

IFRAK – INTEGRIERTE FEHLERRATENANALYSE IN KOMMISSIONIERSYSTEMEN

ERGEBNISSDOKUMENTATION UND LEITFADEN

Christian Fritzsche (Professur Technische Logistik/TU Dresden)

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Methodisches Vorgehen der kontinuierlichen Fehlerprüfung	8
Abbildung 2: Aufbau der Arbeit.....	9
Abbildung 3: Arten von Kommissionierfehlern	13
Abbildung 4: Fehlerentstehung.....	14
Abbildung 5: Modell eines Arbeitssystems nach REFA	15
Abbildung 6: Arbeitssystemmodell nach REFA zur Beschreibung der Kommissionierung	16
Abbildung 7: Fragen zur prinzipiellen Eignung von IFRAK	28
Abbildung 8: Fusionierungsalgorithmen.....	34
Abbildung 9: Beispiel eines Dendrogramms	34
Abbildung 10: Silhouettenplot	37
Abbildung 11: Elbow-Kriterium	38
Abbildung 12: Annahmewahrscheinlichkeitskurve	41
Abbildung 13: Zonen einer Precontrol-Karte	49
Abbildung 14: Ermittlung der Ausgangsfehlerrate	54
Abbildung 15: Ermittlung der Prüfpositionen für ein Cluster	56
Abbildung 16: Bestimmung der Prüfpositionen	56

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Faktoren menschlicher Leistungsvoraussetzungen	18
Tabelle 2: Merkmalskatalog (Auszug)	25
Tabelle 3: Schema zur Klassifizierung (Beispiel)	26
Tabelle 4: Fehlerbeeinflussende Eigenschaften zur Aufwandsabschätzung.....	29
Tabelle 5: Beispiel einer Rohdatenmatrix.....	30
Tabelle 6: Beispiel einer Distanzmatrix, Variable Artikelgewicht	31
Tabelle 7: Beispiel einer Ähnlichkeitsmatrix, stimmen Merkmale überein, so wird das durch eine 1 verdeutlicht.....	31
Tabelle 8: Kombinationsmöglichkeiten von binären Variablen	32
Tabelle 9: Beispiel gleitender Mittelwert mit einem Fenster von vier Werten.....	48
Tabelle 10: Möglichkeiten der Fehlerprüfung.....	51

INHALT

Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	III
Inhalt	IV
1 Einführung in das Forschungsvorhaben	6
1.1 Förderhinweis	6
1.2 Ausgangssituation.....	6
1.3 Forschungsziel und Angestrebte Forschungsergebnisse.....	7
1.4 Entwickelte Vorgehensweise	7
2 Analyse der Fehlerbeeinflussenden Eigenschaften	10
2.1 Kommissioniersysteme	10
2.1.1 Organisationssystem	10
2.1.2 Materialflusssystem.....	11
2.1.3 Informationssystem.....	11
2.1.4 Abgrenzung manuelle Kommissionierung	12
2.2 Kommissionierfehler	12
2.3 Fehlerbeeinflussende Eigenschaften.....	14
2.4 Arbeitssystemmodell in der Kommissionierung	15
2.4.1 Mensch/ Kommissionierer	16
2.4.2 Arbeitsaufgabe/ Kommissionierauftrag	18
2.4.3 Eingabe/ Artikel, Information.....	19
2.4.4 Ausgabe.....	20
2.4.5 Arbeitsablauf/ Kommissionierablauf	20
2.4.6 Arbeits- und Betriebsmittel	21
2.4.7 Arbeitsumgebung/ Kommissionierlager	21
2.4.8 Arbeitsplatz/ Entnahmeplatz, Abgabeplatz	22
2.5 Zusammenfassung Fehlerbeeinflussender Eigen-schaften.....	23
2.6 Auswertung betriebsinterner Informationen.....	23
2.6.1 Interne Kontrollen	24
2.6.2 Retouren.....	24
2.7 Identifizierung Fehlerbeeinflussender Eigenschaften	25
3 Klassenbildung	27
3.1 Schnellanalyse.....	27
3.2 Clusteranalyse.....	29
3.2.1 Bestimmung von Ähnlichkeiten und Distanzen	30
3.2.2 Proximität bei gemischt skalierten Variablen	32
3.2.3 Auswahl des Fusionierungsalgorithmus.....	33
3.2.4 Bestimmung der Clusterzahl.....	37
4 Stichprobenartige Fehlererfassung	39
4.1 Totalkontrolle.....	39
4.2 Statistische Qualitätskontrolle	39
4.3 Annahmestichprobenprüfung	39
4.3.1 Stichprobenplan	40
4.3.2 Einfacher Prüfplan.....	40
4.3.3 Stichprobennahme unter unvollständigen Vorinformationen	42

4.3.4	Stichprobennahme nach ISO 2859.....	42
4.3.5	Kostenoptimale Prüfpläne	43
4.3.6	Alpha-optimale Prüfpläne nach v. Collani.....	44
5	Kontinuierliche Fehlererfassung	46
5.1	Kontinuierliche Stichprobenprüfung (CSP)	46
5.2	Statistische Prozesskontrolle.....	47
5.2.1	Qualitätsregelkarten.....	47
5.2.2	Gleitende Mittelwerte.....	48
5.2.3	Precontrol	49
6	Fehlerprüfung	51
6.1	Prüfmethoden	51
6.2	Auswertung der Fehlerrate.....	51
6.3	Rückmeldung an den Prüfer	52
7	Etablierung in einer Software-Applikation.....	53
7.1	Konkrete Vorgehensweise	53
7.1.1	Analyse des Kommissioniersystems.....	53
7.1.2	Klassenbildung.....	53
7.1.3	Initiale Fehlerrate	54
7.1.4	Kontinuierliche Prüfung.....	54
7.1.5	Fehlerüberwachung	56
7.2	Applikation	57
8	Literaturverzeichnis	62

1 EINFÜHRUNG IN DAS FORSCHUNGSVORHABEN

Das Forschungsprojekt IFRAK entwickelt eine Strategie, die Fehlerraten der Kommissionierung integriert im Prozess zu analysieren. Es bietet damit die Möglichkeit, kontinuierlich Aussagen über die Qualität zu treffen.

1.1 FÖRDERHINWEIS

Das aktuelle IGF-Vorhaben (17282 BR) der Bundesvereinigung Logistik (BVL) e.V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages für die Zeit vom 01.08.2012 bis 31.11.2014 gefördert.

1.2 AUSGANGSSITUATION

Manuelle Prozesse spielen bei der Kommissionierung in der Industrie nach wie vor eine wichtige Rolle. Die Wahrnehmung und die haptischen Fähigkeiten sowie die Möglichkeit der Anpassung des Menschen an geänderte Bedingungen (z.B. innerhalb des Sortiments) machen manuelle Tätigkeiten in diesem Bereich nur schwer ersetzbar.

Trotzdem ist manuelle Arbeit auch stets einem gewissen Fehlerrisiko unterworfen. Je nach dem Zeitpunkt ihrer Aufdeckung wirken sich Fehler unterschiedlich auf das Unternehmen aus. Frühzeitig im Unternehmen entdeckte Fehler können noch ausgeglichen werden, während eine Entdeckung beim Kunden negative Auswirkungen auf die Beziehung zu diesem und auf den Ruf des Unternehmens haben kann. Dient die Kommissionierung der Zusammenstellung von (internen) Montageaufträgen, werden Fehler zwar leicht entdeckt, erfordern aber zeitintensive Nacharbeit und zusätzlichen logistischen Aufwand.

Besonders im Versandhandel haben sich inzwischen unterschiedliche Strategien und Techniken etabliert, um Fehler zu vermeiden. Dazu gehören z.B. Kontrollwiegungen und Scanner. Trotzdem zeigt die Praxis, dass keine Maßnahme alle Fehler vermeiden kann. So versagt eine Kontrollwiegung bei Artikeln mit gleichem Gewicht oder Aufträgen mit besonders hohem Artikelumfang. Lolling (2003, S. 44) bestätigt, dass auch bei Kontrollmaßnahmen Ungenauigkeiten entstehen können, wenn z.B. zu kleine, nicht repräsentative Stichproben genommen werden oder Kontrolleure unaufmerksam werden. Eine Null-Fehler-Kommissionierung ist nicht umzusetzen. Zwar liegen die Fehlerwahrscheinlichkeiten oft im Promillebereich, nur in seltenen Fällen über 1,5%, jedoch können fehlerhafte Schätzungen laut Lolling (2003, S. 43) auch zu Werten führen, die sehr deutlich abweichen. Auch bei der Zusammenarbeit mit Unternehmen im Rahmen des Projektes IFRAK wurden durchaus Fehlerraten im Bereich von 2% identifiziert.

Ziel des Projektes IFRAK ist die Entwicklung eines Verfahrens zur prozessintegrierten Stichprobennahme im Kommissionierprozess. Vergleichbare Verfahren sind bereits im Bereich der Annahmestichprobenkontrolle, der statistischen Prozesskontrolle und der Stichprobeninventur bekannt, fehlen jedoch in der Kontrolle von Kommissionieraufträgen bislang völlig.

1.3 FORSCHUNGSZIEL UND ANGESTREBTE FORSCHUNGS- ERGEBNISSE

Ziel des Projektes ist eine Anleitung zu entwickeln, die kleinen und mittelständigen Unternehmen die Möglichkeit geben soll, durch Stichprobenprüfung Aussagen über die Qualität von Kommissionierprozessen treffen zu können. Sofern bereits Prüfungen stattfinden, sollen diese in Effektivität und Effizienz gesteigert werden. Die vorgestellte Vorgehensweise bietet dazu vielfältige Anwendungen:

- Anleitung und Anwendungshinweise zur effizienten Stichprobendurchführung
- Erfassung und Auswertung von Kommissionierfehlern
- Optimale, stetige Kommissionierfehlerkontrolle
- Wirtschaftliche Stichprobenkontrolle durch Reduzierung des Prüfaufwandes
- Fehlerreduzierung in der Kommissionierung
- Validierung von Prüf-, Anpassungs- und Optimierungsmaßnahmen

Ein weiteres Ziel ist die Erstellung einer Analyse-Applikation, die in Zusammenarbeit mit einem Warehouse-Management-System (WMS) Anweisungen zur Fehlerkontrolle gibt und die Fehlerrate überwacht.

Der besondere Ansatz des Projektes IFRAK liegt in der Absicht, spezifische Fehlerbeeinflussende Eigenschaften¹ eines Kommissioniersystems zu finden, mit deren Hilfe die Stichprobennahme effizient gestaltet werden kann. Verschiedene Faktoren eines Systems wirken sich unterschiedlich auf die Entstehung von Fehlern aus. Die Identifikation von Eigenschaften, die sich erhöhend auf die Fehlerrate auswirken bietet folgende Vorteile:

- Reduzierung der Stichprobenumfänge durch Nutzung von Vorinformationen
- Gezielte Stichprobenprüfung besonders gefährdeter Auftragspositionen
- Kontinuierliche Optimierung der Stichprobenprüfung und Anpassung an neue Gegebenheiten

Neben dem Vorwissen aus den Systemelementen spielt vor allem die aus vorangegangenen Prüfungen ermittelte Fehlerrate eine wichtige Rolle.

1.4 ENTWICKELTE VORGEHENSWEISE

Die Vorgehensweise besteht aus sechs Schritten:

1. Analyse der Fehlerbeeinflussenden Eigenschaften (FbE)
2. Klassenbildung anhand der FbE
3. Initiale Fehlererfassung
4. Kontinuierliche Fehlererfassung
5. Auswertung der Fehlerrate
6. Rückmeldung an den Prüfer

Kommissionieraufträge lösen einen Kommissionierprozess aus, indem sie Informationen über einzelne Auftragspositionen (z.B. Artikel, Menge und Lagerfach) an den Kommissionierer weitergeben. Ist der Kommissionierprozess abgeschlossen, erfolgt eine stichprobenartige Prüfung auf fehlerhaft kommissionierte Positionen². Anschließend kann der Auftrag an den nachfolgenden Prozess (z.B. Verpackung, Montage) weitergegeben werden. Parallel zu

¹ Auch als Fehlerbeeinflussende Faktoren bezeichnet

² Auch als Pick bezeichnet

diesem Ablauf sollen die Informationen der Kommissionieraufträge ausgewertet und dabei Fehlerbeeinflussende Eigenschaften gefunden werden. Anhand dieser Eigenschaften lassen sich Kommissionierpositionen Klassen zuordnen. Jede einzelne Klasse von Positionen ist außerdem mit einer Fehlerrate hinterlegt. Die beiden Informationen „Zugehörigkeit zu einer Klasse“ und „Fehlerrate der Klasse“ lösen eine Entscheidung aus, ob die jeweilige Position geprüft werden soll oder nicht. Sind ausreichend Positionen geprüft, wird die Fehlerrate der Klasse aktualisiert. Abbildung 1 verdeutlicht das Prinzip. Voraussetzung ist eine Analyse des Kommissioniersystems, bei der die vorhandenen Fehlerbeeinflussenden Eigenschaften gefunden werden und durch Sie eine Klasseneinteilung vollzogen wird. Weiterhin ist es notwendig, eine initiale Fehlerratermittlung durchzuführen. Als Ergebnis steht eine kontinuierliche Prozessüberwachung.

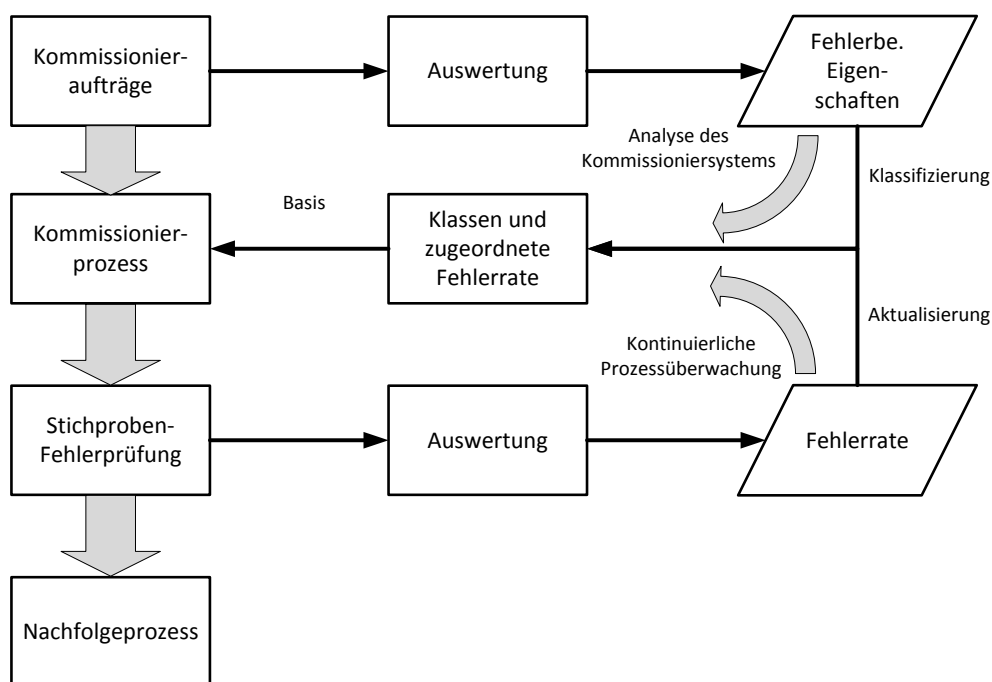


Abbildung 1: Methodisches Vorgehen der kontinuierlichen Fehlerprüfung

Der Leitgedanke der Vorgehensweise ähnelt existierenden Konzepten zur Strukturierung von Artikeln. Hintergrund ist bisher die Steigerung der Kommissionierleistung. Brynzér und Johansson (1996) entwerfen eine solche Strategie. Durch eine Betrachtung, welche Artikel erfahrungsgemäß in gleichen Aufträgen zu finden sind, wird eine Anordnung der Artikel zueinander und zum Ein-/Ausgang entwickelt.

Im Rahmen des vorliegenden Berichts wird ein ähnlicher Ansatz entwickelt. Analyse und Zuordnung erfolgen nicht anhand der Kommissionierhäufigkeit, sondern anhand gleicher Voraussetzungen der Fehlerentstehung. Des Weiteren werden nicht nur Artikel klassifiziert, sondern auch weitere Aspekte des Kommissioniersystems, wie Aufträge, Arbeitsbedingungen, Arbeitsmittel usw.

Der Aufbau dieses Leitfadens orientiert sich an dieser Vorgehensweise und hat damit einen Anleitungscharakter. Zunächst soll beschrieben werden, welche Eigenschaften eines Kommissioniersystems Fehler beeinflussen können und wie sie ermittelt und dokumentiert werden können. Danach wird verdeutlicht, wie anhand dieser Merkmale die Positionen eines Kommissionierauftrages in Klassen eingeteilt werden. Hier hilft das Werkzeug Clusteranalyse. Anschließend erfolgt die Vorstellung und Auswahl von Methoden der Stichprobenzie-

hung und anschließend von Strategien der kontinuierlichen Stichprobenprüfung. Wie die gezogenen Stichproben physisch geprüft werden und welche Aussage aus der Fehlerrate sowie ihrer Entwicklung abzuleiten ist, verdeutlicht das sechste Kapitel. Anschließend wird gezeigt, wie die gesamte Vorgehensweise in einer Software-Applikation umgesetzt wird.

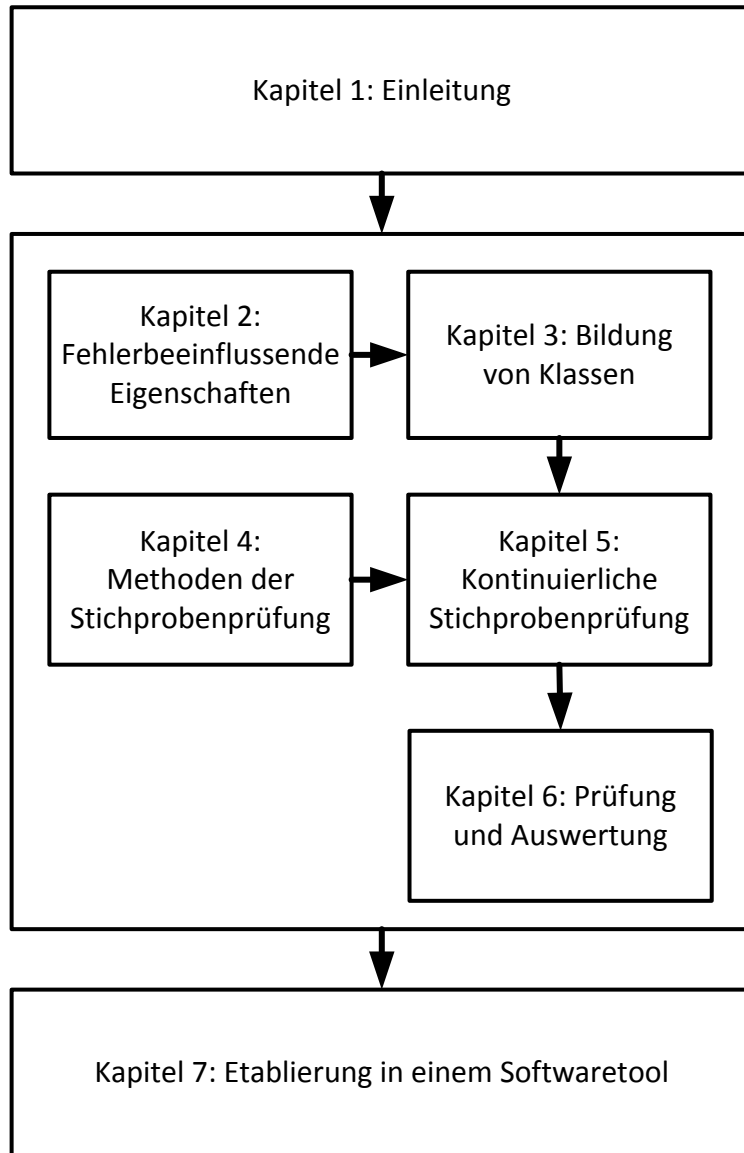


Abbildung 2: Aufbau der Arbeit

2 ANALYSE DER FEHLERBEEINFLUSSENDE EIGENSCHAFTEN

In der innerbetrieblichen Logistik stellt Kommissionierung die bedeutendste Funktion dar (Wichmann 1994, S. 145).

