomponenten sollten bevorzugt eine Wiederverwendung erfahren und ohne Veränderungen in einem anderen Fertigungssystem eingesetzt werden können.

Bei Automatisierungskomponenten, die für eine Rückgewinnung in Frage kommen, müssen neben ökonomischen auch ökologische Aspekte beachtet werden. Es muss sichergestellt sein, dass die Betriebsstoffe ordnungsgemäß abgelassen, gesammelt und aufbereitet bzw. entsorgt werden.

Die Demontage ist der zentrale Prozess für anschließende Aufarbeitungs- und Aufbereitungsschritte. Wenn Aufarbeitungsschritte folgen sollen, muss zerstörungsfrei oder teilzerstörend demontiert werden. Wenn Aufbereitungsschritte folgen sollen, kann zerstörend demontiert werden.

Wird zerstörungsfrei oder teilzerstörend demontiert, werden die Automatisierungskomponenten einer Funktionsprüfung unterzogen. Hier soll die Funktionsfähigkeit der Automatisierungskomponenten sichergestellt werden. Die Zustandsbeurteilung ist Vorbedingung für eine eventuelle Aufarbeitung. Automatisierungskomponenten, die die Funktionsprüfung nicht sofort bestehen, werden anschließend Prozessen zur Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit zugeführt. Dazu zählen das Zerlegen, Prüfen, Reparieren, Reinigen und Wiederausbauen der Automatisierungskomponente. Aufgearbeiteten Automatisierungskomponenten können dann in anderen Fertigungssystemen montiert werden.

Defekte, aufarbeitungskostenintensive Automatisierungskomponenten können zerstörend demontiert und der Verwertung zugeführt werden. Mittels geeigneter Aufbereitungsprozesse ist auf ein sortenreines Sammeln der Werkstoffe zu achten.

Eine Abschätzung, welcher Rückgewinnungsprozess (Verwendung oder Verwertung) für eine Automatisierungskomponente in der Nachnutzungsphase am geeignetsten ist, wird als grundlegend erachtet. Sie soll durch eine Kontrollliste unterstützt werden. Diese wird im nachfolgenden Kapitel erarbeitet.

3 Identifikation relevanter Informationen zur Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten

In diesem Kapitel sollen die relevanten Informationen zur Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten extrahiert und auf Basis dessen eine Kontrollliste erarbeitet werden. Dabei werden die europäischen, nationalen Gesetze, Richtlinien und Normen berücksichtigt. Die Kontrollliste soll die Abschätzung des geeignetsten Rückgewinnungsprozesses für eine Automatisierungskomponente unterstützen.

3.1 Europäische Union

Die Europäische Union verfolgt die Ziele Umweltschutz und Recycling im Bereich der Abfallvermeidung und Abfallbewirtschaftung. Laut EU-Richtlinie Richtlinie 2008/98/EG besteht folgende Prioritätenabfolge zur Abfallhierarchie:

- „Abfallvermeidung: u.a. gehört dazu das Verbot von umweltgefährdenden Stoffen wie PCB, FCKW.“ [22]
- „Vorbereitung zur Wiederverwendung: d.h. eine erneute Nutzung des Guts wie Pfandflasche, Second-Hand-Use.“ [22]
- „Recycling durch stoffliche Verwertung: definierte Abfallstoffströme oder Teile davon werden aufbereitet, um daraus wieder vermarktungsfähige Sekundärrohstoffe zu gewinnen.“ [22]
- „sonstige Verwertung, z.B. durch energetische Verwertung: die Stoffe werden verbrannt oder vergast, jedoch mit dem alleinigen Ziel der Energiegewinnung.“ [22]
- „Beseitigung des Mülls, z.B. durch Deponieren.“ [22]

Eine weitere Betrachtung der europäischen Gesetzgebung, die das Thema dieser Arbeit betrifft, wird nicht erfolgen. Es wird sich im nächsten Abschnitt mit der Überführung der EU Richtlinien in nationales Recht beschäftigt. Dies erscheint aussichtsvoller, da konkrete Informationen zur Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten für die Kontrollliste gesucht werden.

3.2 Nationales Recht (Deutschland)

In diesem Teilschritt wird knapp das nationale Recht auf relevante Informationen zum Rückgewinnungsprozess betrachtet.

3.2.1 Kreislaufwirtschaftsgesetz

Das Kreislaufwirtschaftsgesetz ist das Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und zur Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen. Das Kreislaufwirtschaftsgesetz ist die Umsetzung der EU-Richtlinie Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle in nationales Recht [16]. Dieses greift erneut die Abfallhierarchie auf (siehe Abbildung 4).

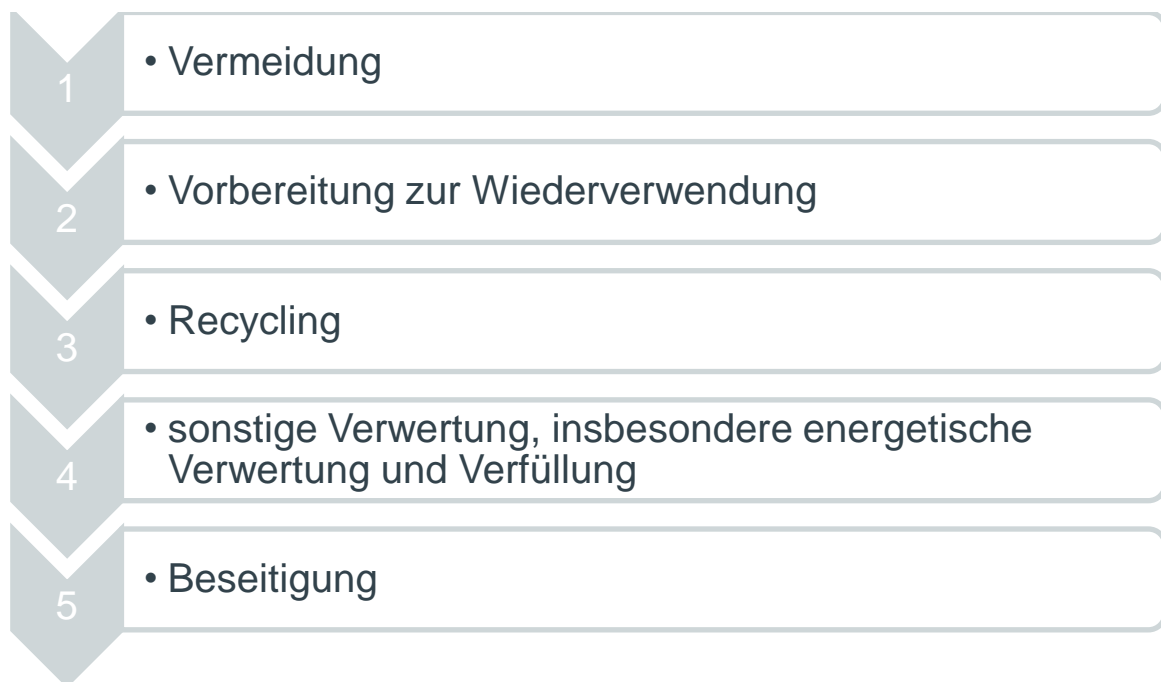


Abbildung 4: Abfallhierarchie nach [16]

Das Kreislaufwirtschaftsgesetz verfolgt das oberste Ziel der Abfallvermeidung, also eine Verringerung der Abfälle, die zu beseitigen sind. Die Wiederverwendung wird als das bevorzugte Verfahren, vor der Verwertung gesehen. Das Kreislaufwirtschaftsgesetz liefert jedoch keine konkreten Informationen, die den Rückgewinnungsprozess von Automatisierungskomponenten aus Fertigungssystemen unterstützen. Den kreislaufwirtschaftlichen Gedanken, die Wiederverwendung und die Vorbereitung zur Wiederverwendung von Erzeugnissen, die nicht zum Abfall geworden sind, kann für diese Arbeit verwendet werden.

Identifikation relevanter Informationen zur Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten

§3 Abs. (20) „Vermeidung im Sinne dieses Gesetzes ist jede Maßnahme, die ergriffen wird, bevor ein Stoff, Material oder Erzeugnis zu Abfall geworden ist, und dazu dient, die Abfallmenge, die schädlichen Auswirkungen des Abfalls auf Mensch und Umwelt oder den Gehalt an schädlichen Stoffen in Materialien und Erzeugnissen zu verringern. Hierzu zählen insbesondere die anlageninterne Kreislaufführung von Stoffen, die abfallarme Produktgestaltung, **die Wiederverwendung von Erzeugnissen** oder die Verlängerung ihrer Lebensdauer sowie ein Konsumverhalten, das auf den Erwerb von abfall- und schadstoffarmen Produkten sowie die Nutzung von Mehrwegverpackungen gerichtet ist.“ [16]

Definition von Wiederverwendung in Sinne des Gesetzes. §3 Abs. (21) „ **Wiederverwendung** im Sinne dieses Gesetzes ist jedes Verfahren, bei dem Erzeugnisse oder Bestandteile, die keine Abfälle sind, wieder **für denselben Zweck** verwendet werden, für den sie ursprünglich bestimmt waren.“ [16]

Automatisierungskomponenten, die Beispielsweise aus einer Gewerbeauflösung stammen, die fachgerecht demontiert wurden und bis zur Stilllegung voll funktionsfähig waren, sind keine Abfälle. Es sei denn der Besitzer hat sich ihnen entledigt. Diese haben immer noch einen gewissen Marktwert. Industrieroboter besitzen einen Gebrauchtwert und werden gehandelt, Industriewarenhändler bieten gebrauchte Automatisierungskomponenten zum Kauf an.