Kommissionieren ist das Zusammenstellen von bestimmten Teilmengen aus einer bereitgestellten Gesamtmenge auf Grund von Bedarfsinformationen. Dabei findet eine Umformung eines lagerspezifischen in einen verbraucherspezifischen Zustand statt. Die wichtigsten Aufgaben der Kommissionierung liegen zum einen in der Versorgung des Absatzmarktes (Distribution), zum anderen in der Versorgung von Teilefertigung und Montage (Crostack et al. 2007, S. 1). Zwei Aufgaben, die sich zwar grundlegend ähneln, aus deren unterschiedlichen Kundenkreisen aber auch erhebliche Unterschiede im Umgang mit Fehlern resultieren (vgl. 2.6.2 Retouren).

2.1 KOMMISSIONIERSYSTEME

In der VDI Richtlinie 3590 (VDI 3590-1) wurden zur besseren Einteilung die Grundfunktionen und Abläufe des Kommissionierens definiert. Zu diesen Grundfunktionen des Kommissionierens gehören im Wesentlichen:

- Transport der Güter zur Bereitstellung
- Bereitstellung
- Fortbewegung des Kommissionierers
- Entnahme
- Transport der Entnahmeeinheit zur Abgabe
- Abgabe der Entnahmeeinheit
- Transport der Kommissioniereinheit zur Abgabe
- Abgabe der Kommissioniereinheit
- Rücktransport angebrochener Einheiten (ten Hompel et al. 2011, S. 19).

Klassifiziert wird ein Kommissioniersystem nach seinen Teilsystemen Organisations-, Materialfluss- und Informationssystem. Die VDI 3590-1 sortiert die beschriebenen Merkmale der drei Teilsysteme in morphologische Kästen ein. Damit gibt sie ein Werkzeug zur Planung, aber auch zur Klassifizierung vor.

Nicht berücksichtigt werden dabei die Bereitstellung der Bereitstellungseinheiten aus dem Nachschubsystem sowie der Rücktransport von Ladeeinheiten.

2.1.1 ORGANISATIONSSYSTEM

Bezogen auf das Organisationssystem gliedert sich ein Kommissioniersystem in Aufbau-, Ablauf- und Betriebsorganisation.

Die Aufbauorganisation beschäftigt sich mit der Struktur des Lagers. Sie ist geprägt von den Eigenschaften der zu kommissionierenden Artikel.

Artikel mit ähnlichen Eigenschaften werden in Kommissionierzonen zusammengefasst (VDI 3590-1, S. 3). Beispiele könnten sein: physikalische Eigenschaften (Abmessungen, Volumen, Gewicht), Umschlag (Absatzmenge, Zugriffshäufigkeit), besondere Merkmale (Sortimentsgröße, Lagertemperatur) sowie Identifikationsmerkmale (nach Artikelnummer, Lagerplatznummer). Oftmals werden in den jeweiligen Zonen unterschiedliche Kommissioniertechniken angewandt.

In der Ablauforganisation werden die Struktur der Aufträge und deren Bearbeitung festgelegt. Zwei Kommissionierarten werden unterschieden, die auftragsorientierte und die artikelorientierte Kommissionierung. Bei der auftragsorientierten Variante wird der Kundenauftrag direkt in einen Kommissionierauftrag umgewandelt und die gewünschten Artikel vom Kommissionierer aufgenommen. Hierbei handelt es sich um eine einstufige Kommissionierung. Bei der artikelorientierten Kommissionierung wird der Kundenauftrag innerhalb verschiedener Kommissionieraufträge bearbeitet. Der Kommissionierer nimmt hier die gesamte Anzahl des Artikels aus mehreren Aufträgen auf und in einem weiteren Schritt werden die Artikel den Aufträgen zugeordnet. Eine weitere Unterscheidung besteht in der Zonenorganisation. Sie kann einheitlich oder gemischt ausgeformt sein. Demnach werden im einheitlichen Fall alle Kundenaufträge nach derselben Kommissionierart bearbeitet. Bei der gemischten Zonenorganisation werden je nach Auftragsstyp oder –größe unterschiedliche Kommissionierarten angewendet.

Die Betriebsorganisation bestimmt die zeitliche Reihenfolge, in der Kommissionieraufträge in das Kommissioniersystem eingesteuert und weiter verfolgt werden. Ziel ist es, durch eine bestmögliche Auslastung des Personals und der Betriebsmittel das Gesamtsystem zu optimieren (VDI 3590-1).

2.1.2 MATERIALFLUSSSYSTEM

Das Materialflusssystem beschreibt die physische Durchführung der Kommissionierung, die Bewegung von Personen, Waren und Betriebsmitteln im Kommissionierungssystem. Es lässt sich weiter untergliedern in Bereitstell-, Transport-, Entnahme-, Abgabe-, Sammel- und Rücktransportsystem. Innerhalb des Materialflusssystems werden diverse Materialflusseinheiten erstellt und bewegt. Für die Betrachtungen im Rahmen dieses Projekts sind folgende Einheiten relevant:

- Beschickungseinheit: Einheit, mit der der Bereitstellort nachgefüllt wird
- Bereitstellereinheit: diejenigen Einheiten, die zur Entnahme zur Verfügung gestellt werden (ten Hompel et al. 2011, S. 7)
- Entnahmeeinheit: durch genau einen Zugriff entnommene Menge eines Artikels
- Sammeleinheit: einzelne Position eines Kommissionierauftrages
- Versandeinheit: Zusammenfügen von einzelnen Sammeleinheiten zwecks Auslieferung an den Kunden

2.1.3 INFORMATIONSSYSTEM

Aufgabe eines Informationssystems ist es, die räumliche, zeitliche und inhaltliche Transformation zu steuern und nötige Informationen zur richtigen Zeit am richtigen Ort in der richtigen Form zur Verfügung zu stellen. (Slomka 1990, S. 188f.)

Informationen entstehen an verschiedenen Stellen und zu verschiedenen Zeitpunkten. So entstehen vier Grundfunktionen:

- Erfassung der Kundenaufträge
- Auftragsaufbereitung
- Weitergabe in den entsprechenden Kommissionierbereich
- Quittierung der Entnahme (ten Hompel et al. 2011, S. 28)

Bei der Auftragserfassung werden Kundenforderungen aufgenommen. Im Rahmen der Auftragsaufbereitung erfolgt eine Umwandlung dieser Forderungen in konkrete Kommissionieraufträge. An den Kommissionierer werden die zur Entnahme relevanten Informationen aus den Kommissionieraufträgen weiter gegeben (siehe auch Kapitel 2.4.2 Arbeitsaufgabe).

Schließlich erfolgt über die Quittierung eine Bestätigung der Entnahme und evtl. eine Erfassung von Fehlmeldung.

Die Informationen werden von Informationselementen getragen. Die drei wichtigsten sind der Kommissionierauftrag, die Kommissionierliste und die Position (VDI 3590-1).

- Der Kommissionierauftrag enthält die grundlegenden Informationen, die zur Bearbeitung der Kommissionierung gebraucht werden. Zwingend vorausgesetzt sind Artikelinformationen zu Art und Menge.
- Die Kommissionierliste wird durch die Verbindung der Auftragsdaten mit den Informationen des Kommissioniersystems erzeugt.
- Bei der Position handelt es sich um eine Zeile auf der Kommissionierliste, die alle notwendigen Informationen zur Kommissionierung eines Artikels bereithält.

2.1.4 ABGRENZUNG MANUELLE KOMMISSIONIERUNG

ten Hompel, Crostack, Zellerhoff, Pelka, Mathis und Strothotte (2009, S. 27) verstehen unter manueller Kommissionierung, dass die Entnahme von Entnahmeeinheiten, die Fortbewegung und die Abgabe der Einheiten vom Kommissionierer durchgeführt werden. Für die Elemente nach VDI 3590-1 bedeutet das:

- Bereitstellung: statisch-dezentrale Bereitstellung nach Prinzip Person-zur-Ware,
- Fortbewegung: manuell oder mechanisch per Horizontalkommissionierfahrzeug
- Entnahme: manuell
- Transport Entnahmeeinheit zur Abgabe: Kommissionierer manuell
- Abgabe der Entnahmeeinheit: statisch - dezentral
- Transport der Kommissioniereinheit zur Abgabe: Kommissionierer, manuell
- Abgabe Kommissioniereinheit: statisch – zentral

Die manuelle Kommissionierung erfolgt einstufig und auftragsweise (ten Hompel et al. 2009, S. 27–28).

Die weite Verbreitung der manuellen Kommissionierung basiert darauf, dass für viele Güter aufgrund ihrer Form und Beschaffenheit der Umgang nicht automatisiert stattfinden kann. Beispiele sind zerbrechliche Teile und Schüttgüter, aber auch Gegenstände ohne feste Form, wie Beutel (ten Hompel et al. 2009, S. 22). Trotz Bestrebungen der Automatisierung ist der Mensch durch seinen flexiblen Einsatz und die Anpassbarkeit seiner Hand an die Artikelvielfalt zur wirtschaftlichen Abwicklung der Kommissionierung unentbehrlich. Die Anforderungen automatischer Kommissioniereinrichtungen an die Homogenität der Artikel sind nach wie vor nicht erfüllbar (Schulte 2013). Die Flexibilität des Menschen wird allerdings mit Kommissionierfehlern „erkauft“, denn die Fehlerwahrscheinlichkeit hängt zum einen von der Ausfallsicherheit der technischen Komponenten ab und zum anderen von der menschlichen Fehlerwahrscheinlichkeit (vgl. Zimolong 1990, S. 328).

2.2 KOMMISSIONIERFEHLER

Die Kommissionierung ist ein Bereich der Logistik, welcher oftmals unter Zeitdruck realisiert werden muss. Die Tätigkeiten sind meist monoton und erfordern keine hohe Qualifikation. Durch die zum Teil komplexen Abläufe handelt es sich um eine personenintensive Abteilung im Unternehmen.

Unter diesen Bedingungen ist es selbstverständlich, dass es zu Fehlern bei der Kommissionierung kommt. Laut DIN EN 55350 (S. 4) bestehen die Anforderungen der Kommissionie-

rung im Sinne der Qualität in „richtiges Objekt“, „richtiger Zustand“ und „richtige Menge“. Wird eine dieser Anforderungen nicht erfüllt, liegt ein Fehler vor.

In der Praxis hat sich die Unterscheidung der Kommissionierfehler wie Menk und Lolling sie vornehmen, bewährt (Lolling 2003, S. 28), siehe auch (Menk 1999, S. 19 f.).

Hier werden die Fehlerarten Mengenfehler, Auslassungsfehler, Typfehler und Zustandsfehler unterschieden. Ein Mengenfehler liegt vor, wenn der richtige Artikel in der falschen Anzahl kommissioniert wurde. Wurden Positionen bei der Kommissionierung ausgelassen, ohne dass ein falscher Artikel aufgenommen wurde, wird von einem Auslassungsfehler gesprochen. Liegt ein Typfehler vor, wurde bei der Kommissionierung der falsche Artikel entnommen. Der Fehler am Zustand ist dadurch gekennzeichnet, dass der Artikel entweder beschädigt ist oder eine Teilleistung (der Kommissionierung) nicht erbracht wurde (fehlendes Etikett etc.).

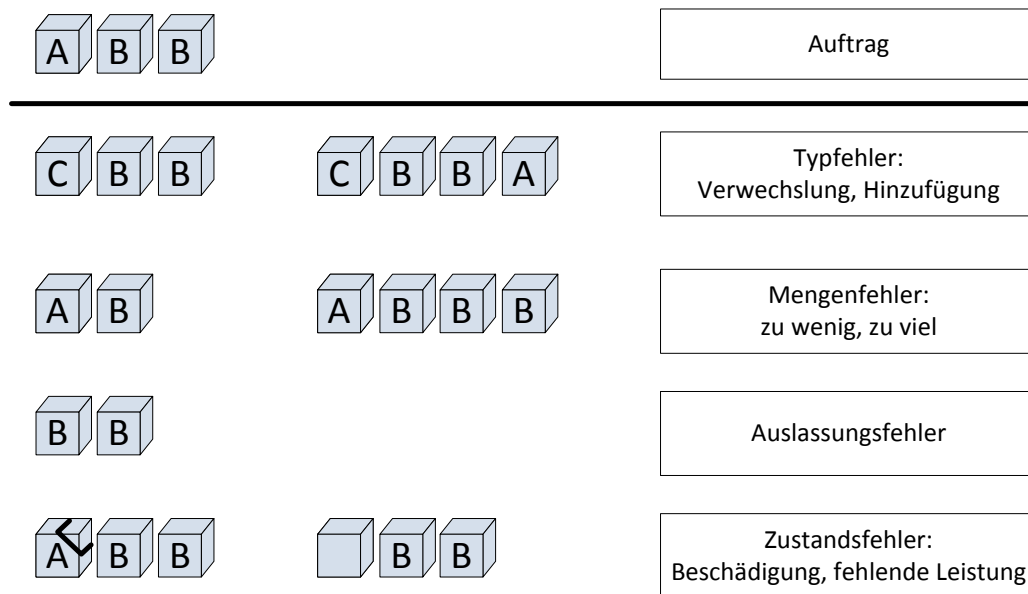


Abbildung 3: Arten von Kommissionierfehlern in Anlehnung an (Lolling 2003) und (Crostack et al. 2007)

Die Fehlerrate wird stets auf die Kommissionierpositionen bezogen.

$$Fehlerrate = \frac{\text{fehlerhaft kommissionierte Positionen}}{\text{insgesamt kommissionierte Positionen}}$$

Interessant ist dabei die Anzahl der Fehler, die nicht im Kommissionierprozess erkannt werden. Erkannte Fehler führen zu Korrekturen und damit zwar zu Leistungssenkung, jedoch nicht zu Qualitätsmängeln im Auftrag (ten Hompel et al. 2009, S. 31).

Laut Lolling (2003) weist die Kommissionierung in modernen Industrieunternehmen eine positionsbezogene Fehlerrate von 0,01% - 3% auf. Dabei liege die mittlere positionsbezogene Fehlerwahrscheinlichkeit aktuell bei ca. 0,4%. Bei 1000 Kommissionierpositionen würde das bedeuten, dass 4 Positionen fehlerhaft sind. In modernen Logistikzentren liegt allein die tägliche Kommissionierleistung um ein Vielfaches höher.

2.3 FEHLERBEEINFLUSSENDE EIGENSCHAFTEN

Wie bereits erwähnt, sollen Fehlerbeeinflussende Eigenschaften erfasst und zur gezielten Stichprobennahme ausgewertet werden. Unter diesen Eigenschaften werden inhärente Merkmale eines Kommissioniersystems verstanden, aus denen unter bestimmten Bedingungen Fehler entstehen können. Dabei ist eine solche Eigenschaft nicht direkt die Ursache für einen Fehler. Sie muss eine bestimmte Ausprägung aufweisen, die wiederum fehlerkritisch wirksam werden muss, damit tatsächlich ein Fehler resultiert. Abbildung 4 verdeutlicht schematisch die Fehlerentstehung mit Hilfe eines Beispiels. Ein Katalog von Fehlerbeeinflussenden Eigenschaften wurde für das Projekt erstellt (Anhang A1 Katalog Fehlerbeeinflussender Eigenschaften). Hier sind sowohl Fachwissen und Literaturrecherchen als auch Expertenbefragungen in Industrieunternehmen eingeflossen. Jedoch sind die Eigenschaften individuell für jedes System verschieden und die Auflistung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Stattdessen ist eine systematische Analyse notwendig, die mit der Beschreibung eines Kommissioniersystems verbunden werden kann.

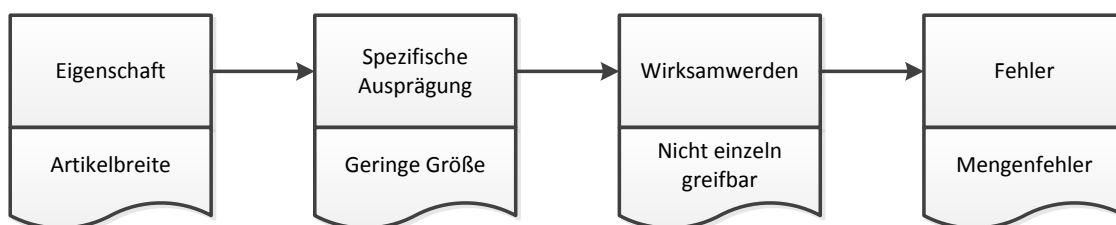


Abbildung 4: Fehlerentstehung

Crostack et al. (2007, S. 1) stellen fest, dass Kommissionierfehler vor allem von der Prozessgestaltung abhängen. Fehlerraten verschiedener Systeme könnten damit anhand der verwendeten technischen Hilfsmittel und der Arbeitsgestaltung interpretiert werden. Weiterhin sei der Mensch ein wesentlicher Einflussfaktor. Dadurch sei die Fehlerwahrscheinlichkeit direkt von der Arbeitsorganisation, der Prozessgestaltung und den Leistungsvoraussetzungen des Menschen abhängig (Crostack et al. 2007).

Dazu finden sich bei Lolling 2001 (S. 114ff.) einige belegende Fakten. So wurden dank wachsender Vertrautheit mit dem Arbeitssystem mit zunehmender Zeitdauer weniger Fehler gemacht. Einer mentalen Erholung (durch lange Wege) wird eine positive Wirkung zugeschrieben. Eine gute Strukturierung von Beleggestaltung und Lagerortkennzeichnung wird empfohlen, da tendenziell Zusammenhänge bestehen.

In der Literatur (vgl. z.B. Crostack et al. 2007) werden Fehlerbeeinflussende Eigenschaften meist lediglich auf Lager- und Kommissionierbereichstruktur sowie auf den Faktor Mensch bezogen. Nicht jedoch auf Artikel, Auftrag oder Ausrüstung.

Für eine umfassende Betrachtung der Fehlerbeeinflussenden Eigenschaften in der Kommissionierung reicht auch eine Beschreibung nach VDI 3590 nicht aus, der Faktor Mensch und die damit zusammenhängenden Leistungsmerkmale werden vernachlässigt.

Neben der VDI 3590-1 beschreibt Menk (1999) einen Merkmalskatalog für die Analyse manueller Kommissioniersysteme auf Basis von AET (Arbwiss. Erhebungsverfahren zur Tätigkeitsanalyse, (Rohmert 1979). Insgesamt 122 Merkmale werden aufgezeigt, anhand derer ein Kommissioniersystem qualitativ bewertet werden kann. Der Umfang dieser Methode erscheint zu groß, da zahlreiche Merkmale nur einen geringfügigen Einfluss auf die Fehlerrate haben. Weiterhin sollen aus Gründen der Beherrschbarkeit im Rahmen von IFRaK lediglich

die maßgeblichsten Faktoren bestimmt werden, die einen Einfluss auf die Fehlerentstehung haben. Aus diesen Gründen wurde ein separater Merkmalskatalog erstellt.

Stinson (2012) bestätigt, dass existierende Leistungsbewertungsmethoden in der manuellen Kommissionierung nur selten individuelle Leistungsbewertungen vornehmen und auch keine mehrdimensionale Beurteilung der Kommissionierleistung gewähren. In der weitverbreiteten technikzentrierten Denkweise ist der Mensch eher ein Randphänomen und wird häufig als idealer, perfekter (junger) Mensch angesehen (Krüger 2007, S. 69).

Einen umfassenderen Blick bietet die Betrachtung der manuellen Kommissionierung als Arbeitssystem nach REFA (vgl. ISO 6385). Es soll im weiteren Verlauf dazu dienen, eine umfassende Betrachtung der Beziehungen innerhalb des Arbeitssystems „manuelle Kommissionierung“ zu ermöglichen, durch die Fehlerbeeinflussende Faktoren systematisch verdeutlicht werden.