Automatisierungskomponenten aus Fabrik 1 können Wiederverwendet werden in Fabrik 2. Somit ergibt sich eine Verlängerung der Nutzungsphase durch Wiederverwendung.

Definition von Vorbereitung zur Wiederverwendung im Sinne des Gesetzes. §3 Abs. (24) „**Vorbereitung zur Wiederverwendung** im Sinne dieses Gesetzes ist jedes Verwertungsverfahren der Prüfung, Reinigung oder Reparatur, bei dem Erzeugnisse oder Bestandteile von Erzeugnissen, die zu Abfällen geworden sind, so vorbereitet werden, dass sie ohne weitere Vorbehandlung wieder für denselben Zweck verwendet werden können, für den sie ursprünglich bestimmt waren.“ [16]

Identifikation relevanter Informationen zur Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten

Als verwendbare Information ist zu nennen, dass die Verlängerung der Nutzungsphase von Automatisierungskomponenten durch Wiederverwendung zu dem im Sinne des Gesetzes zu bevorzugende Verfahren gehört.

3.2.2 Elektro- und Elektronikaltgerätegesetz

Das Elektroggesetz ist die Umsetzung der Richtlinie 2012/19/EU über Elektro- und Elektronik-Altgeräte. Das Elektroggesetz gilt für Elektro- und Elektronikgeräte. Es schließt standortfeste und industrielle Großanlagen jedoch aus, sowie die Automatisierungskomponenten, die zum Betrieb solcher Anlagen eingesetzt werden [23]. Konkrete Informationen zum Rückgewinnungsprozess konnten nicht gewonnen werden.

3.2.3 Bundes-Immissionsschutzgesetz

„Zweck dieses Gesetzes ist es, Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- und sonstige Sachgüter vor schädlichen Umwelteinwirkungen zu schützen und dem Entstehen schädlicher Umwelteinwirkungen vorzubeugen [24].“ Es ließen sich nur Anhaltspunkte im Zusammenhang mit der Stilllegung von Anlagen finden. Von Anlagen, die ihren Betrieb eingestellt haben, dürfen keine schädlichen Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren ausgehen (siehe § 5 Abs. 3 Punkt 1), sowie müssen vorhandene Abfälle ordnungsgemäß und schadlos verwertet werden (siehe § 5 Abs. 3 Punkt 2).

3.2.4 BVT Merkblätter

Die BVT Merkblätter sind Dokumente, die die beste verfügbare Technik (BVT) zur Emissionsminderung in den Industrieanlagen einer Branche beschreiben. Beispielhaft können BVT Merkblätter zu Abfallbehandlungsanlagen, der Eisen- und Stahlerzeugung genannt werden, die öffentlich zugänglich auf Internetseite des Umweltbundesamtes zu finden sind [25]. Für den Rückgewinnungsprozess konnten an dieser Stelle keine konkreten Informationen gewonnen werden.

3.2.5 Fazit

Die gesetzlichen Grundlagen, mit dem Blick auf die Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten, sind nicht ergiebig.

Es gibt keine Verwertungsquoten für Automatisierungskomponenten und auch keine „Beste Verfahren“ zur Aufbereitung oder Aufarbeitung im Umgang mit Automatisierungskomponenten aus Fertigungssystemen, wie sie in der Automobilindustrie Verwendung finden. In der Gesetzgebung lassen sich jedoch Informationen zur Abfallvermeidung von Elektronikgeräten finden, die sich auf die Automatisierungskomponenten teilweise übertragen lassen könnten. Jedoch sind großtechnische Industrieanlagen explizit von dem Altgeräte und Elektronikgesetz ausgeschlossen [23] [26].

Es lässt sich aber sagen, dass das Kreislaufwirtschaftsgesetz Allgemeingültigkeit besitzt, dass die Verwendung der Verwertung vorzuziehen ist. Das wird auf sowohl europäischer Ebene als auch auf nationaler Ebene deutlich hervorgehoben. Als Empfehlung lässt sich jetzt schon sagen, dass auf freiwilliger Basis auch Verwertungsquoten für Automatisierungskomponenten eingeführt werden könnten, um den kreislaufwirtschaftlichen Gedanken weiter zu fördern.

Da in dieser Arbeit aber konkrete Informationen, die den Rückgewinnungsprozess von Automatisierungskomponenten erfolgreich unterstützen, gesucht werden und die vorhandenen Deutschen Gesetze in der Regel zu allgemein formuliert sind, werden stattdessen angrenzende VDI Richtlinien herangezogen, die durchaus einen konkreteren Blickwinkel auf die Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten legen.

3.3 Richtlinien/Normen

In diesem Kapitel werden die relevanten Informationen zur Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten erarbeitet. Folgende Richtlinien/Normen werden genutzt, um die konkreten Informationen zu gewinnen:

- VDI 2343 - Recycling elektrischer und elektronischer Geräte, Blatt 3: Demontage [19]
- VDI 2343 - Recycling elektrischer und elektronischer Geräte, Blatt 7: Re-Use [27]
- VDI 2243 - Recyclingorientierte Produktentwicklung [8]
- VDI 4431 - Kreislaufwirtschaft für produzierende Unternehmen [28]
- VDI 2074 - Recycling in der Technischen Gebäudeausrüstung [29]
- VDI 2884 - Beschaffung, Betrieb und Instandhaltung von Produktionsmitteln unter Anwendung von Life Cycle Costing (LCC) [30]
- PAS 1049 - Übermittlung recyclingrelevanter Produktinformationen zwischen Herstellern und Recyclingunternehmen [31]

Auf Basis dieser Normen wird im nächsten Abschnitt die Kontrollliste zu den identifizierten relevanten Informationen erarbeitet.

3.4 Identifizierte Informationen

Mit Hilfe der Kontrollliste soll eine quantitative Beurteilung der Rückgewinnungsfähigkeit der Automatisierungskomponenten ermöglicht werden. Sie kann Entscheidungsträger bei ihrem Entscheidungsprozess unterstützen, in dem die Kontrollliste aufzeigt, welche Informationen beschafft werden müssen. Dadurch werden Rückgewinnungsprozesse vergleichbar gemacht.

Wenn eine Fabrik außerbetrieb genommen wird, gilt es sich für einen geeigneten Rückgewinnungsprozess zu entscheiden. In Abbildung 1 (Punkt 1) in Kapitel 2.1 ist dieser Entscheidungszeitpunkt im Fabriklebenszyklus kenntlich gemacht. Bei dieser Entscheidung spielt eine Vielzahl an Informationen eine Rolle. Beispielsweise sind heranzuziehen, der Verschleiß, die Lebensdauer oder die Aufarbeitungsfähigkeit der Automatisierungskomponenten. Weitere relevante Informationen, die sich teilweise aus den Datenblättern der Automatisierungskomponenten entnehmen lassen, sind beispielsweise die Angabe des Stromverbrauches, die Nutzspannung der Automatisierungskomponenten sowie Werkstoffgruppen und Verbindungsarten [19].

Die nachfolgende Tabelle 2 beinhaltet nun eine Übersicht zu diesen relevanten Informationen, sortiert in Informationsklassen. Die Kontrollliste betrachtet dabei die:

- Materialrückgewinnung
 - Material
- Systemrückgewinnung
 - Konstruktionselement
 - Komponente
 - Funktionsgruppe

Tabelle 2: Identifikation relevanter Informationen zur Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten

Klassen	Rückgewinnungsziele			
	Material	Konstruktions- element	Komponente	Funktions- gruppe
Funktionsfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> - Angabe von Funktionsfähigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> - Angabe des Zustandes - Angabe der Betriebsdauer - Angabe der Reparaturmöglichkeit, bei nicht Funktionsfähigkeit - Angabe von Aufarbeitungspotential 	<ul style="list-style-type: none"> - Angabe des Zustandes - Angabe der Betriebsdauer - Angabe der Reparaturmöglichkeit, bei nicht Funktionsfähigkeit - Angabe von Aufarbeitungspotential 	<ul style="list-style-type: none"> - Angabe des Zustandes - Angabe der Betriebsdauer - Angabe der Reparaturmöglichkeit, bei nicht Funktionsfähigkeit - Angabe von Aufarbeitungspotential
Demontagefähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> - Angabe von wertvollen Metallen, die gesondert Demontiert müssen - Angabe von erwartender Menge - Angabe von Betriebsstoffen - Angabe von Verbundmaterialien - Angabe benötigter Werkzeuge bzw. Sonderwerkzeuge 	<ul style="list-style-type: none"> - Angabe der Verbindungsart (Verschraubung, Nieten) - Angabe von verwendeten Betriebsstoffen - Angabe von Demontagehinweisen (Demontagepläne) - Angabe von Zerstörungsgrad bei Demontearbeiten - Angabe der benötigten 	<ul style="list-style-type: none"> - Angabe der Verbindungsart (Verschraubung, Nieten) - Angabe von verwendeten Betriebsstoffen - Angabe von Demontagehinweisen (Demontagepläne) - Angabe von Zerstörungsgrad bei Demontearbeiten - Angabe der benötigten 	<ul style="list-style-type: none"> - Angabe der Verbindungsart (Verschraubung, Nieten) - Angabe von verwendeten Betriebsstoffen - Angabe von Demontagehinweisen (Demontagepläne) - Angabe von Zerstörungsgrad bei Demontearbeiten - Angabe der benötigten

Identifikation relevanter Informationen zur Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten

Klassen	Rückgewinnungsziele			
	Material	Konstruktions- element	Komponente	Funktions- gruppe
	- Angabe der Verbindungstechnik	Werkzeuge, Sonderwerkzeuge - Angabe von Stückzahlen	Werkzeuge, Sonderwerkzeuge - Angabe von Stückzahlen	Werkzeuge, Sonderwerkzeuge - Angabe von Stückzahlen
Gefährliche Stoffe	- Angabe von Betriebsstoffen - Angabe, ob Schadstoffe zu erwarten sind (Quecksilber, bromierte Kunststoffe) - Angabe von Stoffen, die entnommen und separat behandelt werden müssen	- Angabe von Betriebsstoffen - Angabe, ob Schadstoffe zu erwarten sind (Quecksilber, bromierte Kunststoffe) - Angabe von Stoffen, die entnommen und separat behandelt werden müssen	- Angabe von Betriebsstoffen - Angabe, ob Schadstoffe zu erwarten sind (Quecksilber, bromierte Kunststoffe) - Angabe von Stoffen, die entnommen und separat behandelt werden müssen	- Angabe von Betriebsstoffen - Angabe, ob Schadstoffe zu erwarten sind (Quecksilber, bromierte Kunststoffe) - Angabe von Stoffen, die entnommen und separat behandelt werden müssen
Marktfähigkeit	- Angabe von Verwertungspotential (Nachfrage) - Angabe von Materialzusammensetzung - Angabe von Datenblätter zur Automatisierungskomponenten	- Angabe von Wiederverwertungspotential (Nachfrage) - Angabe von Datenblätter zum Produkt (Hersteller, Modell, Gewicht, Abmessungen; Materialien,	- Angabe von Wiederverwertungspotential (Nachfrage) - Angabe von Datenblätter zum Produkt (Hersteller, Modell, Gewicht, Abmessungen; Materialien)	- Angabe von Wiederverwertungspotential (Nachfrage) - Angabe von Datenblätter zum Produkt (Hersteller, Modell, Gewicht, Abmessungen; Materialien)

Identifikation relevanter Informationen zur Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten

Klassen	Rückgewinnungsziele			
	Material	Konstruktions- element	Komponente	Funktions- gruppe
	te (Gewicht, Abmessungen) - Angabe der Art des Verbundmaterials - Angabe von Stückzahlen	Baujahr) - Angabe von enthaltene Komponenten - Angabe von Stückzahlen - Angabe von Zustand (Gebrauchsspuren)	- Angabe von enthaltene Komponenten - Angabe von Stückzahlen - Angabe von Zustand (Gebrauchsspuren)	- Angabe von enthaltene Komponenten - Angabe von Stückzahlen - Angabe von Zustand (Gebrauchsspuren)
Verwertbarkeit	- Angabe der Stoffe, die entnommen und separat Behandelt werden müssen (Störstoffe, Betriebsstoffe) - Angabe des bevorzugten Verwertungsverfahrens - Angabe von Datenblätter (Gesamtgewicht, Abmessungen)	- Angabe von Verwertbarkeit	- Angabe von Verwertbarkeit	- Angabe von Verwertbarkeit

Es fällt auf, dass die in Tabelle 2 identifizierten Informationen zu Konstruktionselementen, Komponenten und Funktionsgruppen, also der Systemrückgewinnung, stets die gleichen Informationen umfassen. Die Informationen sind folglich skalierbar, das heißt, es macht keinen Unterschied für die Informationen, ob die ganze Automatisie-

Identifikation relevanter Informationen zur Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten

rungskomponente oder nur ein Teil davon rückgewonnen werden soll. Es ist lediglich ein Unterschied in den Informationen von Material, also Materialrückgewinnung, zu Systemrückgewinnung festzustellen. Aus diesem Grund wird Konstruktionselement, Komponente, Funktionsgruppe ab sofort zusammengefasst betrachtet werden.

Im Nachfolgenden werden die Informationsklassen kurz beschrieben und deren gültige Wertebereiche genannt.

3.4.1 Funktionsfähigkeit

Die Funktionsfähigkeit beschreibt den Zustand, bei dem eine Automatisierungskomponente funktioniert. Die Funktionsfähigkeit kann einhergehen mit einer Überprüfung, ob etwas für einen bestimmten Zweck noch funktioniert.

Angabe relevanter Informationen für die Systemrückgewinnung:

- Angabe des Zustandes
optischer Ersteindruck: verstaubt, verschmiert, verdreht, korrodiert, Gebrauchsspuren, guter Zustand, gebrauchter Zustand, schlechter Zustand
- Angabe der Betriebsdauer
Durch die Angabe der Betriebsdauer können Rückschlüsse auf die Funktionsfähigkeit gezogen werden, Erfahrungswerte bzw. bekannten Richtwerte: Angabe in Stunden
- Angabe der Reparaturmöglichkeit, bei nicht Funktionsfähigkeit
Die Einschätzung, ob und in welchem Umfang eine Reparatur möglich ist durch Ersatzteile oder Dienstleister, die auf solche Reparaturen spezialisiert sind: ja / nein Reparatur ist möglich oder nicht möglich
- Angabe von Aufarbeitungspotential
Kann die Automatisierungskomponenten sinnvoll erweitert, im Sinne von verbessern, verbessert werden: ja: Wo durch? oder nein.

Angabe relevanter Informationen für die Materialrückgewinnung:

- Angabe von Funktionsfähigkeit
Für die Materialrückgewinnung spielt die Funktionsfähigkeit keine Rolle

3.4.2 Demontagefähigkeit

Die Demontagefähigkeit sagt aus, wie gut oder schlecht sich eine Verbindung trennen lässt und somit die Automatisierungskomponente demontieren lässt.

Angabe relevanter Informationen für die Systemrückgewinnung:

- Angabe der Verbindungsart
In welcher Form ist die Automatisierungskomponente montiert, hilfreich zur Beurteilung des bevorzugten Demontageverfahrens: Verschraubung, Nieten, geklebt, gepresst, verschweißt, gesteckt
- Angabe von verwendeten Betriebsstoffen
Betriebsstoffe, die bei Regelbetrieb zur Anwendung gekommen sind, mit Hinblick auf Arbeitsschutz bei Demontagevorgängen: genaue Angabe der Betriebsstoffe oder Angabe keine Betriebsstoffe
- Angabe von Demontagehinweisen
Sind Montagepläne vorhanden oder Spezifikationen in Form von Demontagepläne, Pläne erleichtern die Demontagevorgänge: Angabe ja vorhanden oder Angabe nicht vorhanden
- Angabe von Zerstörungsgrad bei Demontearbeiten
Die Angabe des Zerstörungsgrades, zur Vorabinformation, mit welcher Sorgfalt die Demontage ablaufen wird: zerstörungsfrei, teilweise Zerstörung, Zerstörung
- Angabe der benötigten Werkzeuge, Sonderwerkzeuge
Sicherstellung, welche Werkzeuge mindestens vorhanden sein müssen und/oder gebraucht werden: Standort Werkzeugkasten, Akkuschauber, Luftdruckunterstützte Systeme, Hebebühnen, Kräne
- Angabe von Stückzahlen
Quantitative Angabe der Stückzahlen zur Festlegung des Personals, Arbeitsaufwand und Logistikplanung: Wert

Angabe relevanter Informationen für die Materialrückgewinnung:

- Angabe von wertvollen Metallen, die gesondert demontiert müssen
Hinweis, an welcher Stelle innerhalb einer Automatisierungskomponente wertvolle Metalle zu erwarten sind: ja, Angabe welche Metalle und wo bzw. nein

- Angabe von erwartender Menge
Zur Abschätzung des Arbeitsaufwandes und Logistik, Bereitstellen von Containern, welche Materialien in welcher Menge anfallen: Angabe in kg für die jeweilige erwartende Zusammensetzung der Materialströme pro Automatisierungskomponenten werden [Zahl] kg von [Material] erwartet bei [Zahl] Automatisierungskomponenten insgesamt [Zahl] kg
- Angabe von Betriebsstoffen
Welche Betriebsstoffe wurden eingesetzt und welche Verunreinigungen sind durch die eingesetzten Betriebsstoffe entstanden: Wenn Betriebsstoffe vorhanden sind, aufzählen oder keine
- Angabe von Verbundmaterialien
Verbundmaterialien erschweren die Materialrückgewinnung: Vorhanden, welche oder keine
- Angabe benötigter Werkzeuge bzw. Sonderwerkzeuge
Sicherstellung, welche Werkzeuge mindestens vorhanden sein müssen und/oder gebraucht werden, um an die wertvollen Materialien zu kommen: Standardwerkzeugkasten, Akkuschrauber, luftdruckunterstützte Systeme, Schweißbrenner, Hebebühnen, Kräne
- Angabe der Verbindungstechnik
Die Verbindungstechnik, die getrennt werden muss, um an die Stoffe zu gelangen, die gesondert behandelt werden müssen und/oder wertvolle Materialien enthalten, zur Wahl der benötigten Werkzeuge: Verschraubung, Nieten, geklebt, gepresst, verschweißt, gesteckt

3.4.3 Gefährliche Stoffe

Gefährliche Stoffe sind gesundheits- und umweltschädliche, feuer- und explosionsgefährliche Stoffe sowie sonstige Stoffe, die schädliche Einwirkungen auf Mensch und Umwelt haben. [32]

Stoffe und Komponenten, die entnommen und separat behandelt werden müssen, sind unter anderem die Folgenden [31]:

- PCB-haltige Kondensatoren
- Quecksilberhaltige Bauteile
- Leiterplatten größer als 10 cm²
- Kunststoffe, die bromierte Flammenschutzmittel enthalten