2.4 ARBEITSSYSTEMMODELL IN DER KOMMISSIONIERUNG

Durch eine Arbeitssystembetrachtung lassen sich „die Beziehungen zwischen dem Menschen und den anderen Elementen des Kommissioniersystems sehr einfach und strukturiert beschreiben“ (Wichmann 1994, S. 17). Dabei werden 8 Elemente unterschieden, wie in Abbildung 5 ersichtlich. Teilweise erfolgt die Darstellung des Arbeitssystems auch nur mit sieben Elementen. Hier wird der Arbeitsplatz nicht extra als Element betrachtet (Wichmann 1994, S. 18). Nur sechs Elemente (Arbeitsperson, Arbeitsaufgabe, Arbeits- und Betriebsmittel, Arbeitsplatz, Arbeitsumwelt, Arbeitsorganisation) beschreibt (Krüger 2007, S. 47). Das Grundverständnis bleibt aber in allen Fällen das gleiche.

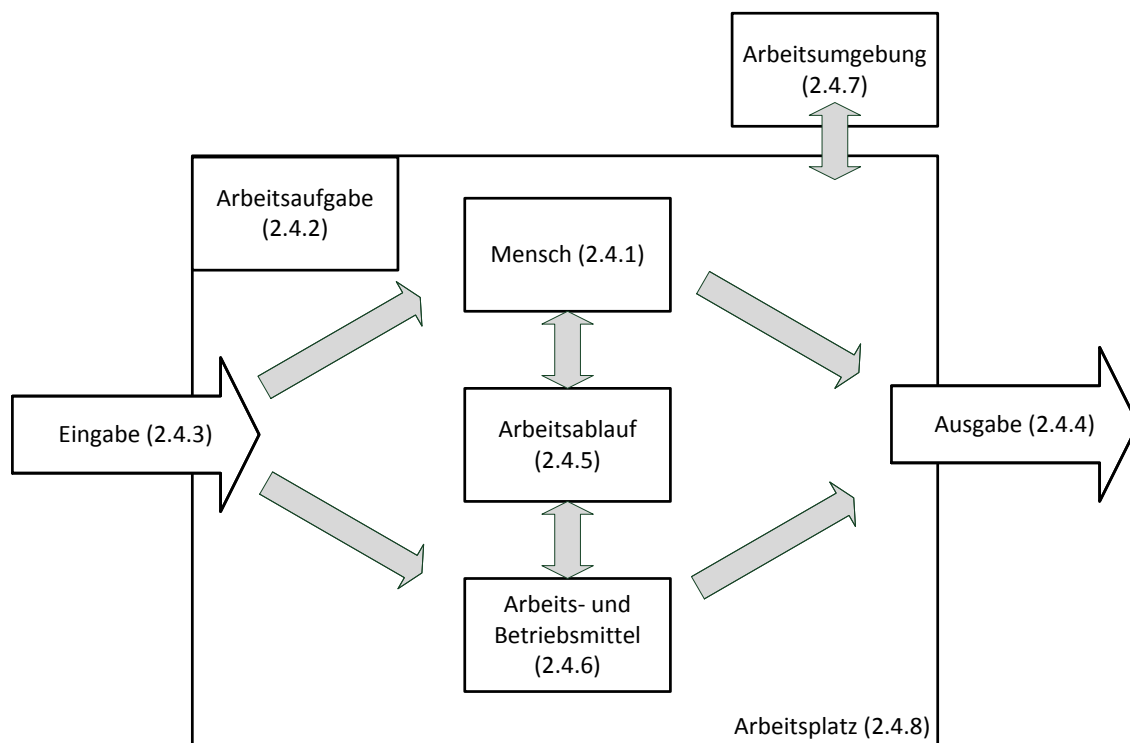


Abbildung 5: Modell eines Arbeitssystems nach REFA, in Anlehnung an (Schmauder und Spanner-Ulmer 2014)

Jedes Element ist von Faktoren geprägt, die stärker oder schwächer auf eine Fehlerentstehung wirken. Da sie in Wechselwirkung zueinander stehen, ist eine exakte Differenzierung jedoch nicht immer möglich, aber auch nicht ausschlaggebend. Es kommt zu Überschnei-

dungen in dem Sinne, dass Faktoren nicht eindeutig einem Element, sondern mehreren zuordenbar sind. Ein Problem stellt auch die Erfassbarkeit der Faktoren dar. Besonders am Element Mensch wird das deutlich. Faktoren wie Motivation und Gesundheit sind nur mit hohem Aufwand deutlich zu machen.

Schulte (2013, S. 269ff.), bezugnehmend auf Schwarting (1986, S. 19) beschreibt, ein Kommissioniersystem bestehe aus vier Elementen:

- Kommissionierlager
- Transportmittel
- Mensch
- Kommissionierauftrag

Dieser Ansatz ist interessant, da hier die Überschneidungen der Einzelelemente deutlich reduziert werden. Jedoch soll die Gefahr vermieden werden, dass die Sichtweise wichtige Elemente übersieht. Im Folgenden sollen deshalb die Elemente nach REFA (REFA Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V. 1984) beschrieben werden (DIN EN ISO 6385). In Abbildung 6 ist das Modell dazu ein weiteres Mal dargestellt, diesmal übertragen auf die Kommissionierung. Der Zusammenhang zu Eigenschaften, die Fehler provozieren können, wird direkt hergestellt und analysiert.

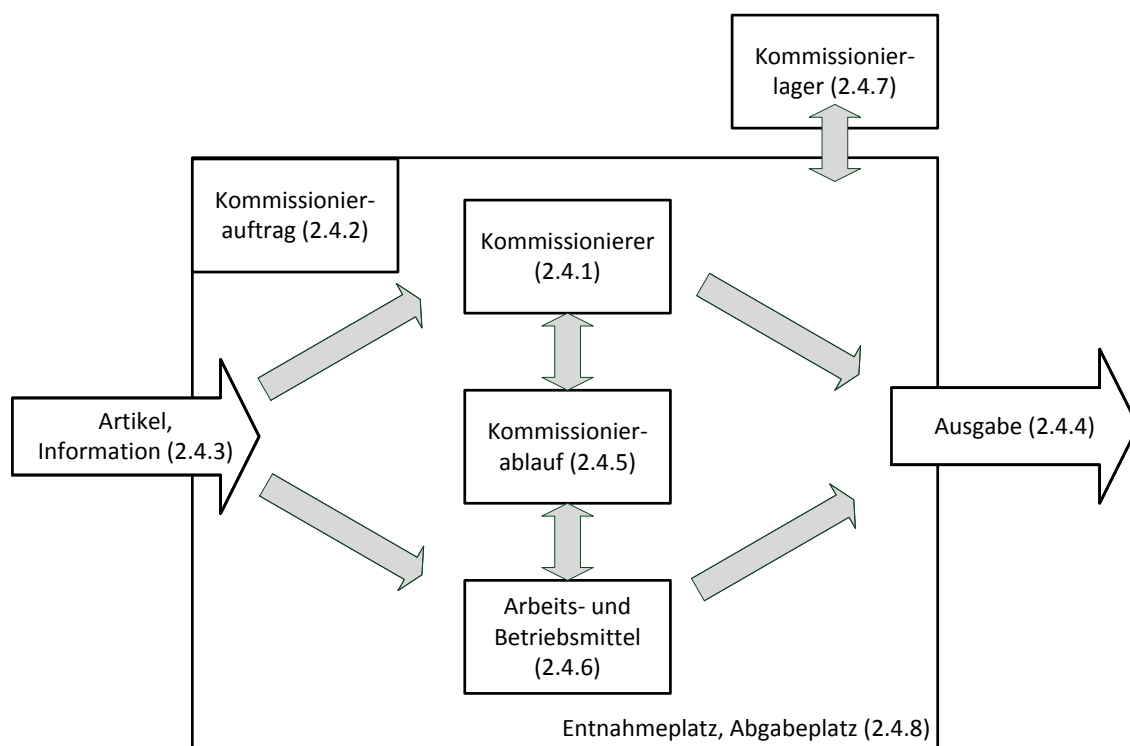


Abbildung 6: Arbeitssystemmodell nach REFA zur Beschreibung der Kommissionierung, in Anlehnung an (Schmauder und Spanner-Ulmer 2014, S. 23)

2.4.1 MENSCH/ KOMMISSIONIERER

Da von manueller Kommissionierung ausgegangen wird, ist das wichtigste Element der Mensch. Er ist der Mittelpunkt des Arbeitssystems (Krüger 2007, S. 51). Unter dem Element Mensch wird die Person verstanden, die die Eingabe entsprechend der Arbeitsaufgabe in eine Ausgabe verwandelt (REFA Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V.).

1984, S. 96). Ausgehend davon bestehen zahlreiche Wechselwirkungen mit den anderen Elementen.

Nach Schulte (2013, S. 271–272) können die menschlichen Tätigkeiten im Kontext der Kommissionierung in drei hierarchische Ebenen gegliedert werden: Dispositionstätigkeiten, Kontroll- und Überwachungsfunktionen sowie die physische Abwicklung.

Unter Disposition sind administrative Prozesse zusammengefasst, wie Handlungsanweisungen erstellen, Planungsaufgaben, Kontrolle, Erstellen von Auftragsreihenfolgen.

Kontroll- und Überwachungstätigkeiten lösen die eigentliche physische Abwicklung aus. Ihre Funktionen sind:

- Starten Auftragsbearbeitung
- Rückmeldung
- Vollständigkeitsprüfung
- Störungen bearbeiten
- Kontrolle Arbeitsfortschritt

Die physische Abwicklung umfasst die eigentliche aktive Auftragsbearbeitung:

- Bestandsüberwachung, Nachschubauslösung
- Beschickung
- Abwicklung Kommissionierung
- Zusammenführung von Auftragsteilen
- Verpackung, Belegerstellung
- Übergabe an nachgelagerte Betriebsbereiche

Interessant im Rahmen dieser Ausführungen sind die eigentliche Abwicklung der Kommissionierung und die Zusammenführung von Auftragsteilen. Hier setzen die Betrachtungen an.

Zunehmende Automatisierung können den Menschen zwar nicht ersetzen, bieten aber umfangreiche Unterstützungen des Menschen. Beispiele hierfür sind Ergonomie, dynamische Bereitstellung und die vielfältigen Systeme zur Informationsübertragung (Schulte 2013, S. 278). Diese Entwicklung schlägt sich in einer starken Monotonie der Aufgaben des Menschen nieder. Im konventionellen Lager sind die Anforderungen an Erfahrung, Qualifikation und Geschicklichkeit meistens sehr gering. Dagegen bestehen jedoch eine einseitige körperliche Belastung und schlechte Arbeitsbedingungen.

Schulte (2013) empfiehlt als Konsequenz daraus eine Ausweitung der Tätigkeiten hin zu mehr Dispositions- und Kontrollaufgaben. Dafür sei mehr Qualifikation erforderlich und die Motivation würde gesteigert. Diese Argumentation deutet schon an, dass die Betrachtung des Menschen kompliziert und in vielerlei Hinsicht nicht ohne weiteres durchführbar ist. Der Mensch wird deshalb oft „nur“ als BlackBox gesehen. Arbeitspsychologische Betrachtungen fehlen meist. Hier sind Ansatzpunkte für weitergehende Forschungen zu sehen.

Auf die Leistung eines Menschen wirken sich zahlreiche Faktoren aus, die sowohl individuell (Leistungsfähigkeit) als auch situativ (Leistungsbereitschaft) sein können (Krüger 2007, S. 48; Schmidtke und Bernotat 1993). Tabelle 1 zeigt Beispiele. Weitere Faktoren sind nicht eindeutig einer der beiden Kategorien zuzuordnen, z.B. Gesundheit, Tagesrhythmische Schwankungen und Ermüdung (vgl. Schmauder und Spanner-Ulmer (2014)).

Tabelle 1: Faktoren menschlicher Leistungsvoraussetzungen

Leistungsfähigkeit		Leistungsbereitschaft	
physisch	psychisch	physisch	psychisch
Alter	Mentale Anlagen	Körperliche Verfassung	Motivation
Größe	Kompetenzen		Gestimmtheit
Gewicht			
Geschlecht			
Trainiertheit			

Bestimmte menschliche Eigenschaften sowie Unterschiede zwischen den einzelnen Arbeitspersonen sollten als konstant angenommen oder sogar vernachlässigt werden, z.B. die Geschicklichkeit bei der Arbeitsausführung oder das Alter (Wichmann, S. 20). Das dient dazu, das Systemelement nicht zu verkomplizieren. Auch können zahlreiche Merkmale gar nicht (technisch oder rechtlich gesehen) oder nur mit erheblichem Aufwand erfasst werden. Hierzu gehören besonders persönliche Motivationen, körperliche Verfassung oder Dispositionen, die z.B. aus dem Privatleben beeinflusst sind. Als Fehlerbeeinflussende Eigenschaften eignen sich nur diejenigen menschlichen Merkmale, die quantifiziert und in Datenbanken hinterlegt sind. Dazu gehören Qualifikation, Betriebszugehörigkeit, Geschlecht, Entlohnung, wechselnde Arbeitsaufgaben usw.

Es ist davon auszugehen, dass einer günstigen Konstellation von Auftragsgröße, Anzahl der Zugriffe und Durchlaufzeit eines Auftrages weniger Fehler gemacht werden (vgl. auch Lolling 2001, S. 114ff.). Jedoch sollte hinterfragt werden, wie weit eine solche Datenauswertung im Verhältnis zum Nutzen steht. Einfach zu messen sind hingegen die folgenden Merkmale. Sie sind in betrieblichen Datenbanken hinterlegt, auf die vom WMS aus zugegriffen werden kann. Daher scheinen sie als Fehlerbeeinflussende Eigenschaften, die aus menschlichen Eigenschaften resultieren, geeignet:

- Schichtsystem (Pickzeitpunkt in Früh-, Spät-, Nachtschicht)
- Qualifikation
- Betriebszugehörigkeit
- Entlohnung
- Prämienzahlung
- Aufgabenwechsel

2.4.2 ARBEITSAUFGABE/ KOMMISSIONIERAUFTRAG

Die Arbeitsaufgabe charakterisiert die zur Erreichung des vorgegebenen Ergebnisses erforderliche Aktivität des Menschen. Im Falle der Kommissionierung die auftragspezifische Zusammenstellung von Artikeln (REFA Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V. 1984, S. 95).

In der Kommissionierung ist konkret die Ausführung des Kommissionierauftrages als Aufgabe zu sehen. Er wird aus dem Kundenauftrag generiert. Laut Schulte (2013, S. 272) kann das auf drei Weisen geschehen:

- Der Kundenauftrag wird um lagerspezifische Daten ergänzt: Die Reihenfolge der Artikel wird entsprechend der Lagerortvergabe zugeteilt, die Kommissionierung erfolgt sequentiell. Teilweise sind dabei Informationen vorhanden, die der Kommissionierer nicht braucht.
- Der Kundenauftrag wird gesplittet: Es entstehen mehrere Teilaufträge, die in

mehreren Zonen parallel bearbeitet werden. Zwar entwickelt sich ein Mehraufwand für die Zusammenführung der Teile, jedoch entsteht auch ein Vorteil durch geringere Durchlaufzeit und höhere Kommissionierleistung.

- Die Kundenaufträge werden zu internen Sammelaufträgen verdichtet: Die relativen Wegezeiten sinken, da ein Lagerplatz nicht für jeden Auftrag angefahren werden muss. Die Artikel müssen anschließend wieder auf die einzelnen Aufträge verteilt werden.

Eine Kommissionieraufgabe könnte mit verschiedenen Informationen hinterlegt werden, z.B. mit Daten aus der Auftragsstruktur (VDI 3590-2, S. 2–3):

- Auftragsarten: Groß-, Mittel-, Klein-, Eil-, Sonderaufträge, Kundengruppen, Versandart
- Auftragsgröße: (Position, Stück, Gewicht, Volumen)/Auftrag
- Anzahl Aufträge/ZE
- Anzahl Aufträge/Art
- Zugriffe/Position
- Wiederholhäufigkeit gleicher Artikel/ZE
- zeitliche Verteilung des Auftragseingangs
- Auftrags-DLZ

Das Element Arbeitsaufgabe gibt nur wenige Informationen über FbE. Meist sind diese schon aus den anderen Elementen bekannt. So wirken sich die Anzahl der Zugriffe/Position, die Wiederholhäufigkeit und die Anzahl der Aufträge vor allem auf das Element Mensch, seine Routine und Belastung aus. Inwieweit neue Hinweise zur Fehlerentstehung hervorgehen, muss von Fall zu Fall entschieden werden.

2.4.3 EINGABE/ ARTIKEL, INFORMATION

Das Systemelement Eingabe beschreibt die notwendigen Ressourcen zur Erfüllung der Arbeitsaufgabe. Das können Arbeitsgegenstände, Menschen, Informationen oder Energie sein, sofern sie im Sinne der Arbeitsaufgabe verändert oder verwendet werden sollen. In der Kommissionierung sind unter Eingabe vor allem Informationen und Artikel zu sehen. Hinzu kommen teilweise Ladehilfsmittel in Form von Kommissionierbehältern. Die ISO 3590 (S. 2-3) gibt an, welche artikelseitigen Basisdaten für die Kommissionierung relevant sind:

- Artikelstrukturdaten:
 - physisch: Abmessungen, Volumen, Gewicht, Form, Gefahrgutklasse, Stapelfähigkeit, OF-Merkmale, Druckempfindlichkeit, Temperaturkriterien
 - Zuordnungsdaten, z.B.: Zuordnung zu Artikelgruppen, Ladehilfsmitteln, Festlegung von Entnahmeeinheiten
- Absatzstrukturdaten
 - statische Daten: (charakteristische Eigenschaften des Artikels, langfristig): Stück/Ladehilfsmittel, Stück/Beschickungseinheit, Stück/Bereitstelleinheit
 - dynamische Daten (beeinflusst durch Markt): Gesamtbestand, Mindestbestand, Absatz/ZE, Absatz/Versandart, Zugriffshäufigkeit/ZE

Auf eine potentielle Fehlerentstehung wirken sich in erster Linie die Artikelstrukturdaten aus. Absatzstrukturdaten stehen in Wechselwirkung mit dem Kommissionierer. Häufigerer Zugriff und Routine wirken sich tendenziell positiv aus.

Die Art und Weise, wie Informationen an den Kommissionierer gelangen, spielt nach Lolling keine wesentliche Rolle. Er vergleicht die Fehlerraten insbesondere von automatisierten Informationssystemen und händisch geführten Picklisten. Dabei ergeben empirische Untersu-

chungen vergleichbare Fehlerwahrscheinlichkeiten der beleglosen (0,39%) und der belegbehafteten (0,35%) Kommissionierung (Lolling 2003, S. 50f.).

Demzufolge scheint der wirkliche Einfluss nur feststellbar, wenn in ein und demselben Kommissioniersystem zwei verschiedene Arten der Kommissioniererführung eingesetzt und die Daten verglichen werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wird die Art der Kommissioniererführung als eine relevante Fehlerbeeinflussende Eigenschaft betrachtet. Verbreitete Ausprägungen sind:

- Picklisten
- Mobile Scanner Pick-by-Scan
- Pick-by-Light
- Pick-by-Voice
- Pick-by Light

2.4.4 AUSGABE

Als Ausgabe werden die Ergebnisse der Arbeitsaufgabe bezeichnet. Es handelt sich um Informationen, Produkte und Energie, die im Sinne der Arbeitsaufgabe verändert, verwendet oder neu erstellt wurden. Bezogen auf die Kommissionierung handelt es sich hier um Kommissioniereinheiten, Ladehilfsmittel, Informationen und Informationsträger sowie um Reststoffe (Wichmann, 1994, S.21). Die fertig kommissionierten Kundenaufträge gelangen an nachgelagerte Prozesse, z.B. Verpackung oder Produktion.

2.4.5 ARBEITSABLAUF/ KOMMISSIONIERABLAUF

Der Arbeitsablauf beschreibt die einzelnen zu erledigenden Tätigkeiten zum Erfüllen der Arbeitsaufgabe. Für ein Kommissioniersystem kann dementsprechend in Organisations-, Materialfluss- und Informationssystem gegliedert werden. Die ISO 3590-1 gibt hierzu ausführliche Anleitung. Anhand der morphologischen Kästen kann der Ablauf beschrieben und Fehlerbeeinflussende Eigenschaften erkannt werden.

Die Ausprägungen des Materialflusssystems sind durch die Bedingung „manuelle Kommissionierung“ bereits vorbestimmt.