Identifikation relevanter Informationen zur Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten

- Externe elektrische Leitungen
- Bauteile die feuerfeste Keramikfasern enthalten

Angabe relevanter Informationen für die Systemrückgewinnung

- Angabe von Betriebsstoffen
Notwendige Angaben zur Arbeitssicherheit: vorhanden welche, keine
- Angabe, ob Schadstoffe zu erwarten sind
Notwendige Angaben zur Arbeitssicherheit, muss ggf. geprüft werden, um die Unsicherheiten zu reduzieren: Quecksilber, ältere Schadstoffhaltige Kondensatoren, bromierte Kunststoffe bzw. keine
- Angabe von Stoffen, die entnommen und separat behandelt werden müssen
Notwendige Angaben zur Arbeitssicherheit, muss ggf. geprüft werden, um die Unsicherheiten zu reduzieren: Quecksilber, ältere Schadstoffhaltige Kondensatoren, bromierte Kunststoffe bzw. keine

Angabe relevanter Informationen für die Materialrückgewinnung

- Angabe von Betriebsstoffen
Betriebsstoffe, die in Kontakt mit der Automatisierungskomponente gekommen sind: Schmierstoffe, Gas, Kühlmittel
- Angabe, ob Schadstoffe zu erwarten sind
Schadstoffhaltige Materialströme sollen vermieden werden, um eine Anreicherung der Schadstoffe zu verhindern: Quecksilber, bromierte Kunststoffe
- Angabe von Stoffen, die entnommen und separat behandelt werden müssen
Sind Stoffe bekannt, die separat behandelt werden müssen: ja welche z.B. mit Kühlfüssigkeit gefüllte Vorratsbehälter, keine

3.4.4 Marktfähigkeit

Hier geht es um eine Abschätzung, ob es wirtschaftlich ist, gebrauchte Systeme oder Materialien zu vermarkten. Marktfähigkeit wird erreicht, indem die anfallenden Mehrkosten auf dem Markt wieder eingespielt werden. [33]

Identifikation relevanter Informationen zur Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten

Angabe relevanter Informationen für die Systemrückgewinnung:

- Angabe von Wiederverwendungspotential
Wie hoch ist die Nachfrage mit Hinsicht auf Verwendung, Fragestellung, ob ein Markt dafür vorhanden ist, Kosten und Nutzen: Es ist ein Markt vorhanden, Nachfrage besteht, es ist kein Markt vorhanden
- Angabe von Datenblätter zur Automatisierungskomponente
Die Datenblätter zur besseren Einschätzung, ob diese oder jene Automatisierungskomponente die richtige ist bzw. eine Nachfrage besteht: Angabe von Hersteller, Modell, Gewicht, Abmessungen; Materialien, Baujahr
- Angabe von enthaltene Komponenten
Zusatzausstattung bzw. Erweiterungsmodule: vorhanden welche, keine
- Angabe von Stückzahlen
Relative Angabe, je nach Blickwinkel unterschiedlich, dient zur Aufwandsabschätzung: Zahl
- Angabe von Zustand
Angabe von Gebrauchspuren, äußerlichen Merkmalen, Funktionsfähigkeit, die den Wiederverkauf unterstützen sollen für diesen und jenen Einsatz, Einhaltung von Genauigkeiten: Zustand sehr gut, schlecht, beschädigt, wie neu

Angabe relevanter Informationen für die Materialrückgewinnung:

- Angabe von Verwertungspotential
Für die Materialien, die enthalten sind, besteht eine Nachfrage: Ja, welche Materialien, Nein
- Angabe von Materialzusammensetzung
Falls vorhanden, eine genaue Zusammensetzung angeben, soll die Wahl der Aufbereitungsverfahren unterstützen. Je mehr wertvolle Metalle, desto lukrativer wird die Aufbereitung: Angabe der Materialzusammensetzung
- Angabe von Datenblätter zur Automatisierungskomponente (Gewicht, Abmessungen)
Datenblätter unterstützen die Materialrückgewinnung bezüglich Zusammensetzung der Automatisierungskomponente: vorhanden, nicht vorhanden
- Angabe der Art des Verbundmaterials
Verbundmaterialien stellen den Rückgewinnungsprozess vor Herausforderungen: Angabe des Verbundmaterials

- Angabe von Stückzahlen

Mittels der Stückzahl kann abgeschätzt werden, wieviele Materialien sich von einem Stoff gewinnen lassen: Zahl

3.4.5 Verwertbarkeit

Die Gestalt wird bei der Verwertung aufgelöst. Das Ziel ist es, die in der Automatisierungskomponente enthaltenen Werkstoffe zurückzugewinnen [15].

Angabe relevanter Informationen für die Systemrückgewinnung:

- Angabe von Verwertbarkeit

Ist für die Systemrückgewinnung irrelevant

Angaben relevanter Informationen für die Materialrückgewinnung:

- Angabe der Stoffe, die entnommen und separat behandelt werden müssen

Sind Störstoffe, Betriebsstoffe vorhanden, die separat behandelt werden müssen: Angabe der Stoffe, keine.

- Angabe des bevorzugten Verwertungsverfahrens

Welches Verwertungsverfahren kann zur Verwertung eingesetzt werden: Angabe des Verwertungsverfahrens

- Angabe von Datenblättern

Mittels Datenblättern kann die Automatisierungskomponente besser für die Verwertung beurteilt werden z.B. Gesamtgewicht, Abmessungen: Angabe aller bekannten Informationen

Da für die drei, vom Betreuer genannten Beispiele für Automatisierungskomponenten (SPS, Elektromotor, Industrieroboter) keine explizierten Normen und Richtlinien gefunden wurden, wurde die Kontrollliste für Automatisierungskomponenten allgemein entwickelt. Diese wird im nachfolgenden Kapitel nun auf die drei Beispiele angewandt und auf ihre Eignung geprüft.

4 Anwendung der identifizierten Informationen zur Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten

Die mit dem Betreuer abgestimmten Beispiele, SPS, Elektromotor und Industrieroboter, werden in diesem Kapitel analysiert und mit dem gewonnenen Wissen wird jeweils die Kontrollliste ausgefüllt. Es findet sowohl Material- als auch Systemrückgewinnung Betrachtung. Das heißt, es werden vom Standpunkt des Entscheidungsträgers die Informationen gesammelt und in die Kontrollliste eingetragen. Anschließend kann der Entscheidungsträger abwägen, welche Rückgewinnung für jedes der Beispiele vorzuziehen ist. Diese Bewertung wird in diese Arbeit nicht stattfinden.

Beim Ausfüllen der Tabellen wurde auf Wissen zurückgegriffen, das in Gesprächen mit den Betreuern sowie beim Bearbeiten der Aufgabenaufstellung gewonnen wurde. Die Beispiele sind typische Automatisierungskomponenten, wie sie in Fertigungssystemen der Automobilindustrie zu finden sind, siehe Abbildung 5.

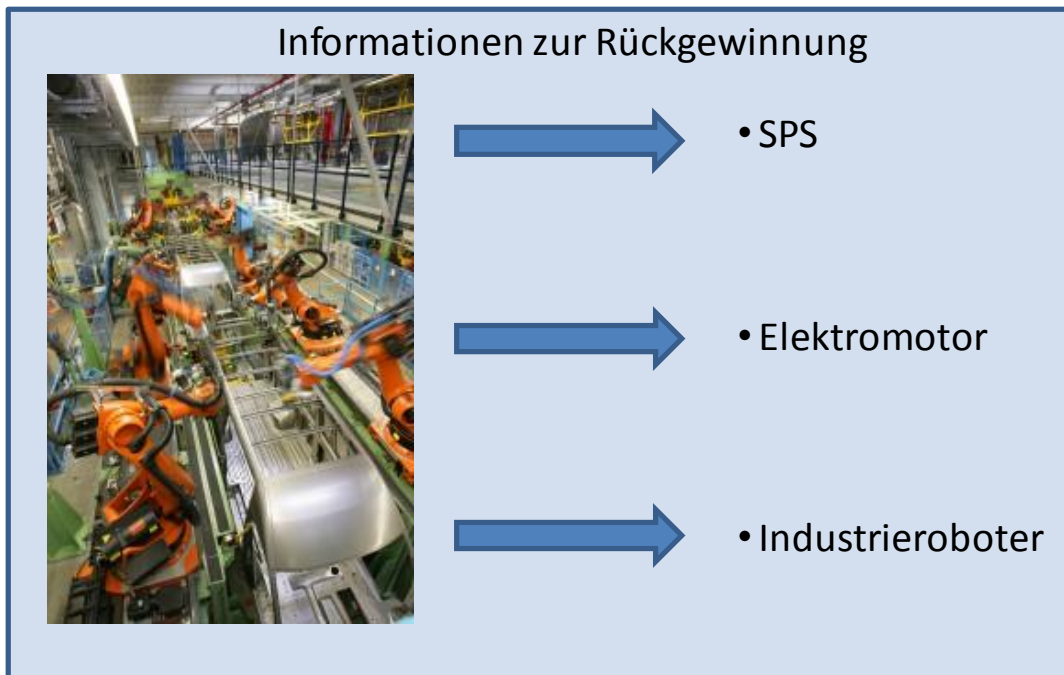


Abbildung 5: Automatisierungskomponenten Rückgewinnung [34]

4.1 Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)

Eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) ist eine zusammengestellte Gerätekonfiguration, die zur Steuerung oder Regelung einer Maschine oder Anlage eingesetzt wird (siehe Abbildung 6). SPS können modular oder kompakt aufgebaut und können unter einander verbunden sein [35]. SPS werden auf der Hutschiene durch draufstecken montiert und in Schaltschränken eingebaut. Zur Stromversorgung sind diese an ein Netzteil angeschlossen. Je nach Anwendungsfall können diese in großer Anzahl auftreten.