Das Organisationssystem kann hingegen durch folgende Bedingungen realisiert sein, aus denen Fehler mehr oder weniger begünstigt werden können:

- Zonenaufteilung
 - einzonig, mehrzonig
- Sammeln
 - nacheinander, gleichzeitig
- Entnahme
 - artikelorientiert, auftragsorientiert
- Abgabe
 - artikelorientiert, auftragsorientiert
- Auftragssteuerung
 - ohne/ mit Optimierung

Informationsflüsse bei der Durchführung der Kommissionierung betreffen nach VDI 3590-1 besonders die Weitergabe an den Kommissionierer und die Auftragsquittierung durch diesen.

Möglichkeiten sind:

- Weitergabe
 - ohne/ mit Beleg
 - Einzelposition, mehrere Positionen
- Quittierung
 - je Entnahmeeinheit, je Position, je Auftrag
 - manuell, manuell/ automatisch, automatisch

In diesem Zusammenhang spielt auch die eingesetzte Technik zur Kommissioniererführung eine Rolle (vgl. 2.4.3 Eingabe).

2.4.6 ARBEITS- UND BETRIEBSMITTEL

Die Arbeits- und Betriebsmittel stellen zusammen mit dem Menschen die Kapazitäten eines Arbeitssystems dar (REFA Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V. 1984, S. 96). Sie sind maßgeblich an der Ausführung der Arbeitsaufgabe beteiligt.

Wichmann (1994) zählt darunter

- Lagermittel
 - Regale, Bodenlagerung, usw.
- Transportmittel
 - z.B. Kommissionierwagen
- Fördertechnik
 - Förderbänder
 - Rollenbahnen
- Lade- und Transporthilfsmittel
 - Kommissionierbehälter
 - Lagerbehälter
- Informationsmittel
 - Waagen
 - Belege
 - Rechner
 - Technik zur Kommissioniererführung (vgl. 2.4.3 Eingabe, 2.4.6 Arbeits- und Betriebsmittel)

auf. Weitere Hilfsmittel sind denkbar, wie z.B. Trittleitern zum Erreichen hochgelegener Lagerplätze.

2.4.7 ARBEITSUMGEBUNG/ KOMMISSIONIERLAGER

Unter der Arbeitsumgebung sind Umwelteinflüsse sowie soziale und organisatorische Einflüsse, die auf das System oder in dem System wirken, erfasst. Die Umgebung eines Kommissionierers ist im Wesentlichen durch das Kommissionierlager geprägt. Die Aufgabe des Kommissionierlagers liegt in der Präsenzfunktion für die Artikel, die zu Aufträgen gehören können (Schulte 2013, S. 269f.).

Umwelteinflüsse können physikalischer, chemischer und biologischer Natur sein. Typische Beispiele im Kommissioniersystem sind:

- Beleuchtung
- Raumklima
- Lärm

Weitere Faktoren, wie Stäube, Dämpfe oder Strahlung sollten bei der Kommissionierung nur in Ausnahmefällen vorhanden sein. Eine Bewertung dieser Einflüsse auf den Kommissionierer erfordert Expertenmessungen. Eine qualitative Beurteilung benachbarter Bereiche hinsichtlich der Angemessenheit sollte aber auch ohne Expertenmeinung möglich sein. So wird der Unterschied eines Kühllagers gegenüber einem Lagers bei Zimmertemperatur sofort deutlich.

Unter soziale Einflüsse fallen Merkmale wie Arbeitszeiten, Entlohnungsgrundsätze, Anerkennung, Unternehmens- und Arbeitsstrukturen sowie Betriebsklima. Wechselwirkungen mit dem Systemelement „Mensch“ (Abschnitt 2.4.1) sind offensichtlich.

Organisatorische Einflüsse beziehen sich sowohl auf die Aufbau- als auch auf die Ablauforganisation. Ablauforganisatorische Aspekte werden bereits im Element, „Arbeitsablauf“ (Abschnitt 2.4.5), behandelt. Die Aufbauorganisation bezieht sich auf die Strukturierung des Kommissionierlagers.

Das Kommissionierlager kann in Lagerzonen gegliedert sein, die Artikeleigenschaften, Kundenstruktur oder Auftragsstruktur abbilden. Zur Versorgung dient ein Nachschublager. Artikel sind entweder fest zu Lagerplätzen zugeordnet oder frei angeordnet (chaotisch). Als Lager-typen kommen laut Schulte (2013)

- Bodenlager
- Regallager
- Fachbodenlager
- Umlaufregallager
- Durchlaufregallager

in Betracht, abhängig von Artikeleigenschaften, Behältern und Umschlagmengen.

2.4.8 ARBEITSPLATZ/ ENTNAHMEPLATZ, ABGABEPLATZ

Als konkreter Arbeitsplatz wird in diesem Zusammenhang primär der Entnahmeplatz gesehen, da hier eine Veränderung (Lage, Zustand) des Kommissioniergutes stattfindet. Der Entnahmeplatz ist der Lagerplatz eines Artikels. Sekundär ist auch der Abgabeplatz ein Arbeitsplatz, sowie der Weg zwischen Entnahme und Abgabe.

Folgende Faktoren spielen nach VDI 3590-2 (S. 2-4) (ergänzt durch Erfahrungswerte aus der Praxis) eine Rolle bei der Entstehung von Fehlern und betreffen unmittelbar den Arbeitsplatz des Kommissionierers:

- Entfernungen von Entnahme zu Abgabe
- Höhe des Entnahmeplatzes
- Anordnung der Artikel
 - chaotisch
 - Festplatzzuordnung
- Wegweisung/ Beschriftung der Gassen
- Kennzeichnung der Bereitstellplätze
 - Beschriftung
 - Strichcode
 - keine
- Abgrenzung der Bereitstellplätze
 - räumliche Trennung
 - keine Trennung
- Stufen der Kommissionierung
 - Einstufig, mehrstufig
 - Bereiche
- Sortimentsdaten:
 - Anzahl der Artikel,
 - ABC-Struktur,
 - Anzahl und Umfang von Artikelgruppen,
 - Produktgruppen

2.5 ZUSAMMENFASSUNG FEHLERBEEINFLUSSENDER EIGENSCHAFTEN

An dieser Stelle soll ein kurzer Überblick über die gefundenen Fehlerbeeinflussenden Eigenschaften entsprechend des zugeordneten Arbeitssystemelements gegeben werden. Ein Katalog mit beispielhaften Ausprägungen befindet sich außerdem im Anhang A1.

- Artikel:
 - Länge
 - Breite
 - Höhe
 - Gewicht
 - Formkennzeichen
 - Oberflächenmerkmale
 - Druckempfindlichkeit
 - Vereinzelbarkeit
 - Identifizierbarkeit
- Kommissionierer:
 - Schichtsystem
 - Qualifikation
 - Betriebszugehörigkeit
 - Lohn
 - Prämienzahlungen
 - Wechselnde Aufgaben
- Kommissionierablauf:
 - Zonenaufteilung
 - Sammeln
 - Entnahme
 - Abgabe
 - Auftragssteuerung
 - Weitergabe der Informationen
 - Quittierung
- Information (Eingabe):
 - Pickliste
 - Mobile Scanner
 - Pick by Light
 - Pick by Voice
 - Pick by Vision
- Arbeits- und Betriebsmittel:
 - Transportmittel
 - Fördermittel
 - Informationsmittel
 - Lade- und Transporthilfsmittel
 - Lagermittel
- Kommissionierlager:
 - Lagertyp
 - Beleuchtung
 - Raumklima
 - Lärm
- Entnahmeplatz, Abgabeplatz:
 - Beschriftung der Gassen
 - Wegweisung
 - Anordnung der Artikel
 - Entfernung der Entnahme vom Abgabeort
 - Höhe des Entnahmeplatzes
 - Kennzeichnung der Bereitstellplätze
 - Abgrenzung der Bereitstellplätze
 - Stufenweise Kommissionierung
- Kommissionierauftrag:
 - Kundenaufträge
 - Teilaufträge
 - Sammelaufträge

2.6 AUSWERTUNG BETRIEBSINTERNER INFORMATIONEN

Die Untersuchung eines Kommissioniersystems wie oben beschrieben kann durch eine Analyse betriebsinterner Daten ergänzt werden. In vielen Kommissioniersystemen erfolgen bereits interne Kontrollen. Außerdem sind Retouren von Aufträgen bekannt. Aus diesen Daten lassen sich zum einen Fehlerraten direkt bestimmen oder zumindest abschätzen, zum anderen können Hinweise auf Zusammenhänge von Fehlern und Fehlerbeeinflussenden Eigenschaften sichtbar werden. In Kapitel 3.1 (Schnellanalyse) sind Fragen angegeben, die anhand

von Vorwissen über die Fehlerrate Hinweise zur grundsätzlichen Eignung geben. Für eine solche Schnellanalyse sind betriebsinterne Informationen eine gute Hilfe.

2.6.1 INTERNE KONTROLLEN

In vielen Kommissioniersystemen erfolgen abschließende Kontrollen der Aufträge. Neben der korrekten Identität der Artikel soll dabei die Quantität festgestellt werden. Das kann manuell geschehen, unter Zuhilfenahme von Kontrolllisten oder der Lieferscheine oder automatisch mittels Barcodes oder einer Gewichtskontrolle (Schulte 2013, S. 278).

Weit verbreitet ist die Gewichtskontrolle der fertig kommissionierten Aufträge. Der Lagerrechner addiert die Sollgewichte der Artikel und vergleicht sie mit dem tatsächlichen IST-Gewicht. Die daraus generierten Informationen lassen verschiedene Schlüsse zu. Ergibt sich eine Differenz, so befinden sich im Packstück:

- Falsche Artikel
- Zu viele Artikel
- Zu wenige Artikel

Abgesehen davon existieren weitere mögliche Ursachen, die aber nicht auf Kommissionierfehler zurückzuführen sind. Dazu gehören falsch gepflegte Stammdaten, falsche Einstellungen der Waagen oder Umverpackungen der Entnahmeeinheiten. Weiterhin könnten Packstücke umgekippt oder zu zweit auf die Waage gelangt sein.

Die durch Nachkontrollen gefundenen (und korrigierten) Aufträge sollten in Datenbanken vorhanden und nutzbar sein. Aus ihnen lässt sich eine initiale Fehlerrate berechnen. Zu beachten ist, dass eine Gewichtskontrolle das Konzept der integrierten Fehlerraterfassung nicht ersetzt, sondern dieses ergänzt. In der Regel werden Gewichtsprüfungen zur Aufwandsminimierung stichprobenartig durchgeführt. Genau diese Stichproben sollen mit IFRAK vorgegeben werden. Weiterhin hat auch die Gewichtsprüfung ihre Grenzen. Liegt ein Zustandsfehler vor oder ein Typfehler, bei dem sich das Gesamtgewicht der Artikel nicht unterscheidet, versagt die Gewichtsprüfung.

2.6.2 RETOUREN

Reklamationen stellen laut Lolling (2003, S. 43) eine weitere Möglichkeit der Fehlerratermittlung dar. Hier sind aber Differenzierungen entsprechend dem nachgelagerten Prozess der Kommissionierung nötig.

Handelt es sich beim Kunden der Kommissionierung um einen privaten Endkunden, so kann davon ausgegangen werden, dass Reklamation von Ware mit geringerem Wert und Lieferung zu geringer Mengen angezeigt werden. Handelt es sich aber um ein höherwertiges Produkt höherwertige Ware oder um zu große Lieferumfänge, ist damit zu rechnen, dass nur äußerst selten eine Reklamation stattfindet. Eine Analyse hinsichtlich Mengenfehler verschiebt das Bild somit in Richtung „zu wenig Lieferung“. Fehler, die den Zustand betreffen, lassen sich nur sehr schwer zuordnen. Ob die Ursache in der Kommissionierung zu suchen ist, erst beim Transport oder der Fehler gar vom Endkunden selbst ausgelöst wurde, ist nicht überprüfbar. Je nach Schwere des Fehlers wird ein Kunde auch abwägen, ob sich der Aufwand einer Reklamation überhaupt lohnt. Als Indikator für die Fehlerrate sind Retouren in diesem Fall als wenig geeignet.

Erfolgen Lieferungen ausschließlich an geschäftliche Kunden (zweiseitiger Handelskauf), ergibt sich ein anderes Bild. Gemäß §377 HGB (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz 04.10.2013) sind Käufer dazu verpflichtet, eingehende Waren sofort auf Mängel zu prüfen. Sofern es sich um regelmäßige Kundenkontakte handelt, sollten beide

Seiten ein Interesse an guten Beziehungen haben und deshalb Fehllieferungen zu Gunsten des Kunden reklamieren.

Retouren sind in so einem Fall ein gutes Kennzeichen für die Fehlerrate (vgl. Mickoleit 2014) Dient die Zusammenstellung von Artikeln für interne Kunden, wie die Produktion oder die Montage, so sind Kommissionierfehler auf diese Weise erfassbar.

Falsch kommissionierte Artikel sollten in der Regel auffallen, sofern sie vom Werker erkannt werden können. Eine zuverlässige Rückmeldung und Dokumentation muss dabei aber gewährleistet sein. Das gilt auch, wenn die Schwere des Fehlers als sehr gering eingeschätzt wird und der Aufwand einer Dokumentation gescheut wird (Ihloff 2013). Leider kommt es auch vor, dass zu viel gelieferte Teile als Reserve am Montageplatz zurückgehalten werden oder einfach verschwinden. Ist es dem Werker möglich, direkt ins Lager zu gehen und Artikel auszutauschen, dann wird eine zuverlässige Fehlerdokumentation ebenfalls untergraben. Allen Reklamationen gemein ist der Zeitverzug zwischen Auftreten des Fehlers und Rückmeldung. Er erschwert die Auswertung der ermittelten Fehlerrate (Lolling, 2003, S. 44). Dennoch bieten Retouren wertvolle Informationen zur Validierung einer initialen Fehlerrate.

2.7 IDENTIFIZIERUNG FEHLERBEEINFLUSSENDER EIGENSCHAFTEN

Jedes Kommissioniersystem ist individuell und kann daher nur direkt vor Ort analysiert werden. Die Kategorisierung erfolgt dabei nach dem Arbeitssystemmodell nach REFA. Der Katalog erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Auch müssen nicht alle Faktoren in einem Kommissioniersystem vorhanden sein oder Einflüsse auf die Fehlerentstehung haben. Der Anwender soll vor allem sensibilisiert und unterstützt werden. Tabelle 2 zeigt exemplarisch einen Auszug aus dem Merkmalskatalog.

Tabelle 2: Merkmalskatalog (Auszug)

Artikel			
FbE	Beispielhafte Ausprägungen		Fragestellungen zur tieferen Ursachenuntersuchung
Länge	konkrete oder Abmessungen	klassifizierte	Wie ist der Artikel zu handhaben und zu erkennen? Kann er einzeln und direkt gegriffen und getragen werden?
Breite	konkrete oder Abmessungen	klassifizierte	
Höhe	konkrete oder Abmessungen	klassifizierte	
Gewicht	Konkrete oder Gewichte	klassifizierte	Kann Artikel von einer Person einzeln gegriffen und getragen werden? Ist durch wiegen in der Hand die Anzahl eindeutig abschätzbar? Sind schwere Artikel gegen Herabfallen geschützt?

Der Merkmalskatalog ordnet den Elementen des Arbeitssystems Fehlerbeeinflussende Faktoren zu, wirft Fragen und Erläuterungen zur Beschreibung des Kommissioniersystems auf und sensibilisiert so für mögliche Fehlerpotentiale. Die enthaltenen Faktoren und Ausprägungen sind Beispiele aus der Literatur und der Praxis. Dabei wurde primär Bezug auf Merkmale genommen, die in einem WMS abgebildet oder anderweitig in Datenbanken verfügbar sind.

Zur Navigation und als Verknüpfungspunkt sowohl zum Arbeitssystemmodell als auch zum WMS, ist der Katalog in Kategorien eingeteilt. Es wird zwischen den folgenden Kategorien unterschieden:

- Artikel (Eingabe, Ausgabe)
- Kommissionierer
- Kommissionierablauf
- Information (Eingabe)
- Arbeits- und Betriebsmittel
- Kommissionierlager
- Entnahmeplatz, Abgabeplatz

Neben den Eigenschaften sind auch beispielhafte Ausprägungen und Fragestellungen in dem Katalog enthalten. Die Ausprägung zeigt Beispiele auf, wie die Eigenschaft charakterisiert sein könnte. Beispielhafte Informationen sind Listen der Artikel oder der Behälter. Die Spalte Fragestellung gibt Anregungen, warum, wann und wie eine Eigenschaft als FbE zu sehen ist.

Eine einfache schematische Darstellung der gefundenen Merkmale, z.B. wie in Tabelle 3, erlaubt die systematische Ausführung und Strukturierung der gewonnenen Erkenntnisse. Der Fehlerbeeinflussende Faktor als fixe Eigenschaft des Kommissioniersystems wird ergänzt durch notwendige Ausprägungen, die zur Fehlerentstehung unabdingbar sind sowie durch mögliche konkrete Ursachen. Eine Fehlerursache ist ein Gegenstand/Sachverhalt, der direkt negativ auf den Kommissioniervorgang wirkt. Hierbei ist allerdings das Prinzip der Ursachenketten nach Hacker (2005, S. 680f.) zu beachten. Eine Ursache kann demnach immer auf eine weitere Ursache zurückgeführt werden, sozusagen „Ursachen von Ursachen“ (Hacker 2005, S. 681). Weiterhin gilt das ebenfalls bei Hacker (2005, S. 681) beschriebene Prinzip der multiplen Determination. Demnach existieren Ursachenkomplexe, deren Bestandteile mit unterschiedlicher Gewichtung Einfluss nehmen. Es gibt also nicht die eine Ursache, weswegen eine exakte Bestimmung so nicht möglich ist. Dennoch kann hier der Versuch unternommen werden, ein beeinflussbares Glied der Ursachenkette bzw. des Ursachenkomplexes zu finden und nach Möglichkeiten der Korrektur zu suchen.

Tabelle 3: Schema zur Klassifizierung (Beispiel)

FbE	Ausprägung	Konkrete Fehlerursache	Fehlerart
Artikellänge	hoch	Länge des Artikels erschwert Heben und Tragen	Zustandsfehler
	mittel	-	
	gering	Greifen eines einzelnen Artikels nicht möglich	Mengenfehler, Typfehler

Der Aufwand der Fehlerratenanalyse schränkt sich stark ein, wenn Redundanzen auftreten. Dabei sind Ausprägungen von FbE schon eindeutig durch andere FbE definiert. Solche Redundanzen ergeben sich direkt während der Analyse. Beispielsweise könnten die Mitarbeiter den Lagern fest zugeordnet sein. Vom Mitarbeiter kann dann direkt auf das Lager geschlossen werden. Ist in einem Lager nur ein System zur Kommissionierführung vorhanden (z.B. Pickliste), dann kann direkt vom Lager auf das System geschlossen werden. Besteht eine Festplattuordnung von Artikeln zu Lagerplätzen, ergibt sich aus dem kommissionierten Artikel direkt der Entnahmeplatz.

3 KLASSENBILDUNG

Die schiere Vielfalt an unterschiedlichen Merkmalen einer Kommissionierposition kann durch eine Klassifizierung erfasst werden. Eine solche Klassenbildung reduziert die Menge an unterschiedlichen Positionen stark. Weiterhin ist sie notwendig, um überhaupt Fehlerraten zu erfassen. Eine einzelne Position kann nur entweder fehlerfrei oder fehlerhaft kommissioniert sein. Ein Anteil von Fehlern lässt sich dagegen nur angeben, wenn mehrere Positionen zusammengefasst sind. In einer Klasse aus mehreren Positionen lässt sich ein Anteil an fehlerhaften Positionen und damit eine Fehlerrate ermitteln.

Klassen lassen sich erst bilden, wenn verschiedene Ausprägungen in ein und demselben System bestehen. Ist z.B. die Kommissionierführung durchgehend durch Pick-by-Voice geregelt, lässt sich vielleicht die Aussage treffen, das dieses System gewisse Vor- und Nachteile gegenüber Pick-by-Light hat, als Klassifizierungskriterium eignet es sich aber nur, wenn sowohl PbV als auch PbL vorkommen. Ein extremes Beispiel festigt das Verständnis: Ist lediglich eine Artikelart vorhanden, ergibt eine Klassifizierung nach Artikelgröße und -gewicht wenig Sinn, da jeder Artikel die gleichen Ausprägungen besitzt.

Weiterhin kann aber das Zusammenspiel verschiedener FbE Einfluss auf die Fehlerrate haben. So wirkt sich ein hoher Lärmpegel zusätzlich auf die Funktionsweise eines Pick-by-Voice-Systems aus oder die mangelnde Verfügbarkeit von Trittleitern auf die Erreichbarkeit hochgelegener Lagerplätze (Provokation von Zustandsfehlern).

Mit Hilfe der gewonnenen Informationen werden Kommissionersysteme entsprechend der Ausprägungen ihrer FbE klassifiziert. Ausgewählte Möglichkeiten zur Wahl der Klassen sind folgende:

- Eigene Wahl durch Vorwissen/ Voruntersuchungen
- Klassifizierung nach VDI 3590-1
- Clustering mit Hilfe der Clusteranalyse

Eine eigene Wahl durch individuelles Vorwissen kann vor allem dann erfolgen, wenn ein Kommissioniersystem sehr übersichtlich ist, z.B. wenn mehrere Eigenschaften nur eine Ausprägung besitzen, nur wenige Artikel und Kommissionierer vorhanden sind, oder bereits Untersuchungen zu Fehlerschwerpunkten vorliegen. Eine Klassifizierung wie in VDI 3590-1 gruppiert nach festen Merkmalen, die nicht unbedingt mit den FbE in Zusammenhang stehen. Bereits in Kapitel 2.3 (Fehlerbeeinflussende Eigenschaften) wurde deutlich, dass die VDI vor allem technisch-zentriert ist und menschliche Einflüsse nur am Rande betrachtet.

Eine Clusteranalyse hingegen kann nach beliebigen Variablen durchgeführt werden, so dass nicht nur messbare (technische) Eigenschaften, sondern auch solche, die nur zählbar oder verbal beschreibbar sind, Beachtung finden. Ein wesentliches Merkmal der Clusteranalyse ist, dass sie alle vorliegenden Eigenschaften gleichzeitig zur Klassifizierung heranzieht

3.1 SCHNELLANALYSE

Vor der eigentlichen Klassenbildung soll eine Schnellanalyse (Pretest) angesetzt werden. Sie soll primär aufdecken, ob die Fehlerrate überhaupt ausreichend hoch ist, um sie zu überwachen. Eine **grundsätzliche Anwendbarkeit** ergibt sich daraus.

Wenige Fragen klären ab, ob bereits Verfahren zur Fehlerprüfung angewendet werden und ob schon Aussagen über eine Fehlerrate gemacht werden können. Ist die aktuelle Fehlerrate deutlich unter der von Lolling (2003, S. 45) beschriebenen mittleren Fehlerrate, so entsteht durch die Stichprobenprüfung sehr wahrscheinlich viel Aufwand. Zur Abschätzung der Feh-

lerrate ist dann ein hoher Umfang an Positionsprüfungen notwendig. Abbildung 7 zeigt das entsprechende Frageschema.

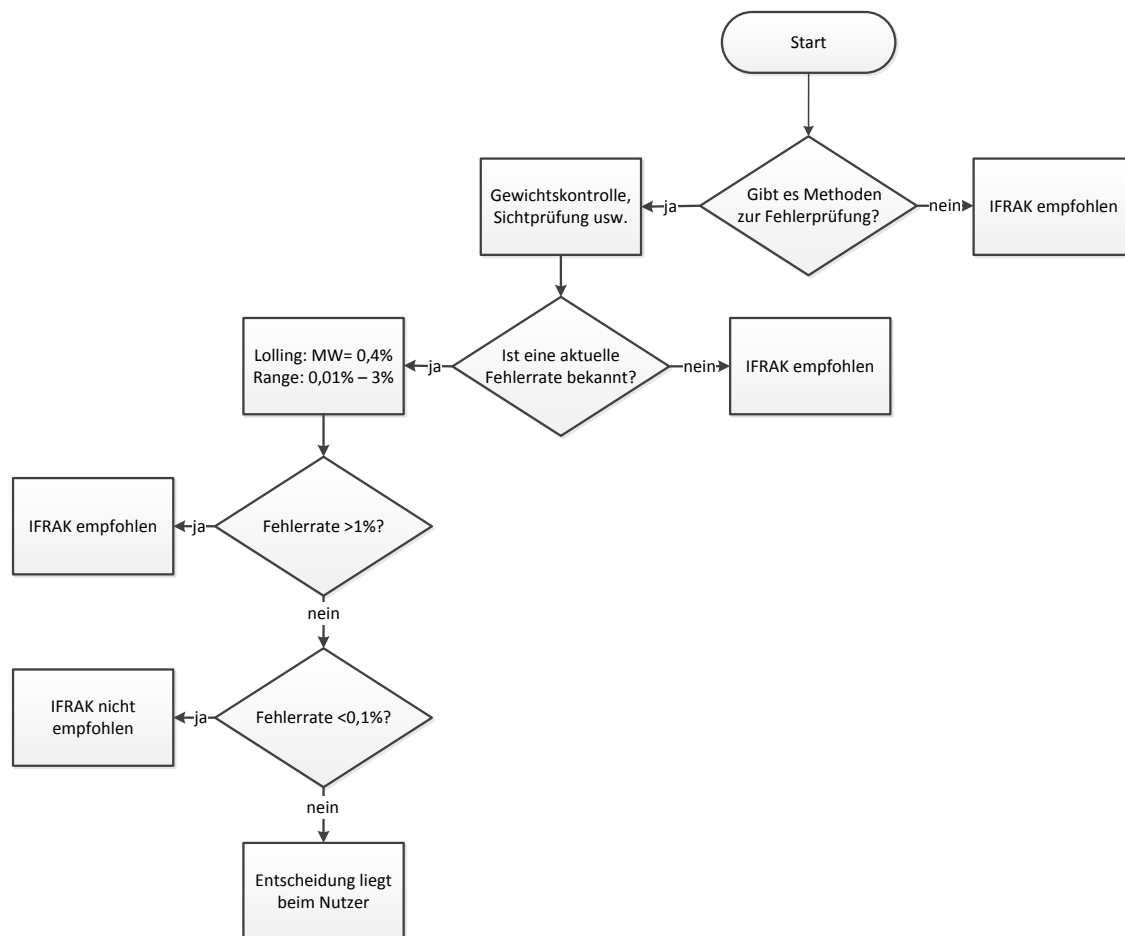


Abbildung 7: Fragen zur prinzipiellen Eignung von IFrAK

Für eine erfolgreiche Anwendung ist es außerdem wichtig, dass die FbE eine Klassenbildung ermöglichen und diese auch in Zukunft erhalten bleibt. Ändert sich beispielsweise das Artikelspektrum sehr schnell und oft, bleiben die Klassen nicht aktuell und die Zuteilung von zukünftigen Aufträgen zu Klassen ist nicht möglich.

Im Unternehmen müssen die Voraussetzungen für eine permanente Stichprobennahme vorhanden sein. Das ist eine Frage der Ressourcen und der Geschäftsprozesse.

Weiterhin soll der **Aufwand** und der Nutzen der Anwendung anhand einiger Eckdaten abgeschätzt werden. Mit Hilfe weniger repräsentativer Fehlerbeeinflussender Eigenschaften und weniger Datensätze aus der Vergangenheit können Vermutungen geäußert werden, wie viele Klassen voraussichtlich gebildet werden müssen. Je heterogener die FbE und deren Ausprägungen sind, umso mehr Klassen werden gebildet und umso umfangreicher wird die kontinuierliche Auswertung der Fehlerraten, die für jede Klasse erfolgen soll. Es handelt sich bei den verwendeten Eigenschaften um solche, die auch ohne eine tiefgreifende Analyse schnell zu ermitteln sind (Tabelle 4).

Tabelle 4: Fehlerbeeinflussende Eigenschaften zur Aufwandsabschätzung

Metrische Variablen	Binäre Variablen
Artikellänge	Stufenweise Kommissionierung
Artikelbreite	Pickliste
Artikelhöhe	Mobile Scanner
Artikelgewicht	Pick-by-Light
Betriebszugehörigkeit	Pick-by-Voice
Lohn	Pick-by-Vision
Prämien	Kundenaufträge
Entfernung der Entnahme vom Abgabeort	Teilaufträge
Höhe des Entnahmeplatzes	Sammelaufträge

Die Ausprägungen der Eigenschaften in den Kommissionierpositionen eines repräsentativen Zeitraums (z.B. 1000 Picks, Leistung eines Tages, Leistung einer Woche) werden einer **Korrelationsanalyse** unterzogen. Zeigen sich Korrelationen zwischen einzelnen Eigenschaften, sind diese eher homogen ausgebildet. Die Klassenanzahl und damit auch der Aufwand sind dann gering. Korrelationen könnten z.B. zwischen den Artikelabmessungen und dem Gewicht auftreten. Weiterhin kann eine hierarchische Clusteranalyse durchgeführt werden (vgl. 3.2.3 Auswahl des Fusionierungsalgorithmus). Das Ergebnis sind Silhouettenplots verschiedener Klassenanzahlen. Mit Hilfe der Ausführungen in Kapitel 3.2.4 (Bestimmung der Clusterzahl) wird ersichtlich, welche Anzahl von Klassen sinnvoll ist. Je höher sie ist, umso aufwändiger wird die Fehlerratermittlung. Wie aus den Randbedingungen in Kapitel 4.3.2 (Einfacher Prüfplan) entnommen werden kann, kann aus jeder Klasse ein maximaler Stichprobenumfang von 10% entnommen werden, mindestens sind jedoch 30 Stichproben nötig, um eine Fehlerrate zu bestimmen. Soll die Fehlerrate tagesaktuell ermittelt werden (N=Tagesmenge), sind bei 10 Klassen dann mindestens 300 Stichproben pro Tag nötig.

3.2 CLUSTERANALYSE

Ziel der Clusteranalyse ist es, Objekte so zu gruppieren, dass Objekte innerhalb einer Gruppe möglichst ähnlich, die Gruppen untereinander hingegen möglichst unähnlich sind (Backhaus et al. 2011, S. 19). Ein Beispiel sind die Positionen eines Kommissionierauftrages, von denen die Merkmale erhoben werden, die eine Fehlerentstehung begünstigen können. Positionen, die die gleichen oder sehr ähnliche Ausprägungen aufweisen, sollen zu einer Gruppe zusammengefasst werden. Dagegen sollen Positionen, die völlig andere Ausprägungen aufweisen einer anderen, deutlich abgegrenzten Gruppe angehören. Eine „richtige“ Klassifikation existiert nicht. Die Aufteilung ist immer von der Zielsetzung abhängig. Ebenso besteht meist keine Vorgabe oder Vorstellung von der Anzahl der Gruppen, sowie von der Zugehörigkeit von Objekten zu diesen. (Neuwirth o.J., S. 1).

Der Ablauf einer Clusteranalyse besteht im Wesentlichen aus drei Schritten:

1. **Bestimmung der Ähnlichkeit bzw. Distanz:** Hier werden für jeweils zwei Objekte (Positionen) die Merkmalsausprägungen erfasst und die Übereinstimmung bzw. die Unterschiedlichkeit bestimmt (Kapitel 3.2.1).
2. **Fusionierung:** Auf Basis der Ähnlichkeit bzw. Distanz lassen sich die Objekte jetzt gruppieren. Hier stehen verschiedene Algorithmen zur Verfügung, die je nach Anwendungsfall besser oder schlechter geeignet sind (Kapitel 3.2.3).
3. **Bestimmung der optimalen Clusteranzahl:** Die Anzahl der Cluster erschließt sich i.d.R. nicht aus dem Fusionierungsalgorithmus. Ohne Entscheidung durch den Anwender ist eine Clusteranzahl von 1 möglich, dagegen kann aber auch jedes Objekt ein einzelnes Cluster darstellen (Backhaus et al. 2011, S. 398–399) (Kapitel 3.2.4).

Die gebildeten Cluster müssen anschließend anhand der Eigenschaften und Ausprägungen gedeutet werden.

3.2.1 BESTIMMUNG VON ÄHNLICHKEITEN UND DISTANZEN

Eine Rohdatenmatrix liefert die Ausgangswerte zur Bestimmung wie ähnlich oder unähnlich zwei Objekte einander sind. Hier sind die einzelnen Objekte aufgelistet. Sie werden durch Variable beschrieben. Die Variablen können dabei sowohl metrisch, ordinal, binär als auch nominal sein. Die Matrix spiegelt alle denkbaren Ähnlichkeiten und Distanzen (auch Proximitätswerte genannt) wieder.

Tabelle 5: Beispiel einer Rohdatenmatrix

Position	Artikelgewicht [kg]	Mitarbeiterqualifikation	Behältertyp	Lagertyp	...
1	10	Leiharbeiter	Palette	Bodenlager	...
2	0,5	Leiharbeiter	Sichtbehälter	Regallager	...
3	2	Fachkraft	Sichtbehälter	Regallager	...
4	3	Fachkraft	Sichtbehälter	Regallager	...
5	7,5	Azubi	Palette	Regallager	...
6	6	Fachkraft	Palette	Bodenlager	...

Ähnlichkeiten bestehen zwischen Objekten, deren Eigenschaften annähernd gleich ausgeprägt sind. Je größer der Ähnlichkeitswert ist, umso ähnlicher sind sie sich. Die Eigenschaft „Mitarbeiterqualifikation“ ist bei den Positionen 1 und 2 in Tabelle 5 sehr ähnlich ausgeprägt. Beide wurden von Leiharbeitern bearbeitet. In der Eigenschaft Artikelgewicht sind die Positionen dagegen sehr unähnlich. Sie weisen eine hohe Distanz auf. Distanzen geben die Unähnlichkeit zwischen Objekten wieder. Je größer der Distanzwert, desto unterschiedlicher sind die Objekte. Ähnlichkeit und Distanzwert sind direkt voneinander abhängig (Backhaus et al. 2011, S. 415).

Sinn und Zweck der Ähnlichkeitsbestimmung ist es, in einer quadratischen Matrix jedes Objekt jedem anderen Objekt gegenüber zu stellen. Zwischen ihnen werden die Proximitätswerte quantifiziert. Wird dabei die Ähnlichkeit der Variablen angegeben, so handelt es sich um eine Ähnlichkeitsmatrix, eine Distanzmatrix besteht dagegen, wenn die Unähnlichkeit

erfasst ist (Backhaus et al. 2011, S. 399). Tabelle 6 und Tabelle 7 geben jeweils ein Beispiel zur Verdeutlichung an. Die Matrizen können für jede Eigenschaft separat erstellt werden, Ziel ist jedoch eine Matrix, die alle Eigenschaften zu einer Gesamtähnlichkeit zusammenfasst.

Tabelle 6: Beispiel einer Distanzmatrix, Variable Artikelgewicht

Position	1	2	3	4	5	6
1	-					
2	9,5	-				
3	8	1,5	-			
4	7	2,5	1	-		
5	2,5	7	5,5	4,5	-	
6	4	5,5	4	3	1,5	-

Tabelle 7: Beispiel einer Ähnlichkeitsmatrix, stimmen Merkmale überein, so wird das durch eine 1 verdeutlicht

Position	1	2	3	4	5	6
1	-					
2	1	-				
3	0	0	-			
4	0	0	1	-		
5	0	0	0	0	-	
6	0	0	1	1	0	-

Abhängig vom Skalenniveau existieren eine Vielzahl von unterschiedlichen Proximitätsmaßen (Wiedenbeck und Züll 2001, S. 2). Ist das Skalenniveau **metrisch**, so ist auch die Differenz der Zahlen als Distanz interpretierbar (Buttler und Fickel 1995, S. 4). Verbreitet ist dazu die Euklidische Distanz:

$$d_{k,l} = \sqrt{\sum_{j=1}^J (x_{k,j} - x_{l,j})^2}$$

Alternativ wird auch die City-Block-Metrik verwendet:

$$d_{k,l} = \sum_{j=1}^J (x_{k,j} - x_{l,j})$$

$d_{k,l}$ = Distanz der Objekte k und l

$x_{k,j}, x_{l,j}$ = Wert der Variablen j bei Objekt k, l ($j = 1, 2, \dots, J$)

Bei **binär** skalierten Variablen wird für zu vergleichende Objekte entschieden, ob eine Eigenschaft bei beiden Objekten vorhanden ist oder nicht. Tabelle 8 zeigt die verschiedenen Möglichkeiten auf.

Tabelle 8: Kombinationsmöglichkeiten von binären Variablen (nach Backhaus et al. 2011, S. 402)

Objekt 1	Objekt 2		Zeilensumme
	Eigenschaft vorhanden (1)	Eigenschaft nicht vorhanden (0)	
Eigenschaft vorhanden (1)	a	c	a+c
Eigenschaft nicht vorhanden (0)	b	d	b+d
Spaltensumme	a+b	c+d	m

Für rein binäre Eigenschaften existieren zahlreiche Maßzahlen, die den Variablen a, b, c und d die jeweilige Anzahl der Eigenschaften zuordnet und daraus eine Ähnlichkeit errechnet. Der M-Koeffizient beispielsweise zählt lediglich die Übereinstimmungen (a und d) bezogen auf die Summe:

$$S_{ij} = \frac{a + d}{m}$$

Binär skalierte Variablen können u.U. asymmetrisch sein. Hier spielt das gemeinsame Vorhandensein eines Merkmals eine andere Rolle für die Ähnlichkeit, als das Nichtvorhandensein. Ist das der Fall, kann die Ähnlichkeit besser mit dem Jaccard-Koeffizienten berechnet werden (Backhaus et al. 2011):

$$S_{ij} = \frac{a}{a + b + c}$$

Bei **nominal** skalierten Variablen, die nicht mit Zahlenwerten auszudrücken, sondern lediglich verbal beschreibbar sind, bestehen zwei Möglichkeiten der Behandlung. Sie können entweder in binäre Variablen transformiert oder ihre Häufigkeitsdaten analysiert werden. Bei der Zerlegung in binäre Variable wird für jede Ausprägung eine eigene Hilfsvariable eingeführt, die erfüllt oder nicht erfüllt ist. Bei einer hohen Anzahl von Ausprägungen und wenn diese für verschiedene Eigenschaften sehr verschieden ist, führt dieses Vorgehen allerdings zu starken Verzerrungen. Werden Häufigkeitsdaten analysiert, wird ebenfalls jede Ausprägung als eigene Hilfsvariable betrachtet. Die Häufigkeit der Nennung wird jeder Ausprägung zugeordnet. Mit Hilfe eines Chi-Quadrat-Homogenitätstests lässt sich daraus eine Unähnlichkeit bestimmen (Backhaus et al. 2011).

An dieser Stelle soll nicht näher auf die Behandlung der Variablen eingegangen werden, denn häufig sind **gemischt skalierte** Variablen vertreten (Kaufman und Rousseeuw 1990, S. 32). Sie lassen sich nicht unmittelbar vergleichen.

3.2.2 PROXIMITÄT BEI GEMISCHT SKALIERTEN VARIABLEN

Eine gesamte Ähnlichkeit bzw. Distanz zwischen zwei Objekten ergibt sich aus den Proximitätswerten aller ihrer Eigenschaften. Sind diese Eigenschaften unterschiedlich skaliert, können sie nicht ohne weiteres miteinander verrechnet werden. So auch bei den fehlerbeeinflussenden Merkmalen in der Kommissionierung. Beispiele sind:

- Gewicht eines Artikels: metrische Skalierung
- Transportmittel: nominale Skalierung
- Schichtsystem: ordinale Skala
- Pickliste: binäre Skala

Verschiedene Strategien zum Umgang mit gemischt skalierten Variablen sind in der Literatur beschrieben.

Eine Möglichkeit besteht in einer getrennten Berechnung von Ähnlichkeitswerten für nominale Variablen und Distanzwerten für metrische Variablen, z.B. mittels euklidischer Distanz. Ein (evtl. gewichteter) Mittelwert ergibt die Gesamtdistanz. Dabei wird auch zunutze gemacht, dass der normierte Wert für die Ähnlichkeit in einen Distanzwert umgerechnet werden kann. Ihre Summe ergibt 1 (Backhaus et al. 2011, S. 415).