Abbildung 6: SPS auf Hutschiene [36]

In Tabelle 3 wird die Kontrollliste für die SPS ausgefüllt.

Tabelle 3: Anwendung der identifizierten Informationen zur Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten am Beispiel SPS

Klassen	Rückgewinnungsziel SPS	
	Material	Komponente
Funktionsfähigkeit	- <u>Angabe von Funktionsfähigkeit</u> : irrelevant	- <u>Angabe des Zustandes</u> : keine optischen Schäden. Einsatzbereit. (Angenommen). - <u>Angabe der Betriebsdauer</u> : 5200 Stunden (Angenommen). - <u>Angabe der Reparaturmöglichkeit, bei nicht Funktionsfähigkeit</u> : Möglich-

Anwendung der identifizierten Informationen zur Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten

Klassen	Rückgewinnungsziel SPS	
	Material	Komponente
		<p>keiten. zur Prüfung und Funktionsherstellung vorhanden.</p> <p>- <u>Angabe von Aufarbeitungspotential</u>: Funktionserweiterung durch Zusatzmodule möglich.</p>
Demon- tagefä- higkeit	<p>- <u>Angabe von wertvollen Metallen, die gesondert Demontiert müssen</u>: z.B. Leiterplatten enthalten vergoldete Kontakte und Steckleisten, sowie Kuper.</p> <p>- <u>Angabe von zu erwartender Menge</u>: Ermittlung der Angabe im Rahmen der Bachelorarbeit nicht möglich.</p> <p>- <u>Angabe von Betriebsstoffen</u>: keine.</p> <p>- <u>Angabe von Verbundmaterialien</u>: keine.</p> <p>- <u>Angabe benötigter Werkzeuge bzw. Sonderwerkzeuge</u>: z.B. Leiterplatte mit Schraubendreher entfernen.</p> <p>- <u>Angabe der Verbindungstechnik</u>: z.B. die Leiterplatte ist verschraubt.</p>	<p>- <u>Angabe der Verbindungsart (Verschraubung, Nieten, geklebt, gepresst, verschießt, gesteckt)</u>: Steckverbindung auf Hutschiene und Kabel.</p> <p>- <u>Angabe von verwendeten Betriebsstoffen</u>: irrelevant.</p> <p>- <u>Angabe von Demontagehinweisen (Demontagepläne)</u>: Durch Verwendung standardisierter Schnittstellen, sind diese bekannt.</p> <p>- <u>Angabe von Zerstörungsgrad bei Demontearbeiten</u>: keine Zerstörung.</p> <p>- <u>Angabe der benötigten Werkzeuge, Sonderwerkzeuge</u>: einfaches Demontagewerkzeug, keine Sonderwerkzeuge.</p> <p>- <u>Angabe von Stückzahlen</u>: 3 SPS pro Automatisierungszelle. (Angenommen)</p>
Gefährliche Stoffe	<p>- <u>Angabe von Betriebsstoffen</u>: keine.</p> <p>- <u>Angabe ob Schadstoffe zu erwarten sind (Quecksilber, bromierte Kunststoffe)</u>: keine</p> <p>- <u>Angabe von Stoffen die ent-</u></p>	<p>- <u>Angabe von Betriebsstoffen</u>: keine</p> <p>- <u>Angabe ob Schadstoffe zu erwarten sind (Quecksilber, bromierte Kunststoffe)</u>: Die SPS enthält keine Schadstoffe (Angenommen dass kein Display vorhanden ist).</p>

Anwendung der identifizierten Informationen zur Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten

Klassen	Rückgewinnungsziel SPS	
	Material	Komponente
	<u>nommen und separat behandelt werden müssen</u> : keine.	- <u>Angabe von Stoffen die entnommen und separat behandelt werden müssen</u> : keine.
Marktfähigkeit	<p>- <u>Angabe von Verwertungspotential (Nachfrage)</u>: Nachfrage an Metallen, nicht Eisenmetallen und seltenen Erden vorhanden, sowie Kunststofffraktion.</p> <p>- <u>Angabe von Materialzusammensetzung</u>: Ist von SPS zu SPS unterschiedlich, vorherrschend Kunststoff, Anteile von Gold, Silber, Kupfer.</p> <p>- <u>Angabe von Datenblätter zur Automatisierungskomponente (Gewicht, Abmessungen)</u>: vorhanden.</p> <p>- <u>Angabe der Art des Verbundmaterials</u>: keine.</p> <p>- <u>Angabe von Stückzahlen</u>: 80 (angenommen)</p>	<p>- <u>Angabe von Wiederverwertungspotential (Nachfrage)</u>: vorhanden, wird auf bekannten Handelsplattformen gehandelt.</p> <p>- <u>Angabe von Datenblätter zum Produkt (Hersteller, Modell, Gewicht, Abmessungen; Materialien, Baujahr)</u>: vorhanden.</p> <p>- <u>Angabe von enthaltene Komponenten</u>: z.B. Netzteil, I/O-Scheiben, Anschlusskabel.</p> <p>- <u>Angabe von Stückzahlen</u>: 80 (angenommen).</p> <p>- <u>Angabe von Zustand (Gebrauchsspuren)</u>: gebraucht.</p>
Verwertbarkeit	<p>- <u>Angabe der Stoffe, die entnommen und separat Behandelt werden müssen (Störstoffe, Betriebsstoffe)</u>: keine</p> <p>- <u>Angabe des bevorzugten Verwertungsverfahren</u>: Shreddern nach Demontage der z.B. Leiterplatten.</p> <p>- <u>Angabe von Datenblätter (Gesamtgewicht, Abmessungen)</u>: vorhanden.</p>	- <u>Angabe von Verwertbarkeit</u> : irrelevant.

4.2 Elektromotor

Ein Elektromotor (siehe Abbildung 7) bezeichnet eine Maschine, die elektrische Energie in mechanische Bewegungsenergie umgesetzt und zum Antrieb verschiedener Arbeitsmaschinen eingesetzt werden kann. Am Industrieroboter kommen sie an jeder Achse vor – Sie sind für die Bewegung der Achsen verantwortlich. [37]



Abbildung 7: Elektromotor [38]

In Tabelle 4 wird die Kontrollliste für den Elektromotor ausgefüllt.

Tabelle 4: Anwendung der identifizierten Informationen zur Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten am Beispiel Elektromotor

Klassen	Rückgewinnungsziel Elektromotor	
	Material	Komponente
Funktionsfähigkeit	- <u>Angabe von Funktionsfähigkeit</u> : irrelevant für die Materialrückgewinnung	- <u>Angabe des Zustandes</u> : keine optischen Schäden, gebrauchsspuren. Einsatzbereit. (Angenommen). - <u>Angabe der Betriebsdauer</u> : 1000 Stunden (Angenommen). - <u>Angabe der Reparaturmöglichkeit, bei nicht Funktionsfähigkeit</u> : Möglichkeiten. zur Prüfung und Funktionsherstellung vorhanden. - <u>Angabe von Aufarbeitungspotential</u> : Aufarbeitung möglich durch Tausch von defekten Teilen möglich. z.B. Lockerer Stromanschluss

Anwendung der identifizierten Informationen zur Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten

Klassen	Rückgewinnungsziel Elektromotor	
	Material	Komponente
Demon- tagefä- higkeit	<p>- <u>Angabe von wertvollen Metallen, die gesondert Demontiert müssen</u>: z.B. die verbauten Magnete, enthalten seltene Erden.</p> <p>- <u>Angabe von zu erwartender Menge</u>: Ermittlung der Angabe im Rahmen der Bachelorarbeit nicht möglich.</p> <p>- <u>Angabe von Betriebsstoffen</u>: keine.</p> <p>- <u>Angabe von Verbundmaterialien</u>: keine.</p> <p>- <u>Angabe benötigter Werkzeuge bzw. Sonderwerkzeuge</u>: z.B. Lösen der Magnete mit Schwerwerkzeugen, maschinelle Unterstützung (automatisierter Ausbau).</p> <p>- <u>Angabe der Verbindungstechnik</u>: z.B. die Magnete sind zusätzlich verklebt.</p>	<p>- <u>Angabe der Verbindungsart (Verschraubung, Nieten, geklebt, gepresst, verscheißt, gesteckt)</u>: verschraubt und gesteckte Kabelverbindungen.</p> <p>- <u>Angabe von verwendeten Betriebsstoffen</u>: Schmierstoffe</p> <p>- <u>Angabe von Demontagehinweisen (Demontagepläne)</u>: Vorhanden, z.B. es ist bekannt wo die Schraubverbindungen zu lösen sind.</p> <p>- <u>Angabe von Zerstörungsgrad bei Demontearbeiten</u>: wenn möglich keine Zerstörung der Verbindung.</p> <p>- <u>Angabe der benötigten Werkzeuge, Sonderwerkzeuge</u>: einfaches Demontagewerkzeug, Sonderwerkzeuge je nach Lage, z.B. Portalplattformen.</p> <p>- <u>Angabe von Stückzahlen</u>: variiert, z.B. pro Industrierobotern 3-10, pro Automatisierungszelle, 6 (Angenommen)</p>
Gefährliche Stoffe	<p>- <u>Angabe von Betriebsstoffen</u>: keine.</p> <p>- <u>Angabe ob Schadstoffe zu erwarten sind (Quecksilber, bromierte Kunststoffe)</u>: keine.</p> <p>- <u>Angabe von Stoffen die entnommen und separat behandelt werden müssen</u>: keine.</p>	<p>- <u>Angabe von Betriebsstoffen</u>: keine</p> <p>- <u>Angabe ob Schadstoffe zu erwarten sind (Quecksilber, bromierte Kunststoffe)</u>: keine Schadstoffe</p> <p>- <u>Angabe von Stoffen die entnommen und separat behandelt werden müssen</u>: keine.</p>
Marktfähigkeit	<p>- <u>Angabe von Verwertungspotential (Nachfrage)</u>: Nachfrage</p>	<p>- <u>Angabe von Wiederverwertungspotential (Nachfrage)</u>: vorhanden. (wird</p>

Anwendung der identifizierten Informationen zur Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten

Klassen	Rückgewinnungsziel Elektromotor	
	Material	Komponente
	<p>an Metallen (z.B. aus dem Gehäuse, nicht Eisenmetallen (z.B. Kupferspulen) und seltenen Erden (z.B. Magnete) vorhanden.</p> <p><u>- Angabe von Materialzusammensetzung:</u> vorherrschend Metallverbindungen, Anteile von Aluminium, Stahl, Eisen, Kupfer, wenig Kunststoff.</p> <p><u>- Angabe von Datenblätter zur Automatisierungskomponente (Gewicht, Abmessungen):</u> vorhanden.</p> <p><u>- Angabe der Art des Verbundmaterials:</u> keine.</p> <p><u>- Angabe von Stückzahlen:</u> 6 pro Industrieroboter (angenommen)</p>	<p>auf bekannten Handelsplattformen gehandelt, je nach Typ Preislich unterschiedlich)</p> <p><u>- Angabe von Datenblätter zum Produkt (Hersteller, Modell, Gewicht, Abmessungen; Materialien, Baujahr):</u> vorhanden. (z.B. Herstellerinformationen zum Gerät auf dem Gerät)</p> <p><u>- Angabe von enthaltene Komponenten:</u> z.B. Gehäuse mit Anschlusskasten, Motorwelle mit Magneten, Spulen, Sensortechnik (Lagegeber)</p> <p><u>- Angabe von Stückzahlen:</u> 6 pro Industrieroboter (angenommen).</p> <p><u>- Angabe von Zustand (Gebrauchsspuren) :</u> gebraucht, (z.B. verstaubt, je nach Standort äußerliche Verunreinigungen)</p>
Verwertbarkeit	<p><u>- Angabe der Stoffe, die entnommen und separat Behandelt werden müssen (Störstoffe, Betriebsstoffe):</u> keine</p> <p><u>- Angabe des bevorzugten Verwertungsverfahren:</u> Shreddern nach Demontage der z.B. Magnete.</p> <p><u>- Angabe von Datenblätter (Gesamtgewicht, Abmessungen):</u> vorhanden.</p>	<p><u>- Angabe von Verwertbarkeit:</u> irrelevant.</p>

4.3 Industrieroboter

Ein Industrieroboter (siehe Abbildung 8) ist eine programmierbare Maschine mit mehreren Achsen zur Handhabung, Montage oder Bearbeitung von Werkstücken. Industrieroboter führen Arbeitsabläufe autonom aus. Diese Roboter sind für den Einsatz im industriellen Umfeld konzipiert (z.B. Automobilfertigung). Der Industrieroboter besteht im Allgemeinen aus Roboterarm, der Steuerung und einem Werkzeug [39]. Roboter nehmen dem Menschen die gefährlichen, monotonen und sich ständig wiederholende Arbeiten ab.



Abbildung 8: Industrieroboter [40]

In Tabelle 5 wird die Kontrollliste für den Industrieroboter ausgefüllt.

Tabelle 5: Anwendung der identifizierten Informationen zur Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten am Beispiel Industrieroboter

Klassen	Rückgewinnungsziel Industrieroboter	
	Material	Funktionsgruppe
Funktionsfähigkeit	- <u>Angabe von Funktionsfähigkeit</u> : irrelevant	- <u>Angabe des Zustandes</u> : keine optischen Schäden. leichte Abnutzungspuren. Einsatzbereit (Angenommen). - <u>Angabe der Betriebsdauer</u> : 1000 Stunden (Angenommen). - <u>Angabe der Reparaturmöglichkeit</u> , <u>bei nicht Funktionsfähigkeit</u> : Möglich-

Anwendung der identifizierten Informationen zur Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten

Klassen	Rückgewinnungsziel Industrieroboter	
	Material	Funktionsgruppe
		<p>keiten. zur Prüfung und Funktionsherstellung vorhanden. (z.B. Tausch der Kabelsätze)</p> <p><u>- Angabe von Aufarbeitungspotential:</u> Funktionserweiterung durch andere Werkzeuge möglich.</p>
Demon- tagefä- higkeit	<p><u>- Angabe von wertvollen Metallen, die gesondert Demontiert müssen:</u> z.B. die Elektromotoren (seltene Erden), der Schaltschrank (Leiterplatte) muss gesondert Demontiert werden, Kabelsatz (Kupfer).</p> <p><u>- Angabe von zu erwartender Menge:</u> z.B. von Aluminium und Gusseisen. (Ermittlung der Angabe im Rahmen der Bachelorarbeit nicht möglich)</p> <p><u>- Angabe von Betriebsstoffen:</u> keine.</p> <p><u>- Angabe von Verbundmaterialien:</u> keine.</p> <p><u>- Angabe benötigter Werkzeuge bzw. Sonderwerkzeuge:</u> z.B. Elektromotoren mit Schraubendrehe entfernen, Kabelsatz mit Schneidzange kappen.</p> <p><u>- Angabe der Verbindungstechnik:</u> z.B. Elektromotor ist verschraubt.</p>	<p><u>- Angabe der Verbindungsart (Verschraubung, Nieten, geklebt, gepresst, verscheißt, gesteckt):</u> z.B. stehend auf Bodenplatte, verschraubt, 12 Schrauben (angenommen). Geklebte Verbindungen z.B. Halterungen für Kabel. z.B.</p> <p><u>- Angabe von verwendeten Betriebsstoffen:</u> Keine Betriebsstoffe (Je nach Einsatzgebiet, Kabelverbindungen und Leitungen für Luft, Wasser, Gas. z.B. Schweißroboter, Helium oder Stickstoff Betriebsstoffe)</p> <p><u>- Angabe von Demontagehinweisen (Demontagepläne):</u> vorhanden, durch Fachpersonal durchzuführen (Gewicht kann bis > 4.000kg pro Industrieroboter überschreiten).</p> <p><u>- Angabe von Zerstörungsgrad bei Demontagearbeiten:</u> keine Zerstörung.</p> <p><u>- Angabe der benötigten Werkzeuge, Sonderwerkzeuge:</u> größeres Demontagewerkzeug für größere Industrieroboter, Sonderwerkzeuge zum Transport (z.B. Schwerlastenkran).</p>

Anwendung der identifizierten Informationen zur Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten

Klassen	Rückgewinnungsziel Industrieroboter	
	Material	Funktionsgruppe
		- <u>Angabe von Stückzahlen</u> : 10 (Angenommen)
Gefährliche Stoffe	<p>- <u>Angabe von Betriebsstoffen</u>: keine.</p> <p>- <u>Angabe ob Schadstoffe zu erwarten sind (Quecksilber, bromierte Kunststoffe)</u>: keine (Angenommen dass kein Display vorhanden ist).</p> <p>- <u>Angabe von Stoffen die entnommen und separat behandelt werden müssen</u>: keine.</p>	<p>- <u>Angabe von Betriebsstoffen</u>: keine</p> <p>- <u>Angabe ob Schadstoffe zu erwarten sind (Quecksilber, bromierte Kunststoffe)</u>: keine</p> <p>- <u>Angabe von Stoffen die entnommen und separat behandelt werden müssen</u>: keine</p>
Marktfähigkeit	<p>- <u>Angabe von Verwertungspotential (Nachfrage)</u>: Nachfrage an Metallen, nicht Eisenmetallen und seltenen Erden vorhanden.</p> <p>- <u>Angabe von Materialzusammensetzung</u>: z.B. Stahl, Aluminium, Kupfer</p> <p>- <u>Angabe von Datenblätter zur Automatisierungskomponente (Gewicht, Abmessungen)</u>: vorhanden.</p> <p>- <u>Angabe der Art des Verbundmaterials</u>: keine.</p> <p>- <u>Angabe von Stückzahlen</u>: 10 (angenommen)</p>	<p>- <u>Angabe von Wiederverwertungspotential (Nachfrage)</u>: vorhanden (wird auf bekannten Handelsplattformen gehandelt),</p> <p>- <u>Angabe von Datenblätter zum Produkt (Hersteller, Modell, Gewicht, Abmessungen; Materialien, Baujahr)</u>: vorhanden.</p> <p>- <u>Angabe von enthaltene Komponenten</u>: z.B. Elektromotoren, Steuerungsschrank + Touchpanel und Kabelsatz, Effektor.</p> <p>- <u>Angabe von Stückzahlen</u>: 10 (angenommen).</p> <p>- <u>Angabe von Zustand (Gebrauchspuren)</u>: gebraucht.</p>
Verwertbarkeit	- <u>Angabe der Stoffe, die entnommen und separat Behandelt werden müssen (Störstoffe, Betriebsstoffe)</u> : keine	- <u>Angabe von Verwertbarkeit</u> : irrelevant.