Eine weitere Option transformiert Variablen von einem höheren auf ein niedrigeres Skalenniveau. Die möglichen Ausprägungen sind in Klassen eingeteilt. Werden bestimmte Werte überschritten, wird die Eigenschaft in eine andere Klasse eingeordnet. Bewertet wird anschließend nur die Zugehörigkeit zu einer Klasse, als Codierung. Beispielsweise kann das Artikelgewicht in drei Klassen eingeteilt werden:

- Klasse 1: 0 kg bis 2 kg
- Klasse 2: > 2 kg bis 4 kg
- Klasse 3: > 4 kg bis 6 kg

Das wahre Gewicht einer Position spielt damit keine Rolle mehr, sondern nur noch die Codierung als Klasse 1, 2 oder 3 (Backhaus et al. 2011, S. 415f.).

Schließlich soll hier noch der Koeffizient von Gower als Möglichkeit zum Umgang mit unterschiedlich skalierten Variablen vorgestellt werden (Gower 1971):

$$d_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^p \delta_{ij}^{(k)} d_{ij}^{(k)}}{\sum_{f=1}^p \delta_{ij}^{(k)}}$$

Die Distanzen von binär und nominal skalierten Merkmalen werden binär codiert:

$$d_{ij}^{(k)} = \begin{cases} 1 & \text{wenn } x_{ik} \neq x_{jk} \\ 0 & \text{wenn } x_{ik} = x_{jk} \end{cases}$$

Metrische Merkmale hingegen werden noch mit Hilfe des Ranges des Merkmals x normiert:

$$d_{ij}^{(k)} = \frac{|x_{ik} - x_{jk}|}{R(k)}$$

Mit

$$R(k) = \max x_{ik} - \min x_{ik}$$

Über den δ -Wert können fehlende Werte ($\delta=0$) behandelt werden. Außerdem finden asymmetrische Binärwerte Berücksichtigung: sind die Werte bei beiden Objekten nicht vorhanden und wird das nicht als Ähnlichkeit gewertet, wird $\delta=0$ (Backhaus et al. 2011, S. 417).

3.2.3 AUSWAHL DES FUSIONIERUNGSLGORITHMUS

Die Bestimmung der Ähnlichkeit bzw. der Distanz bildet die Grundlage für die Fusionierung. Als verbreitete Verfahren zu diesem Zweck sind hierarchische Verfahren und partitionierende Verfahren zu nennen. Die ebenfalls vorhandenen graphentheoretischen und Optimierungsverfahren spielen eine untergeordnete Rolle und sollen hier nicht weiter betrachtet werden. Abbildung 8 Abbildung 8: Fusionierungsalgorithmen, Abbildung nach (Backhaus et al. 2011,

S. 418) gibt Überblick über einige verschiedene Algorithmen. (Backhaus et al. 2011, S. 417–418)

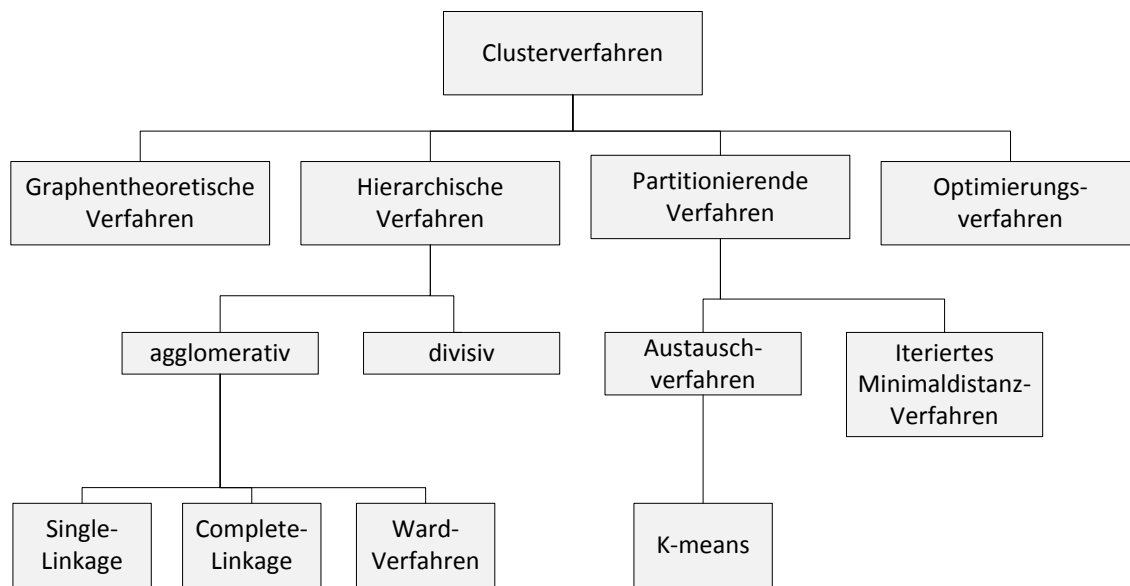


Abbildung 8: Fusionierungsalgorithmen, Abbildung nach (Backhaus et al. 2011, S. 418)

Hierarchische Verfahren versuchen, schrittweise Cluster zu bilden, bis eine ausreichende Anzahl vorhanden ist. Die Verfahren können grafisch verdeutlicht werden mittels eines Dendrogramms (Backhaus et al. 2011, S. 418).

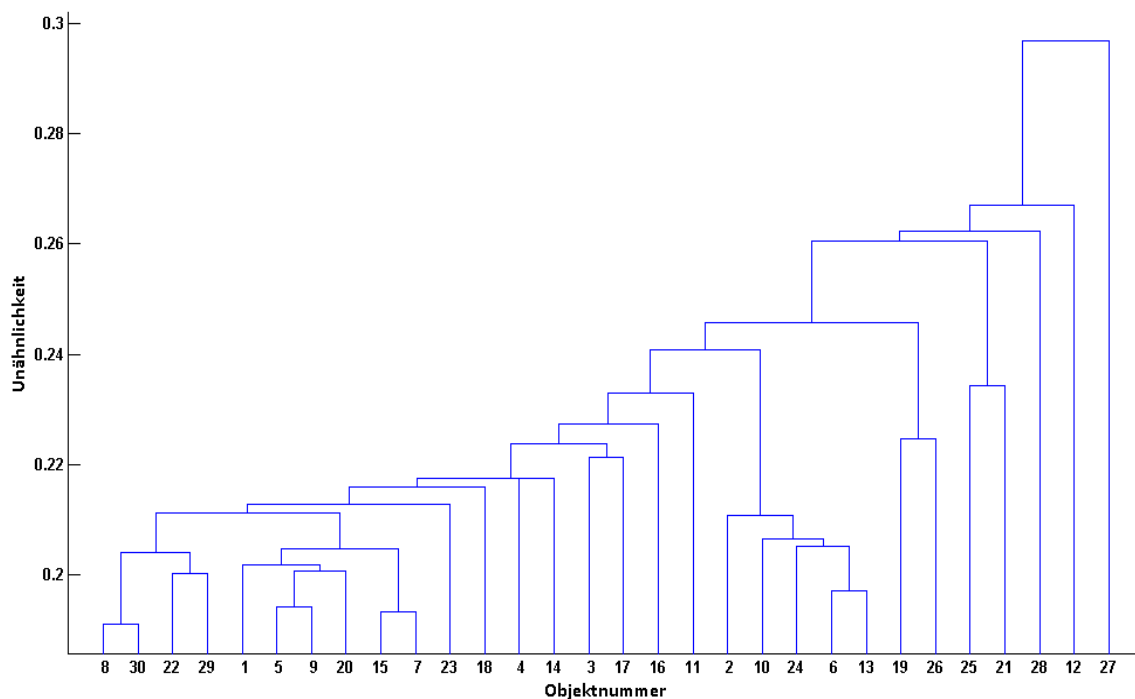


Abbildung 9: Beispiel eines Dendrogramms

(Hierarchisch-)Agglomerative Verfahren gehen davon aus, dass ursprünglich jedes Objekt ein Cluster darstellt. Durch zusammenfassen der beiden ähnlichsten Objekte wird das erste Cluster kreiert. Anschließend wird die Ähnlichkeitsmatrix neu berechnet und wieder die größte Ähnlichkeit zwischen zwei Objekten bzw. einem Cluster und einem Objekt als Krite-

rium genommen, um diese zusammen zu fassen. Die folgenden 5 Schritte verdeutlichen das Prinzip:

1. In der "Startpartition" bildet jedes Objekt ein eigenes Cluster
2. Für alle Objekte wird die paarweise Ähnlichkeit/Distanz zu jedem anderen Objekt berechnet (vgl. Ähnlichkeits-/Distanzmatrix)
3. Die beiden Cluster mit der größten Ähnlichkeit (kleinsten Distanz) werden gesucht und zusammengefasst. Somit sinkt die Anzahl der Cluster um eins.
4. Die Abstände zwischen den neu gebildeten und den schon vorhandenen Gruppen werden neu berechnet. Es entsteht eine reduzierte Distanzmatrix
5. Die Schritte 3 und 4 werden solange wiederholt, bis im Extremfall nur noch eine Gruppe existiert, bzw. bis ein Abbruchkriterium erfüllt ist.

Die verschiedenen Algorithmen unterscheiden sich im Wesentlichen durch die Ermittlung der Distanz von einem Objekt und einem gebildeten Cluster bzw. zwischen zwei Clustern. Dabei kann die kleinste Distanz der Einzelobjekte zweier Cluster ausschlaggebend sein (single Linkage-Verfahren) oder die größte Distanz (Complete-Linkage-Verfahren). Beim Centroid-Verfahren spielt der Schwerpunkt der Distanzen eine Rolle (Backhaus et al. 2011, S. 422ff.).

Das Ward-Verfahren bildet innerhalb der agglomerativen Algorithmen einen Sonderfall. Zur Fusion der Gruppen wird nicht die Distanz zwischen Objekten oder Gruppen herangezogen, sondern ein vorgegebenes Heterogenitätsmaß. Es werden die Gruppen zusammengefasst, die die Varianz innerhalb der neu entstehenden Gruppe möglichst wenig erhöhen. Als Maß wird die Fehlerquadratsumme verwendet (Backhaus et al. 2011, S. 426). Das Ward-Verfahren scheint besonders praktikabel, da es laut Bergs (1981, S. 97, zitiert in (Backhaus et al. 2011, S. 451) sowohl gute Partitionen als auch meistens eine günstige Clusteranzahl findet.

Die agglomerativen Verfahren sind besonders bei großen Datenvolumina ungeeignet, weil sie für jeden Fusionierungsschritt die gesamte Distanzmatrix zwischen allen Fällen neu berechnen (Backhaus et al. 2011, S. 451).

Divisive Verfahren laufen nach dem entgegengesetzten Prinzip. Hier sind zunächst alle Objekte in einem Ursprungscluster vereint. Dieses wird für begrenzte, bekannte Eigenschaften und Ausprägungen anhand der Ähnlichkeiten immer weiter zerteilt, bis in letzter Konsequenz alle Objekte vereinzelt sind.

Partitionierende Verfahren setzen voraus, dass die konkrete Clusteranzahl bereits bekannt bzw. festgelegt ist. Eine entsprechende Anzahl an Objekten wird als Clusterzentren definiert und die weiteren Objekte anhand ihrer Ähnlichkeit um diese Zentren angeordnet. Auch können bereits angeordnete Objekte zwischen den Gruppen ausgetauscht werden (Backhaus et al. 2011). Darin besteht der große Vorteil partitionierender Algorithmen. Das Ganze geschieht so lange, bis ein vorgegebenes Optimierungskriterium erfüllt ist. Es sind zwei Entscheidungsprobleme zu lösen:

1. Wie viele Gruppen sollen existieren
2. Wie sind die Objekte auf die Gruppen zu verteilen, in welchem Modus.

Das kann zufällig passieren oder anhand der Ergebnisse vorgezogener hierarchischer Verfahren (Backhaus et al. 2011, S. 419). Ein häufig angewendetes Verfahren der partitionierenden Verfahren ist der K-means-Algorithmus von MacQueen (Kaufman und Rousseeuw 1990).

1. Wähle Anzahl Cluster k
2. Erstelle k zufällige Clusterzentren
3. Ordne jedem Objekt das Cluster mit dem nächsten Clusterschwerpunkt zu

4. Berechne die Clusterschwerpunkte neu
5. Wiederhole Schritt 3 solange, bis ein Abbruchkriterium erfüllt ist

Als Abbruchkriterium kann beispielsweise ein Minimum der Summe der quadratischen Abstände zum Zentrum sein.

Nachteile der partitionierenden Verfahren sind:

- Ergebnisse werden stark durch die Zielfunktionen der Umordnung beeinflusst.
- Die Wahl der Startpartition ist oft subjektiv. Ist sie zufällig, dann sind verschiedene Lösungen nicht mehr vergleichbar
- Da eine vollständige Enumeration meist nicht sinnvoll ist (für 10 Objekte und 3 Gruppen ergeben sich bereits $3^{10} = 59049$ mögliche Lösungen), ergeben sich häufig nur lokale, keine globalen Optima (Backhaus et al. 2011, S. 420)

Außerdem sind partitionierende Verfahren nicht ohne Weiteres für gemischt-skalierte Variablen geeignet zu sein (vgl. Backhaus et al. 2011, S. 451).

Deshalb wurde von Chiu et al. (o.J.) der **Two-Step-Algorithmus** entwickelt. Er kann sowohl große Datensets als auch gemischt-skalierte Variablen behandeln. Das Verfahren besteht aus zwei Schritten.

Im ersten Schritt werden die vorhandenen Objekte und ihre Skalierungen vorbetrachtet und bereits zusammengefasst. Dazu wird ein Cluster Feature Baum entwickelt. Er wird mit Hilfe des BIRCH-Verfahren (Balanced Iterative Reducing and Clustering Hierarchies) aufgebaut, das dem K-means-Verfahren ähnelt. Er hat eine vorgegebene Anzahl von Ästen, Zweigen und Blättern. Die Blätter stellen zusammengefasste Cluster dar. Das Ergebnis ist eine reduzierte Menge von Clustern unterschiedlicher Skalierung anstatt einer größeren Menge von Objekten (Mooi und Sarstedt 2010, S. 259f.).

Unter der Annahme, dass metrische Variablen innerhalb eines Clusters normalverteilt sind, nominale Variablen einer Polynomialverteilung folgen und die Variablen unabhängig sind, kann eine gemeinsame Verteilung einfach als Produkt berechnet werden (vgl. Neuwirth (o.J.)). Die Cluster aus der ersten Stufe werden nun mit Hilfe eines hierarchischen Verfahrens zusammengefasst.

Neuwirth (o.J.) erkennt, dass das Verfahren nicht immer zur Verfügung steht. Er schlägt deshalb eine Kombination aus hierarchischen Verfahren und dem K-means-clustering vor. Das Schema läuft folgendermaßen ab:

- Bestimmung der Clusteranzahl mittels hierarchischer Methoden. Bei großen Datensätzen für eine Zufallsauswahl
- Bestimmung der Startlösungen für die Clusterzentren
- Nichthierarchische Clusteranalyse für die endgültige Zuordnung

Der Ablauf stellt eine vereinfachte Form des Two-Step-Verfahrens dar und kann sowohl mit großen Datenmengen als auch mit gemischt-skalierten Variablen umgehen.

3.2.4 BESTIMMUNG DER CLUSTERZAHL

Wie aufgezeigt spielt das Erkennen der richtigen Clusteranzahl eine wesentliche Rolle. Die Güte des clusterings ist bei partitionierenden Verfahren direkt von ihr abhängig, bei hierarchischen Verfahren vermeidet sie, das Verschmelzen aller Objekte zu einem Cluster. Um sie zu definieren zeigt Greutert (2003) verschiedene Möglichkeiten auf, u.a.:

1. Abbruchkriterien
2. Mittlere Silhouettenbreite
3. Clest-Verfahren

Ein weiteres Verfahren findet sich bei Backhaus et al. (2011):

4. Elbow-Kriterium

Sogenannte Abbruchkriterien können bei den hierarchischen Methoden zum Einsatz kommen. Der Algorithmus wird dabei nur bis zum Erreichen eines Stoppsignals ausgeführt. Das so erhaltene Clustering in K Cluster ist dann optimal unter der Bedingung des Abbruchkriteriums (siehe Gordon (1999); Greutert (2003, S. 9).

Die mittlere Silhouettenbreite ist ein Maß für die Homogenität und die Isolation eines Clusters (Greutert 2003, S. 10). Die Silhouettenbreite s gibt für die Objekte eines Clusters an, wie gut sie sich zu nahegelegenen Clustern zuordnen lassen. Sie kann Werte zwischen -1 und $+1$ annehmen. Negativ ist sie für ein Objekt, das ähnlicher zu Objekten aus anderen Clustern ist, als zu Objekten aus dem eigenen Cluster. Dagegen geht die Silhouettenbreite gegen $+1$, wenn ein Objekt sehr gut in das jeweilige Cluster passt (Greutert 2003, S. 11). Eine optimale Anzahl an Clustern maximiert die mittlere Silhouettenbreite des gesamten Datensatzes. Das Ergebnis kann in einem Silhouettenplot graphisch dargestellt werden (Abbildung 10).

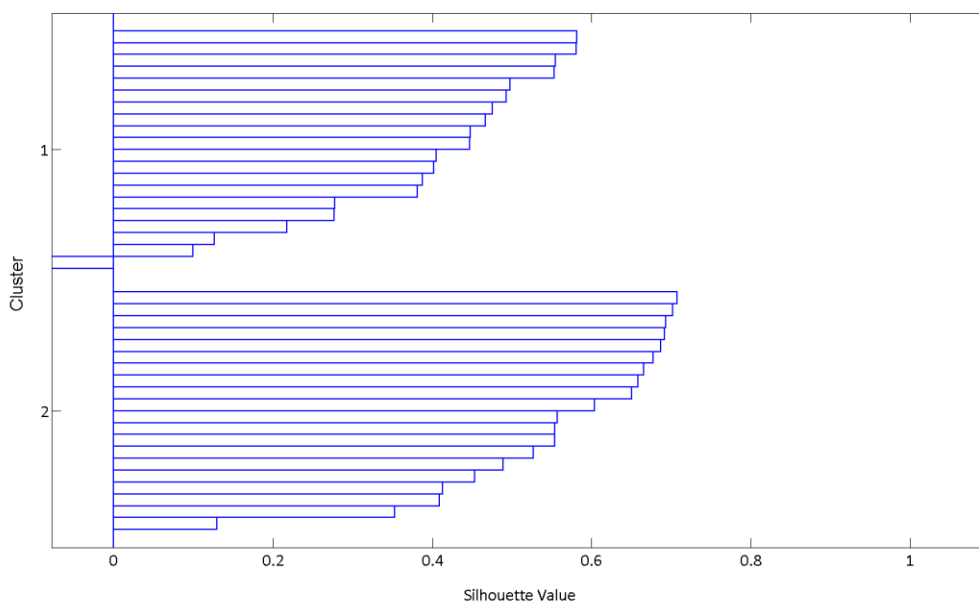


Abbildung 10: Silhouettenplot (Eigene Darstellung)

Als Nachteil dieser Methode wird argumentiert, dass nicht direkt überprüft werden kann, ob $K=1$ ist, also nur ein einziges Cluster besteht (Greutert 2003, S. 11).

Dennoch ist am Ende eine subjektive Schätzung notwendig. Die Silhouettenplots geben verschiedene Möglichkeiten an, von denen eine ausgewählt werden muss (Greutert 2003, S. 11–12).

Weitere Indizes werden von Greutert (2003) in Simulationen überprüft, wie beispielsweise der Rand-Index und das ctest-Verfahren. Sie schneiden aber entweder nur schlecht ab oder sind sehr von der konkreten Verteilung des Datensatzes abhängig.

Für das Elbow-Kriterium werden mögliche Clusteranzahlen der Heterogenität der Lösung in einem Diagramm gegenübergestellt (siehe Abbildung 11). Die Heterogenität kann z.B. durch die Fehlerquadratsumme gemessen werden. In dem Diagramm wird ein „Ellbogen“, ein signifikanter Sprung der Heterogenität gesucht. Die zugehörige Clusterzahl wird empfohlen. Dabei sollte eine Ein-Clusterlösung keine Beachtung finden, denn der Übergang von der Ein- zur Zwei-Clusterlösung weist stets den größten Heterogenitätssprung auf (Backhaus et al. 2011, S. 436f.).

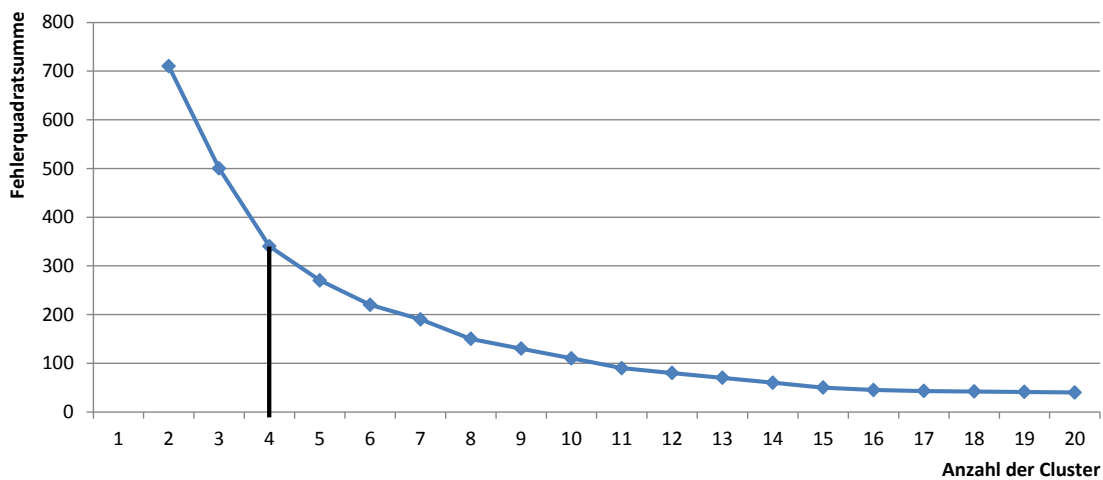


Abbildung 11: Elbow-Kriterium, empfohlene Clusteranzahl 4 (Backhaus et al. 2011)

4 STICHPROBENARTIGE FEHLERERFASSUNG

Die Fehlererfassung soll aus Stichprobenziehungen erfolgen. Als Grundlage für die integrierte Fehlerratenmessung soll eine anfängliche Fehlerrate dienen. Mit ihr existiert eine Referenz für die kontinuierliche Entwicklung. Wie oben aufgezeigt, bieten betriebsinterne Daten unter guten Bedingungen bereits Aussagen zur Fehlerrate. In diesem Kapitel sollen statistische Verfahren für diesen Zweck vorgestellt werden.

4.1 TOTALKONTROLLE

Bei einer Total- oder Vollprüfung werden alle Kommissionieraufträge geprüft. Diese Methode bietet eine sehr hohe Sicherheit, erfordert aber auch einen enormen Aufwand. Prüffehler sind dabei theoretisch ausgeschlossen, kommen aber in der Praxis durchaus vor.

Eine Vollprüfung gilt als sinnvoll, wenn entweder die Fehlerkosten wesentlich größer sind als die Prüfkosten oder der Prozess noch nicht ausreichend statistisch abgesichert ist (Bedrana 2007), S. 2).

Für eine kontinuierliche Prüfung bietet sich diese Methode offensichtlich nicht an, jedoch bietet sie die Möglichkeit, eine Datengrundlage zu schaffen, indem die tatsächlich vorhandenen Fehlerraten ermittelt werden. Als initiale Fehlerratenermittlung kann sie hier eingesetzt werden.

4.2 STATISTISCHE QUALITÄTSKONTROLLE

Die statistische Qualitätskontrolle umfasst zwei Aufgabenbereiche. Zum einen die Annahmeprüfung, die eine Eingangs-, Zwischen- oder Endprüfung von Erzeugnissen ermöglicht, zum anderen die statistische Prozesskontrolle, mit der Prozesse laufend überwacht werden können (Storm 2007, S. 325).

Weiterhin unterscheidet die statistische Qualitätskontrolle zwischen Variablenprüfung und Attributprüfung. Ziel der Variablenprüfung ist es, quantitative Merkmale zu untersuchen, also die Verteilung eines Messwertes innerhalb bestimmter Toleranzgrenzen. Dagegen hat die Attributprüfung qualitative Merkmale zum Ziel. Der untersuchte Gegenstand, z.B. ein Kommissionierauftrag kann fehlerfrei oder fehlerhaft sein

4.3 ANNAHMESTICHPROBENPRÜFUNG

In der Annahmeprüfung werden die Ergebnisse eines Prozesses geprüft. Es wird anhand von Stichproben entschieden, ob die Qualitätsanforderungen eingehalten wurden oder nicht. Das macht sie für die Kommissionierung interessant, denn hier sind keine Prozessparameter vorhanden, sondern die fertigen Aufträge. Die Stichprobenziehung der Annahmekontrolle wird durch Anweisungen zur Entscheidung über die Annahme oder Ablehnung eines Prüflinges ergänzt. Eine Totalkontrolle ist oft nicht möglich. Die Verfahren der Annahmekontrolle eignen sich daher nicht unmittelbar zur Beeinflussung von Prozessen, sondern lassen rückwirkend Schlussfolgerungen auf Ursachen für Ausschuss und deren Beseitigung zu. (Storm 2007, S. 360)

Bei der angestrebten integrierten Fehlerratenprüfung soll kein fortlaufender Prozess überwacht werden, sondern zufällig in den Aufträgen verteilte Fehler. Somit ähnelt die Kommissionierfehlerprüfung der Prüfung einer begrenzten Anzahl von Elementen, genau wie in der Wareneingangsprüfung. Die Fehler entstehen zufällig, werden aber durch bestimmte Eigen-

schaften gefördert. Zwar wird nicht über Auslieferung, sondern über die Weiterverwendung der vorhandenen Parameter entschieden. Konkret: wird in dieser Form weiter kommissioniert oder werden Bedingungen des Kommissioniersystems verändert.

4.3.1 STICHPROBENPLAN

Stichprobenpläne in der Annahmestichprobenprüfung machen Aussagen mit Hilfe der folgenden Parameter:

N – Grundgesamtheit, Gesamte Kommissionierpositionen

n – Stichprobenumfang

c – Annahmezahl

M – Anzahl fehlerhafte Positionen in N

p – Fehlerquote

x – Fehleranzahl in der Stichprobe

In einer Gesamtmenge von Kommissionierpositionen N befinden sich M fehlerhaft kommissionierte Positionen. Die Fehlerrate beträgt damit $p = \frac{M}{N}$. Ein Stichprobenplan gibt eine Anweisung über den Umfang der Stichprobe n und über die sogenannte Annahmezahl c . Ist jetzt die Anzahl fehlerhafter Positionen x in der Stichprobe n kleiner oder gleich der Annahmezahl c , kann die Gesamtmenge als „gut“ angenommen werden. Überschreitet x aber c , so wird angenommen, dass die Gesamtmenge nicht der vorgegebenen Qualität entspricht. (Storm 2007, S. 362); (Börgens 2001, S. 12)

Das Stichprobenverfahren riskiert zwei Fehlerarten:

In der Annahmestichprobenprüfung steht hinter dem Fehler 1. Art, dass Partien mit weniger als $p_\alpha\%$ Ausschuss in mindestens $(1-\alpha)\%$ der Fälle angenommen werden. In den $\alpha\%$ Fällen, in denen nicht angenommen wird, wurde fälschlicherweise eine höhere Ausschussquote ermittelt.

Hinter dem Fehler 2. Art steht die Aussage, dass Partien mit einem Ausschussanteil von $p_\beta\%$ in höchstens $\beta\%$ der Fälle angenommen werden. In den Fällen, in denen doch angenommen wird, wurde eine geringere Ausschussquote ermittelt.

p_α wird als annehmbare Qualitätsgrenzlage AQL oder Gutgrenze bezeichnet. Da hier der Lieferant das Risiko trägt, wird sie von ihm definiert. Dagegen bezeichnet p_β die rückzuweisende Qualitätslage oder Schlechtgrenze. Hier trägt der Abnehmer bzw. Konsument das Risiko, da er schlechte Lose möglichst ablehnen will. Aus diesem Grund obliegt die Festlegung der Grenze bei ihm (Storm 2007, S. 363).

Die Bedeutung der Werte α , β , p_α und p_β muss für die Kommissionierung umformuliert werden:

Die Wahrscheinlichkeit soll bei mindestens $(1-\alpha)\%$ liegen, dass die Fehlerrate p_α nicht übersteigt. Damit der Fehler 1. Art sehr wahrscheinlich vermieden wird.

Weiterhin soll die Wahrscheinlichkeit bei höchstens $\beta\%$ liegen, dass die Fehlerrate größer als p_β ist. Der Fehler 2. Art wird dadurch eingeschränkt.

4.3.2 EINFACHER PRÜFPLAN

Zur Erzeugung eines Stichprobenplans wird die Operationscharakteristik, auch Annahmewahrscheinlichkeitskurve genannt (Storm, S. 364), herangezogen. Sie zeigt die Annahme-

wahrscheinlichkeit L in Abhängigkeit vom Ausschussprozentsatz p (Uhlmann 1968; Uhlmann 1982; Vogt 1988).

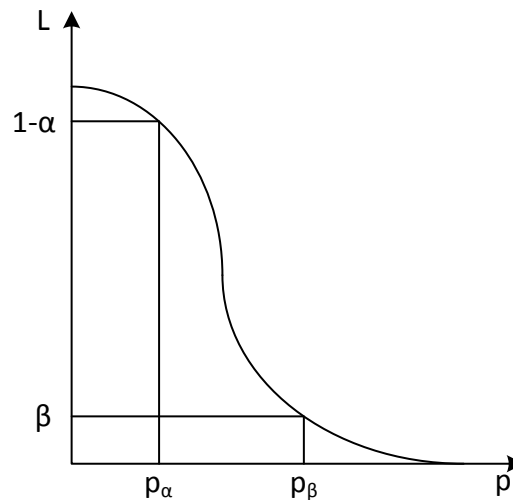


Abbildung 12: Annahmewahrscheinlichkeitskurve

Storm (2007, S. 364) weist darauf hin, dass eine Approximation der OC-Funktion für kleine p und große n durch die Poissonverteilung möglich ist (Rinne und Mittag 1991, S. 160ff.).

$$L_{n,c}^*(p) = \sum_{k=0}^c \frac{(np)^k e^{-np}}{k!}$$

Als Punktbedingungen sind zu erfüllen:

$$n/N < 0,1$$

$$n \geq 30$$

$$p \leq 0,1$$

Krumbholz (1982, S. 242) bestätigt diese Approximation, da diese Bedingungen in den meisten praktischen Fällen gegeben seien.

Mit Hilfe der vorgegebenen Parameter α , β , p_α , p_β können auf der Kurve der Operationscharakteristik zwei Punkte vorgegeben werden, die die beiden Fehler 1. und 2. Art markieren (Storm 2007, S. 364; Uhlmann 1982).

$$L(p_\alpha) \approx L_{n,c}^*(p_\alpha) = \sum_{k=0}^c \frac{(np_\alpha)^k e^{-np_\alpha}}{k!} \geq 1 - \alpha$$

$$L(p_\beta) \approx L_{n,c}^*(p_\beta) = \sum_{k=0}^c \frac{(np_\beta)^k e^{-np_\beta}}{k!} \leq \beta$$

Zur Definition eines Prüfplans mit Hilfe der Poisson-Verteilung können Tafeln oder eine Chi²-Verteilung genutzt werden (Storm 2007, S. 368; Vogt 1988, S. 72).

$$n_1 = \frac{\text{Chi}^2(\alpha, 2(c+1))}{2 \cdot p_\alpha}$$

$$n_2 = \frac{\text{Chi}^2(\beta, 2(c+1))}{2 \cdot p_\beta}$$

Die Variable c (und damit n) wird solange erhöht, bis die genannten Punktbedingungen der OC-Kurve annähernd erfüllt sind (Storm 2007, S. 368). Die gesuchte Stichprobenanzahl ist dann n_2 . Verschiedene Optimierungen des Verfahrens werden in der Literatur beschrieben, z.B. bei Börgens (2008). Hier ist n bereits bekannt und c wird weiter optimiert.

4.3.3 STICHPROBENNAHME UNTER UNVOLLSTÄNDIGEN VORINFORMATIONEN

Krumbholz (1982) erweitert den einfachen Stichprobenplan, durch Vorwissen über die Qualitätslage. Dabei wird zunutze gemacht, dass bei laufender Überprüfung in vielen praktischen Fällen Kenntnisse über die a priori-Verteilung der Qualitätslage $p = \frac{M}{N}$ gewonnen werden (Krumbholz 1982, S. 240).

Diese Vorkenntnisse müssen die a priori - Verteilung der Qualitätslage p noch nicht eindeutig festlegen, schränken aber die Klasse der möglichen a priori-Verteilungen bereits ein. Deshalb wird von unvollständigen Vorinformationen gesprochen, nicht von vollständigen (Krumbholz 1982, S. 241).

Beispielhaft könnten in 70% der Fälle eine Fehlerrate von weniger als 0,5% registriert werden. Dann ist die unvollständige Vorinformation $P(0 \leq p \leq 0,005) \geq 0,7$ (Krumbholz 1982, S. 241).

Als Eingangsparameter werden wieder $\alpha, \beta, p_{\alpha}, p_{\beta}$ vorgegeben. Die Vorinformationen werden aus den Parametern Qualitätslage $a_1 \dots a_n$ und Vorbewertung $\pi_1 \dots \pi_n$ gebildet. (Krumbholz 1982, S. 241). Die Vorinformationen beschränken die vier Eingangsparameter, verschieben damit also die Zweipunkte-Bedingung auf der OC-Kurve. In dessen Folge wird ein alternativer Stichprobenplan erzeugt.

4.3.4 STICHPROBENNAHME NACH ISO 2859

Eine weitere Möglichkeit zum statistischen Nachweis einer Qualitätslage kann über eine Annahmestichprobenprüfung nach DIN (ISO 2859 - 1) erfolgen (Goldscheid 2007, S. 12; Börgens 2008). Gegenstand der Norm ist die Ermittlung der Stichprobengröße und der Annahmezahl mit Hilfe von Tafeln. Ausgangspunkt ist die Festlegung einer „annehmbaren Qualitätsgrenzlage AQL“, die die schlechteste hinnehmbare Qualitätslage angibt. Diese ist in vielen Fällen gesetzlich vorgegeben, ansonsten ist eine Definition notwendig. Eine weitere festzulegende Größe ist das Prüfniveau. Es ist ein Kennwert für den relativen Aufwand einer Stichprobenprüfung und wird in Tabellen angegeben. Aus der Gesamtmenge (Losumfang) und dem Prüfniveau wird in einer Tabelle ein Kennbuchstabe ermittelt. In einer weiteren Tabelle wird dem Kennbuchstaben dann ein Stichprobenumfang zugewiesen. Die AQL weist in einer weiteren Tabelle dem Stichprobenumfang eine Annahmezahl und eine Rückweisezahl zu. Bei einer Fehleranzahl in der Stichprobe unterhalb der Annahmezahl gilt die Qualitätsanforderung als erfüllt, oberhalb der Rückweisezahl dagegen als nicht erfüllt. In weiteren Tabellen können jetzt Abnehmer- und Lieferantenrisiko sowie Durchschlüpfe in Abhängigkeit von AQL und Prüfumfang ermittelt werden. Eine Abhängigkeit von der ermittelten Qualitätslage besteht durch Regeln für einen Verfahrenswechsel. So wird unter bestimmten Bedingungen eine verschärfte Prüfung mit erhöhtem Stichprobenumfang gestartet. Das geschieht, sobald zwei von fünf aufeinanderfolgende Prüflose die Qualitätsanforderungen nicht erfüllen. Unter anderen Bedingungen kann eine reduzierte Prüfung mit geringerem Stichprobenumfang beginnen.

Börgens (2001, S. 12f.) fällt auf, dass die Prüfpläne nicht von der tatsächlichen Qualitätslage abhängen. Dies könne dazu führen, dass zu hohe Stichprobenumfänge und damit zu hohe

Kosten resultieren. Eine relativ gute Qualitätslage sollte einen geringeren Prüfaufwand erfordern als eine relativ schlechte.

Collani (1984, S. I (Vorwort)) kritisiert die ISO 2859 gar als "Antiquiertes Verfahren aus der Gründerzeit der Wareneingangskontrolle". Zwar sei sie weltweit verbreitet und seit Jahrzehnten angewandt, jedoch gründe sie nicht auf ein sauber formuliertes Modell und könne keine klare Zielrichtung angeben. Er formuliert Verfahren, die Kosten für Fehlerprüfungen in die Betrachtung mit einbeziehen.

4.3.5 KOSTENOPTIMALE PRÜFPLÄNE

Kostenoptimale Prüfpläne beziehen ökonomische Parameter, insbesondere Kosten, mit in die Ermittlung von Stichprobenplänen ein. Grundlegend werden die Verluste bei Annahme und bei Ablehnung einer Partie jeweils ohne Kontrolle gegenübergestellt. Beides wird in Abhängigkeit von der Qualitätslage gesehen.

Aus diesen Werten werden die relativen Prüfkosten errechnet und anschließend tabellarisch die Annahmezahl c abgelesen. Analog wird in einem weiteren Schritt der Stichprobenumfang n ermittelt. In der Literatur existieren zahlreiche vereinfachte Annäherungsverfahren erstellt worden. Häufig werden sie durch eingeführte Konstanten, die aus Tabellen zu entnehmen sind, ergänzt.

Uhlmann (1982) schlägt beispielsweise als Annäherung folgendes Berechnungsverfahren vor:

α_1 – Verlust durch fehlerfreien Pick

β_1 – Verlust durch fehlerhaften Pick

α_2 – Verlust durch Reklamation eines fehlerfreien Picks

β_2 – Verlust durch Reklamation eines fehlerhaften Picks

$$a_1 = N \cdot \alpha_1$$

$$b_1 = N \cdot (\beta_1 - \alpha_1)$$

$$a_2 = N \cdot \alpha_2$$

$$b_2 = N \cdot (\beta_2 - \alpha_2)$$

$$V_1(p) = a_1 + b_1 p$$

$$V_2(p) = a_2 + b_2 p$$

$$p_0 = \frac{a_2 - a_1}{b_1 - b_2}$$

$$\bar{c} = 0,193 p_0 (p_0 \cdot (1 - p_0))^{1/3} \cdot d^{-2/3} - 1/2$$

$$\bar{n} = (\hat{c}^* + 1/2)/p_0$$

Wobei d die variablen Prüfkosten bezeichnet. Collani (1984) vereinfacht die Näherungslösung weiter:

$$D = \frac{2d}{(p_0^2 \cdot (2 - p_0))}$$

$$\bar{c} = 0,193 D^{-2/3} - 1/2$$

Der Einbezug von Kostenparametern wird von (Krumbholz 1982, S. 241) kritisch gesehen. In vielen Fällen sei die Wahl problematisch. Folgekosten seien nicht immer quantifizierbar. Storm (2007, S. 360) bestätigt, dass die Fixierung der verschiedenen Kostenparameter ein Nachteil der Verfahren sei.

Die Bestimmung der eigentlichen Prüfkosten je Position sollte kein Problem darstellen. Jedoch sind weitere Parameter in der Praxis kaum bekannt bzw. nur sehr schwer abzuschätzen:

- (negativer) Verlust bei Auslieferung einer guten Position
- Verlust durch Auslieferung einer schlechten Position
- Verlust durch Reklamation einer schlechten Position
- Verlust durch Reklamation einer guten Position

Die Reklamation einer ausgelieferten schlechten Position entspräche den Kosten einer Kundenreklamation. Die Nicht-Auslieferung einer fehlerhaften Position bedeutet eine interne Rückführung und Neuauslösung des Auftrags. Jedoch sind der Gewinn durch Auslieferung und der Verlust durch Nicht-Auslieferung einer fehlerlosen Position abhängig von der jeweiligen Position und nicht ohne weiteres zu ermitteln. Völlig außen vor gelassen bleibt offensichtlich der Verlust an Image durch Auslieferung einer fehlerhaften Position und die daraus resultierenden Kosten.