Anwendung der identifizierten Informationen zur Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten

Klassen	Rückgewinnungsziel Industrieroboter	
	Material	Funktionsgruppe
	<p>- <u>Angabe des bevorzugten Verwertungsverfahren</u>: Shreddern nach Demontage der z.B. Elektromotoren, Kabelsätze.</p> <p>- <u>Angabe von Datenblätter (Gesamtgewicht, Abmessungen)</u>: vorhanden.</p>	

Im nächsten Kapitel wird knapp das wirtschaftliche Potential abgeschätzt, dass eine Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten mit sich bringt.

5 Bewertung des wirtschaftlichen Potentials von Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten

Produzierende Unternehmen verfolgen mehrheitlich wirtschaftliche Ziele. Aus diesem Grund werden in diesem Kapitel die wirtschaftlichen Potentiale der Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten beleuchtet.

Gebrauchte Automatisierungskomponenten können wiederverwendet werden. Sei es, um die gebrauchten, funktionsfähigen Automatisierungskomponenten erneut zu vermarkten oder selbst wieder einzusetzen. Es stellt sich aber die Frage, ob sich Automatisierungskomponenten aus Fertigungssystemen der Automobilindustrie für eine fortgesetzte Nutzung eignen.

Die Märkte für die Wiederverwendung oder Weiterverwendung sind zum Teil vorhanden. Es lassen sich auf den gängigen Handelsplattformen gebrauchte Automatisierungskomponenten finden, die zum Verkauf angeboten werden.

In der Nachnutzungsphase stehen Entscheidungsträger vor der Wahl, welchen Rückgewinnungsprozess für Automatisierungskomponenten die wirtschaftlichste ist. Dazu wird das Modell der Komponentenkreislaufeinigung aus der VDI 2243 [8] herangezogen und entsprechend angepasst. Dazu werden jeweils lediglich die Kosten der Rückgewinnung den Kosten der Neuanschaffung addiert mit den Kosten der Beseitigung sowie eventuellen Materialerlösen gegenübergestellt bzw. in's Verhältnis gesetzt. Das wird nachfolgend exemplarisch durchgeführt.

Für die Komponentenkreislaufeinigung KE_K ergibt sich damit Gleichung (1):

- Gleichung: $KE_K = \frac{\text{Kosten Neuteil} + \text{Beseitigungskosten} + \text{Materialerlöse [€]}}{\text{Aufarbeitungs/Demontage/Logistikkosten Altteil [€]}} \quad (1)$

Mit der Komponentenkreislaufeinigung (KE_K) kann eine Abschätzung getroffen werden, ob für eine Automatisierungskomponente oder ihre Teile eine Aufarbeitung und damit erneute Verwendung wirtschaftlich sinnvoll ist. KE_K beschreibt das Verhältnis von Kosten der neuen Automatisierungskomponente addiert mit den Beseitigungskosten der vorhandenen Automatisierungskomponente zu den Aufarbeitungskosten

Bewertung des wirtschaftlichen Potentials von Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten

der vorhandenen Automatisierungskomponente. Ist KE_K größer 1, dann ist die Komponente kreislaufgeeignet und wirtschaftlich wiederverwendbar.

Für Gleichung (1) ließen sich Neupreise von Automatisierungskomponenten ermitteln. Die Preise stammen von den fachlichen Betreuern dieser Arbeit mit dem Stand vom Februar 2017.

$$KE_K = \frac{\text{Kleinsteuerung (Neu) + Beseitigungskosten + Metallerlöse [€]}}{\text{Aufarbeitungs/Demontage/Logistikkosten Altteil [€]}}$$

Beispiel: Kleinsteuerung (SPS)

Aufarbeitung (Reinigung, Prüfung)		= - 5,11 €
Demontageschritte mit Kosten	6 Schrauben lösen	= - 0,37 €
	2 Stecker abstecken	= - 0,05 €
	1 Teil entnehmen	= - 0,12 €
Logistik (Registrierung, Transport) mit Kosten		= - 0,51 €
Kosten Neuteil		= - 500,00 €
Beseitigung (Metallerlös)		= - 3,50 €

$$KE_K = \frac{(-500,00) + 3,50}{(-0,37) + (-0,05) + (-0,12) + (-5,11) + (-0,51)} \frac{[€]}{[€]}$$

$$KE_K = \frac{(-500,00) + 3,50}{(-0,37) + (-0,05) + (-0,12) + (-5,11) + (-0,51)} \frac{[€]}{[€]}$$

$$KE_K = 80,60$$

Das Ergebnis KE_K ist größer 1 und somit ist es wirtschaftlich sinnvoll aufzuarbeiten und erneut zu verwenden. Als Faustformel lässt sich hier bereits erkennen, dass in der Anschaffung hochpreisiger Automatisierungskomponenten, im Vorfeld, immer eine erneute Verwendungsmöglichkeit, sprich Systemrückgewinnung, analysiert werden sollte. Bei Schrauben oder kleineren Teilen ist davon auszugehen, dass die Neubeschaffung ökonomischer ist.

Bewertung des wirtschaftlichen Potentials von Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten

Exemplarisch werden hier die Neupreise der Beispielautomatisierungskomponenten genannt:

Kleinsteuerung (SPS)	: 500-1000 Euro
Normale SPS	: 1500-2000 Euro
Große SPS	: > 8000 Euro
Elektromotoren	: > 500 Euro
Industrieroboter	: > 50.000 - 250.000 Euro

Als Fazit kann gesagt werden, dass eine Erweiterung der Betrachtungsweise angebracht ist. Die Betrachtung der Komponentenkreislaufefizienz ist nicht ausreichend. Die Beschaffung der Informationen, die die Auswahl des Rückgewinnungsprozess unterstützen sollen, müssen zusätzlich berücksichtigt werden (siehe Abbildung 9). Denn die Informationsbeschaffung kostet Geld, da anzunehmen ist, dass die Informationsbeschaffung sehr zeitintensiv ist.

Um diese Informationsbeschaffung zukünftig zu erleichtern, könnten die Informationen der Kontrollliste in einem Dokument stehen.

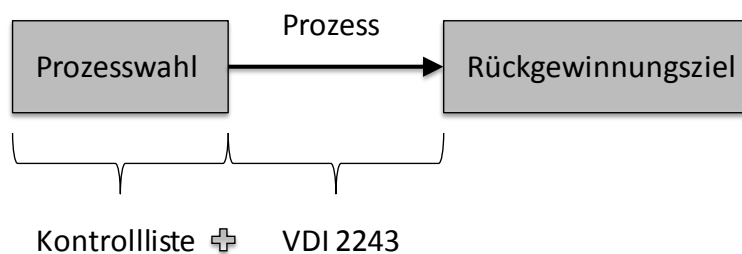


Abbildung 9: Darstellung der Informationsquellen zur Prozessauswahl für Rückgewinnungsziele

Neben der wirtschaftlichen Betrachtung sollten auch ökologische Auswirkungen der Prozesse betrachtet werden [41]. Neben der Qualität der rückgewonnenen Automatisierungskomponenten sollte sichergestellt werden, ob im Vergleich zum Einsatz von Neuteilen, die Umwelt tatsächlich weniger belastet wird und die Rückgewinnung auch wirtschaftlich durchführbar ist.

6 Fazit und Ausblick

Der Forschungsschwerpunkt dieser Arbeit lag darin, herauszufinden, ob es Informationen gibt, die die Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten unterstützen können. Mit der Betrachtung aus dem Blickwinkel der Kreislaufwirtschaft, Abfall zu vermeiden, wurde die Fragestellung angegangen. Es wurde das nötige Grundwissen für die Arbeit erarbeitet, von „Was ist eine Fabrik“ und was kann in einer Fabrik rückgewonnen werden über Rückgewinnungsformen bis hin zu den relevanten Informationen zum Gelingen der Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten. Gemäß Kreislaufwirtschaft gilt hierbei Verwenden über Verwerten über Beseitigen. Die Rechtsgrundlage in diesen Bereich stellte sich als eher schwammig heraus. Es gab keine klaren und konkreten Informationen in der Gesetzgebung zur Rückgewinnung in diesem speziellen Untersuchungsrahmen dieser Arbeit. Es wurde nach vergleichbaren Texten gesucht, die relevante Informationen liefern konnten. Schließlich wurden in einer Reihe von Normen und Richtlinien teilweise anwendbare Informationen gefunden. Diese hatten zwar nicht direkt Produktionssysteme im Fokus, sondern Produkte. Die Informationen aus den Normen und Richtlinien ließen sich jedoch auf die Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten übertragen. Auf den in dieser Arbeit identifizierten Informationen wird keine Vollständigkeit erhoben. Je nach Blickwinkel ändern sich die Ausprägungen der Informationen. Dies wurde bereits bei den Fallbeispielen deutlich. Es wurde mit dieser Arbeit erreicht, eine Art Kontrollliste zur Arbeitserleichterung zu liefern, die helfen soll, schneller notwendige Informationen zu erlangen, die den Entscheidungsprozess zur Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten unterstützen kann. Neben dem wurde eine wirtschaftliche Betrachtung der Rückgewinnung durchgeführt. Das Ergebnis war, dass die Komponentenrückgewinnung in einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nach der VDI 2243 nicht ausreichend ist. Diese sollte den Aufwand der Informationsbeschaffung, um die in der Arbeit vorgeschlagene Kontrollliste auszufüllen, erweitert werden. Welche Kosten die Informationsbeschaffung jedoch verursacht, ist anwendungsfallabhängig zu bestimmen und wurde in dieser Arbeit nicht betrachtet. Es ist allerdings anzunehmen, dass je einfacher und schneller die Informationen zu beschaffen sind, weniger Kosten verursacht werden.

Diesen Punkt in Zukunft näher zu betrachten, kann die Denkweise dahingehend ändern, dass Informationen in unserer schnelllebigen und immer weiter automatisierten

Gesellschaft eine verstärkte Rolle spielen werden - Und dadurch die Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten den ständig wachsenden Bedarf an Rohstoffen entgegenwirken kann. Es ist denkbar, dass das Ausfüllen der Kontrollliste zukünftig automatisiert geschehen kann.

7 Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es, die Unsicherheiten zu reduzieren, die in der Nachnutzungsphase bei der Wahl des geeignetsten Rückgewinnungsprozesses für die Automatisierungskomponenten anzutreffen sind. Dazu wurden relevante Informationen zur Rückgewinnung von Automatisierungskomponenten zusammengetragen und als eine Art Kontrollliste aufbereitet, sodass diese den Entscheidungsträgern als Unterstützung dienen kann. Damit ist die Grundlage geschaffen, eine quantitative Bewertung der Auswahloptionen zu ermöglichen.

Nach einer kurzen Einleitung wurde in Kapitel 2 die Arbeit in den Fabriklebenszyklus eingeordnet, relevante Definitionen zum Verständnis gegeben sowie die Begrifflichkeiten für diese Arbeit festgelegt.

In Kapitel 3 wurden zunächst Quellen gesucht, aus denen sich Informationen relevant für den Rückgewinnungsprozess von Automatisierungskomponenten extrahieren ließen. Diese wurden im Anschluss in Informationsklassen sortiert und als Tabelle dargestellt. Diese Tabelle betrachtet sowohl Informationen relevant für die Materialrückgewinnung als auch für die Systemrückgewinnung und kann damit als Kontrollliste für Entscheidungsträger genutzt werden.

In Kapitel 4 wurde diese Kontrollliste exemplarisch an drei Beispielen für Automatisierungskomponenten angewandt.

Kapitel 5 beschäftigte sich abschließend knapp mit einer Bewertung und Quantifizierung des wirtschaftlichen Potentials rückgewonnener Automatisierungskomponenten. Mit einem Fazit und Ausblick in Kapitel 6 endet die Arbeit.

Quellenverzeichnis

- [1] Nicole Schmidt, Arndt Lüder; Development of a generic model for End-of-Life scenarios of production systems; 2016
- [2] Klaus Erlach; Wertstromdesign: Der Weg zur schlanken Fabrik (VDI-Buch); Springer Verlag; 2. Auflage; 2010
- [3] Roland Jochem (Hrsg.), Martin Menrath (Hrsg.); Globales Qualitätsmanagement: Basis für eine erfolgreiche internationale Unternehmensführung; Symposium Publishing; 2015
- [4] Egon Müller, Jörg Engelmann, Thomas Löffler, Strauch Jörg; Energieeffiziente Fabriken planen und betreiben; Springer; 2009
- [5] Michael Schenk, Siegfried Wirth, Egon Müller; Fabrikplanung und Fabrikbetrieb: Methoden für die wandlungsfähige, vernetzte und ressourceneffiziente Fabrik (VDI-Buch); Springer Vieweg Verlag; Auflage: 2; 2013
- [6] VDI 5200 Blatt 1 Entwurf; Fabrikplanung Planungsvorgehen; Beuth Verlag; 2009.
- [7] Engelbert Westkämper (Hrsg.), Dieter Spath (Hrsg.), Carmen Constantinescu (Hrsg.), Joachim Lentes (Hrsg.); Digitale Produktion; Springer Verlag; 2013
- [8] VDI 2243: Recyclingorientierte Produktentwicklung. Juli 2002. Berlin: Beuth Verlag
- [9] Herbert A. Henzler (Hrsg.); Handbuch Strategische Führung; Gabler Verlag; 1988
- [10] Jacek Zawisza, Kristofer Hell, Hannes Röpke, Arndt Lüder, Nicole Schmidt; Generische Strukturierung von Produktionssystemen in der Fertigungsindustrie; Kongress: Automation 2016, 07. und 08. Juni 2016, Baden-Baden
- [11] Helmut Reinhardt; Automatisierungstechnik: "Theoretische Und Gerätetechnische Grundlagen, Sps"; Springer Verlag; 1996
- [12] VDI 2343: Blatt 1, Recycling elektrischer und elektronischer Geräte Grundlagen und Begriffe. Mai 2001. Berlin: Beuth Verlag
- [13] Dissertation, Methoden und Werkzeuge zur recyclinggerechten Automobilentwicklung. Universität Kaiserslautern. Von Dipl. –Ing. Klaus Ruhland. Januar 2006
- [14] VDI-Richtlinie VDI 4084 Entwurf: Aufgearbeiteter Motor. April 2013. Berlin: Beuth Verlag

- [15] Klaus Ruhland; Methoden und Werkzeuge zur recyclinggerechten Automobilentwicklung. Universität Kaiserslautern. Dissertation. Januar 2006
- [16] Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG) vom 24.02.2012. BGBl. I S. 2071
- [17] Alexander von Zitzewitz; Recyclingprozesse von Fahrzeug- Kabelsträngen im Vergleich unter besonderer Berücksichtigung des Kupferanteils; Diplomarbeiten Agentur diplom.de Verlag; 2002
- [18] Karl-Heinrich Grote (Hrsg.), Jörg Feldhusen (Hrsg); Dubbel: Taschenbuch für den Maschinenbau; Kindle Edition; Auflage 24; 2014
- [19] VDI 2243: Blatt 3, Recycling elektrischer und elektronischer Geräte Demontage. April 2009. Berlin: Beuth Verlag
- [20] Hans Martens; Recyclingtechnik. Fachbuch für Lehre und Praxis Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg 2011
- [21] Heinz Brauer (Hrsg.); Handbuch des Umweltschutzes und der Umweltschutztechnik: Band 2: Produktions- und produktintegrierter Umweltschutz; Springer Verlag; 1996
- [22] Lexikon der Nachhaltigkeit; Recycling und Wiederverwertung. https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/recycling_und_wiederverwertung_1656.htm, letzter Zugriff: 09.02.2017
- [23] Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (Elektro- und Elektronikgerätegesetz – ElektroG) 20.10.2015 Zuletzt geändert durch Art. 3V v. 20.10.2015 | 1739
- [24] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG)
- [25] Umweltbundesamt, <http://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaftskonsum/beste-verfuegbare-techniken>, letzter Zugriff: 21.0.2.2017
- [26] Richtlinie 2012/19/EU des europäischen Parlaments und des Rates; vom 4. Juli 2012; über Elektro- und Elektronik-Altgeräte
- [27] VDI 2243: Blatt 7, Recycling elektrischer und elektronischer Geräte Re-use. Berlin: Beuth Verlag, Dezember 2014.
- [28] Kreislaufwirtschaft für produzierende Unternehmen (Verein Deutscher Ingenieure - VDI 4431) vom Juli 2001

- [29] VDI 2074: Recycling in der Technischen Gebäudeausrüstung. Juli 2014. Berlin: Beuth Verlag
- [30] VDI 2884: Beschaffung, Betrieb und Instandhaltung von Produktionsmitteln unter Anwendung von Life Cycle Costing (LCC). Dezember 2005. Berlin: Beuth Verlag
- [31] PAS 1049: Übermittlung recyclingrelevanter Produktinformationen zwischen Herstellern und Recyclingunternehmen, Der Recyclingpass. Dezember 2004
- [32] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV) Vom 26. November 2010 (BGBl. I S 1643)
- [33] Rainer Friedel (Hrsg.), Edmund A. Spindler (Hrsg.); Zertifizierung als Erfolgsfaktor: Nachhaltiges Wirtschaften mit Vertrauen und Transparenz; Springer Gabler; 2016
- [34] fu-berlin.de <http://userpage.fu-berlin.de/melab/wordpress/?p=5219> , letzter Zugriff 23.02.2017
- [35] Eberhard E. Grötsch; SPS 1 Speicherprogrammierbare Steuerungen als Bausteine verteilter Automatisierung: Einführung und Übersicht; Oldenbourg Wissenschaftsverlag; Auflage: 5., veränd. Neuaufl.; 2004
- [36] Inge Hübner, IO-Module – wichtiger Faktor für das Energiemanagement. etz elektrotechnik & automation, https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/recycling_und_wiederverwertung_1656.htm, letzter Zugriff: 09.02.2017
- [37] Jürgen Hagedorn, Florian Sell-Le Blanc, Jürgen Fleischer; Handbuch der Wickeltechnik für hocheffiziente Spulen und Motoren: Ein Beitrag zur Energieeffizienz; Springer Vieweg; 2016
- [38] Lenze, <http://www.lenze.com/produkte/motoren/servomotoren/> , letzter Zugriff: 09.02.2017
- [39] Wolfgang Gerke; Technische Assistenzsysteme: vom Industrieroboter zum Roboterassistenten; De Gruyter Oldenbourg Verlag; 2014
- [40] Kuka KR 1000 titan https://www.kuka.com/-/media/kuka-corporate/images/products/robots/kr-titan/kr-1000-ti-tan_header.jpg?w=1400&hash=496B48BC7DFD3F93BB8C4E7C0ABC596AC7D27F89 , letzter Zugriff: 09.02.2017
- [41] Werner Nickel; Recycling Handbuch. Strategien – Technologien – Produkte. VDI Verlag GmbH, 1996