Der mit p_0 bezeichnete Faktor ist die Trennqualität. Sie gibt den geringstmöglichen Verlust an und trennt somit die beiden linearen Verlustfunktionen für die Annahme und Ablehnung ohne Kontrolle einer Partie. Ist die Fehlerquote p größer als p_0 , würde der geringste Verlust resultieren, wenn ohne Kontrolle abgelehnt würde, liegt sie unter p_0 , so würde eine Annahme ohne Kontrolle das beste Ergebnis liefern.

Collani 1990, (S. 17) betont jedoch die Notwendigkeit der Kostenannahmen sowie einer einfachen Vorgehensweise für die Praxis. Dazu beschreibt er die α -optimalen Prüfpläne. Hier wird ausschließlich durch den Schlechtanteil p einer Partie über Annahme oder Ablehnung entschieden.

4.3.6 ALPHA-OPTIMALE PRÜFPLÄNE NACH V. COLLANI

Bei Alpha-optimalen Prüfplänen sind folgende Parameter relevant:

- p_0 – Trennqualität
- α – Vertrauenswahrscheinlichkeit
- \tilde{e}^* – Schaden durch Ablehnung einer Partie mit bestmöglicher Qualität
- \tilde{a}^* – Prüfkosten pro Stück

Der Anteil fehlerfreier Einheiten der Prüfmenge hat keinen Einfluss auf die zu ziehende Stichprobe. Aber auch hier stellt sich die Frage nach der Bestimmung der Werte. Das trifft besonders wieder auf die Trennqualität zu, aber auch auf den Schaden durch Ablehnung mit bestmöglicher Qualität und die Vertrauenswahrscheinlichkeit. Die Vertrauenswahrscheinlichkeit ist ein Maß des Vertrauens in die Qualität. Wenn keine Vorinformation vorliegt wird er mit $\alpha = 0,5$ angenommen. Sind Erfahrungen vorhanden, kann er angepasst werden (Collani 1990).

Im Rahmen des Projektes IFRAK ergibt sich neben der Bestimmung der Parameter vor allem die Schwierigkeit des Vergleichs mit Verfahren, die die Kosten nicht beachten, wie die einfachen Pläne oder die Pläne nach ISO 2859. Nur Verfahren mit gleichen Eingangsparametern können auch verglichen werden.

Collani gibt folgende Gleichung an (Collani 1986); (Collani 1987):

$$\sqrt{\bar{c}} \left(\sqrt{\bar{c}} + h_0 + h_1 / \sqrt{\bar{c}} \right)^2 = \frac{\alpha(h_0 - e_0) \Phi(e_0)}{d}$$

Daraus ergibt sich \bar{c} . Der ganzzahlig gerundete Wert \hat{c}^* ist die Annäherungslösung für c . Der Stichprobenumfang n wird dann näherungsweise berechnet aus:

$$\bar{n} = \frac{(2 - p_0) \bar{\lambda}_0(\hat{c}^*) + \hat{c}^* \cdot p_0}{2 p_0}$$

Auch hier wird der gerundete Wert \hat{n}^* als Annäherung an n akzeptiert.

Für die Stichprobenziehung im Rahmen von IFRaK wurde sich auf die Anwendung von einfachen Stichprobenplänen, wie (Uhlmann 1968) sie beschreibt, beschränkt. Die Parameter sind einfach zu bestimmen, die Vorgehensweise ist weit verbreitet und in der Praxis etabliert.

5 KONTINUIERLICHE FEHLERERFASSUNG

Die integrierte Stichprobenerfassung wird als kontinuierlicher Prozess verstanden. Nur durch fortlaufende Stichprobenziehungen und eine geeignete Dokumentation dieser kann eine stetige Kontrolle gewährleistet werden. Die Entwicklung der Fehlerrate soll deutlich werden. Ihre Interpretation lässt Schlüsse auf besonders fehlerfördernde Sachverhalte zu und gibt damit effektive Stichproben vor. Weiterhin gibt sie Hinweise auf Maßnahmen zur kontinuierlichen Verbesserung und deren Validierung. Eine stetige Überwachung durch Stichproben erlauben die Verfahren der kontinuierlichen Stichprobenprüfung einerseits und die Statistische Prozesskontrolle andererseits.

5.1 KONTINUIERLICHE STICHPROBENPRÜFUNG (CSP)

Die kontinuierliche Stichprobenprüfung (englisch: continuous sampling plans (CSP)) ist eine durchgängig durchgeführte Prüfung deren Intensität variiert. Sie eignet sich vorwiegend für die Serienfertigung. Es wird keine Stichprobe gezogen, sondern der maximale Durchschlupf (Anteil fehlerhafter Einheiten nach der Prüfung) definiert (Wilrich et al. 1987, S. S. 264ff.).

Eine definierte Anzahl aufeinander folgender fehlerfreier Positionen löst eine Stichprobenprüfung aus. Wird dabei eine fehlerhafte Position entdeckt, so wird direkt in eine Prüfregel übergegangen.

Beim ursprünglichen CSP-1-Verfahren läuft die Prüfregel folgendermaßen ab:

1. 100%-Prüfung bis Anzahl i aufeinanderfolgende Einheiten fehlerfrei sind
2. Übergang zur Stichprobenprüfung: jeder f -te Auftrag
3. Wenn ein fehlerhafter Auftrag gefunden wird, dann wird wieder 100%-Prüfung gestartet.

Der Algorithmus ist primär geeignet zur Prüfung von Werkstücken aus Maschinen, da eine Maschine immer auf die gleiche Weise arbeitet und sich Fehler wiederholen. Ein manueller Prozess ist jedoch nicht mit der Fehlerentstehung einer Maschine vergleichbar. Ein Mensch würde beispielsweise einen bemerkten Fehler nicht sofort wiederholen. Probleme treten auch auf bei stark fehlerhaften Prozessen. Hier kann i unter Umständen nie erreicht werden. Der Prüfaufwand würde steigen, ohne dass dadurch mehr Fehler entdeckt würden. Des Weiteren erfordert CSP-1 eine zeitnahe, direkte Rückmeldung an den Kommissionierer. Insgesamt scheint die Vorgehensweise daher nicht geeignet zu sein (Storm 2007, S. 369ff.).

Weiterentwicklungen von CSP-1 stellen CSP-2 und CSP-3 dar. Gelegentliche, verstreute zufällige Defekte (CSP-2) und kurze Stöße schlechter Qualität (CSP-3) werden dabei berücksichtigt. CSP-2 läuft so ab:

1. 100%-Prüfung bis Anzahl i aufeinanderfolgende Einheiten fehlerfrei sind
2. Bei fehlerhafter Position werden die nachfolgenden k Stücke überprüft
3. Wird weitere fehlerhafte Position gefunden, wird in eine 100%-Prüfung gewechselt
4. Sind in den k Positionen jedoch keine Fehler, wird die Stichprobenprüfung fortgesetzt

Bei CSP-3 wird noch ein Schritt zwischengeschaltet: tritt ein Fehler auf, werden die folgenden 4 Positionen geprüft. Befindet sich hier eine fehlerhafte Position, wird in eine 100%-Prüfung übergegangen, ansonsten wird die kontinuierliche Prüfung von k Stücken gestartet (Storm 2007, S. 369ff.).

Abgeleitet von den CSP-Verfahren sind die Block-Continuous-Plans.

Im Prinzip werden aufeinanderfolgende Positionen in Blöcke eingeteilt. Aus den Blöcken werden festgelegte Stichproben gezogen. Wenn bestimmte Bedingungen erfüllt sind, wird in eine 100%-Prüfung übergegangen:

1. Einteilung der fortlaufenden Positionen in Blöcke (Lose)
2. Zufällige Prüfungen innerhalb eines Blocks
3. Wird ein kritischer Wert überschritten, wird der gesamte Block geprüft; wird der Wert nicht überschritten, genügt die Stichprobe
4. Fortsetzung mit dem nächsten Block.

Beispiele sind der Wald-Wolfowitz-Plan und der Girshick Plan (Rao 2009).

Die Blockeinteilung stellt sicher, dass immer ein Mindestanteil an Aufträgen geprüft werden muss. Unter Umständen bedeutet das aber, dass gar kein Auftrag geprüft wird, wenn sich Fehlerwahrscheinlichkeiten entsprechend so ergänzen, dass der kritische Wert nie überschritten wird. Ein großer Nachteil ist, dass die Blöcke bis zur Prüfung vorgehalten werden müssen. Dazu ist ausreichend Lagerplatz nötig und die Aufträge können nicht zeitnah versandt werden.

Weitere Abwandlungen der Verfahren existieren, wie GASP (group acceptance sampling plan) (Rao 2009, S. 76f.). Auch hier werden Gruppen (Blöcke) gebildet. Es wird eine Stichprobengröße und eine akzeptierte Fehlerrate festgelegt. Anschließend werden alle Gruppen gleichzeitig geprüft.

Insgesamt sind die Verfahren der CSP nicht geeignet. Zwar erzeugt auch die Kommissionierung eine kontinuierliche Sequenz, jedoch spielen bei CSP vor allem systematische Fehler eine Rolle, während zufällige Fehler weniger erkannt werden. Die Verfahren erfordern eine Rückhaltung der Positionen, um Prüflose bilden zu können. Zwar ergibt sich daraus eine Korrekturmöglichkeit, aber auch erheblicher Mehraufwand.

5.2 STATISTISCHE PROZESSKONTROLLE

Ein ähnliches Ziel verfolgt die Statistische Prozesskontrolle (statistical process control, SPC). Auch sie dient nicht dazu, Stichprobenpläne zu entwickeln, sondern mit Ergebnissen fortlaufender Stichprobenahmen umzugehen. Sinn und Zweck der SPC ist es, laufende Prozesse zu überwachen und im Bedarfsfall ein Eingreifen auszulösen. Das erfolgt durch Stichprobenprüfungen, und mit Hilfe von Qualitätsregelkarten (QRK).

5.2.1 QUALITÄTSREGELKARTEN

Auf den Qualitätsregelkarten, auch Mittelwertkarten genannt (Storm 2007, S. 327ff.), werden statistische Messgrößen, wie Mittelwert und Streuung oder Median und Range fortlaufend registriert. Über- oder unterschreiten die Werte bestimmte Grenzen, sogenannte Eingriffsgrenzen, ist das das Signal, den laufenden Prozess zu korrigieren.

SPC ermöglichen, Prozesse über längere Zeiträume zu beobachten. Während Stichproben über einen kurzen Zeitraum meist normalverteilt sind, kann sich über einen längeren Zeitraum eine starke Streuung bemerkbar machen. Der resultierende Einfluss kann in einem zeitabhängigen Verteilungsmodell dargestellt werden. Dabei ergeben sich folgende Parameter:

- Momentane Verteilung des betrachteten Merkmals
- Änderung der Lage
- Änderung der Streuung
- Änderung der Form-Parameter

während des gesamten Zeitraums. Abhängig von diesen Verteilungsmodellen werden die Eingriffsgrenzen berechnet.

In der Regel werden Messkriterien registriert (Variablenprüfung), die eine gewisse Streuung um einen Mittelwert aufweisen. Eine solche Streuung existiert bei der reinen Attributprüfung, wie bei der Fehlerratenprüfung in der Kommissionierung nicht. Jede Ziehung besteht nur aus einem Attribut, das vom Soll abweicht oder nicht. Streuungen sind nur über größere Zeiträume zu erkennen. Zur Auswertung der Ergebnisse und zum Festlegen der Eingriffsgrenzen wird mit gleitenden Werten gearbeitet (Quentin 2008, S. 32–33).

5.2.2 GLEITENDE MITTELWERTE

Eine spezielle Anwendung der SPC entsteht bei Stichprobengrößen von $n=1$. Das trifft z.B. zu, wenn zwischen den Stichprobenziehungen eine große Zeitspanne liegt (Quentin 2008). Hier bieten sich Regelkarten an, die den gleitenden Mittelwert aufnehmen. Der gleitende Mittelwert wird allgemein zur Glättung von Messdaten verwendet. Die Datenpunkte mehrerer aufeinanderfolgender Messungen um den ausgewählten Datenpunkt werden zu einem Fenster zusammengefasst und durch ihr arithmetisches Mittel ersetzt (Lohninger 2013). Das Fenster bewegt sich mit jedem weiteren Datenpunkt um einen Wert weiter. Bei Echtzeitberechnungen, bei denen logischerweise nur der Gegenwartswert und die Vergangenheit bekannt sind, wird die Berechnung mit diesen Werten durchgeführt (Lohninger 2013). Auf diese Weise wird ein langfristiges Annähern an einen Durchschnittswert vermieden.

Bei der kontinuierlichen Fehlerratenprüfung bietet sich diese Berechnung an. Eine Stichprobe liefert lediglich die binäre Information, ob eine Position fehlerhaft ist oder nicht. Rückblickend zeigt sich dann die Fehlerrate je Cluster als Quotient der Anzahl der geprüften, fehlerhaften Positionen und der gesamten geprüften Positionen. Jede weitere gezogene Stichprobe aktualisiert also die registrierte Fehlerrate. Anstatt des arithmetischen Mittelwerts wird die Fehlerrate berechnet:

$$FR = \frac{\text{Anzahl fehlerhafte Stichproben}}{\text{Anzahl gesamte Stichproben}}$$

Laut (Quentin 2008, S. 32) fasst die Berechnung mehrere Werte gleichbleibender Anzahl zusammen. Die Anzahl kann je nach Zweck der Betrachtung auch von einem Zeitraum abhängen. Beispielsweise 12 monatliche Stichproben um ein Jahr darzustellen, 5 Arbeitstage für eine Woche usw. Im Falle der Fehlerratenanalyse ist diese Entscheidung von einer zeitlichen Komponente losgelöst. Eine feste Anzahl aufeinanderfolgender Stichprobenziehungen ergibt eine Fehlerrate.

zeigt ein Beispiel, in dem jeweils die vier letzten Werte zu einer Fehlerrate zusammengefasst werden.

Tabelle 9: Beispiel gleitender Mittelwert mit einem Fenster von vier Werten

Stichprobe	1	2	3	4	5	6	7
Fehler (0/1)	0	0	1	0	1	0	0
Fehlerrate	-	-	-	0,25	0,5	0,5	0,25

5.2.3 PRECONTROL

Das Konzept Precontrol ist eine Variante der Qualitätsregelkarte, die mit kleinen Stichprobenumfängen und einfachen Regeln auskommt. Die einzelnen Messergebnisse werden direkt in der Regelkarte, quasi als Urwertkarte verwendet. Dabei spielt nur ihr zeitlicher Verlauf³ eine Rolle, Werte für Lage und Streuung werden nicht benötigt (Quentin 2008, S. 35).

Die Regelkarte wird weiterhin in drei Zonen verschiedene geteilt, eine grüne Zone, eine gelbe Zone und eine rote Zone. Analog zum Ampelprinzip ist dieses System schnell interpretierbar.

Die rote Zone wird durch einfach ermittelte Eingriffsgrenzen festgelegt:

$$UEG_x = \bar{x} - 3 \cdot s$$

$$OEG_x = \bar{x} + 3 \cdot s$$

\bar{x} – Mittelwert aller Messwerte x_i

s – Standardabweichung aller Messwerte x_i

Der Bereich dazwischen wird in vier Teile zerlegt. Die beiden Viertel über und unter dem Mittelwert bilden die grüne Zone, die beiden übrigen Viertel die gelben Zonen. Abbildung 13 verdeutlicht das Prinzip und zeigt eine fiktive Spur einer Fehlerrate.

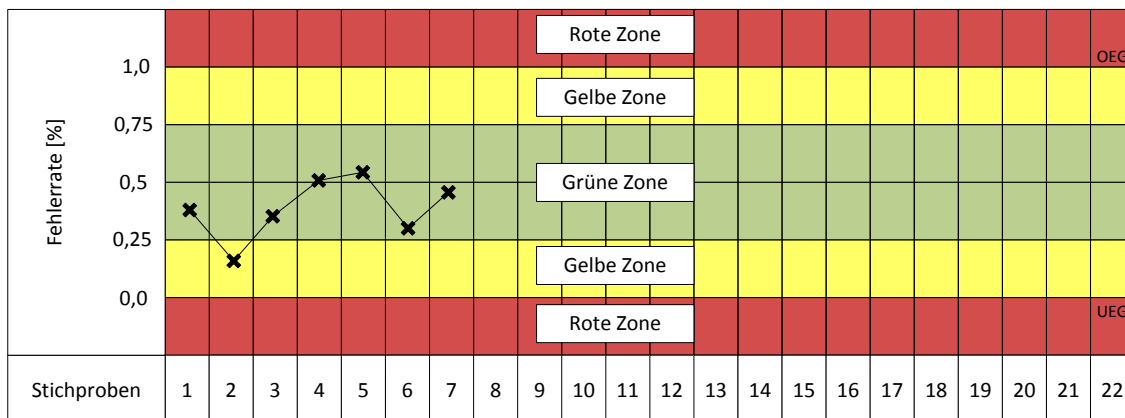


Abbildung 13: Zonen einer Precontrol-Karte

Ein Messwert liegt mit einer Wahrscheinlichkeit von 85% im Bereich der grünen Zone, die darüber und darunter liegenden gelben Zonen decken eine Wahrscheinlichkeit von 14% ab (Quentin 2008, S. 69).

Die Regeln für den Umgang mit Precontrol-Karten sind einfach gehalten:

Nach einer initialen Messung wird ein Mittelwert und eine Standardabweichung als Basis ermittelt. Anschließend werden in festgelegten Abständen Stichproben mit $n=2$ gezogen und in die Regelkarte eingezeichnet. Je nach Lage wird dann über die Stabilität des Prozesses entschieden. Sind beide Werte im grünen Bereich oder ein Wert im grünen, einer im gelben Bereich, so wird der Prozess beibehalten. Befinden sich beide Werte im gelben Bereich oder einer im roten Bereich (also außerhalb der Eingriffsgrenzen), so muss in den Prozess eingegriffen werden. Nach einem Eingriff ist die Beherrschung des Prozesses durch Ziehung einer bestimmten Anzahl Stichproben nachzuweisen.

³ auch als Spur bezeichnet

Gerade die geringe benötigte Stichprobenanzahl macht das Verfahren im Rahmen der Kommissionierung attraktiv. Hinzu kommt die einfache, schnell zu interpretierende Vorgehensweise.

6 FEHLERPRÜFUNG

Sind die zu prüfenden Positionen ausgewählt, kann die eigentliche Prüfung erfolgen. Die Auswertung der Fehler legt den Grundstein für die nächste Stichprobenziehung.

6.1 PRÜFMETHODEN

Die konkrete Prüfung der ausgewählten Positionen erfolgt nach vorhandenen Mustern, sofern bereits interne Kontrollen existieren. Die Prozedur ist prinzipiell von der hier vorgestellten Methodik zur Stichprobenfindung unabhängig.

Crostack et al. (2008) betrachten im Rahmen ihrer Simulationsstudien unter anderem Prüfmethode in Abhängigkeit der Fehlerarten. Folgende Matrix gibt die gute Eignung (+), eine prinzipielle Eignung (O) und eine fehlende Eignung (-) wieder:

Tabelle 10: Möglichkeiten der Fehlerprüfung

Prüfmethode	Mengenfehler	Auslassungsfehler	Zustandsfehler	Typfehler
Sichtkontrolle	+	+	+	+
Wiegen	+	+	-	O
Scannen: Barcode	+	+	-	+
Scannen: Geometrie	-	-	O	+
Taktile Sensoren	+	+	-	+
Einzelquittierung	+	+	-	+
RFID	+	+	-	+

Deutlich wird, dass nur eine (manuelle) Sichtkontrolle alle Fehler entdecken kann. Wobei auch hier diverse Bedingungen an die konkreten Gegenstände bestehen. Komplexe Zustandsfehler oder solche, die schwer erkennbar sind (z.B. Beschädigung im Inneren eines elektrischen oder optischen Bauteils nach Fallenlassen) können u.U. nicht erkannt werden.

6.2 AUSWERTUNG DER FEHLERRATE

Für die Auswertung der Fehlerrate sollen die Prinzipien des Precontrol herangezogen und angepasst werden. Für jedes vorhandene Cluster wird eine Precontrol-Karte geführt. Wird eine aktuelle Fehlerrate aus dem jeweiligen Cluster errechnet, wird der Wert in die QRK eingetragen.

Zunächst ist eine initiale Stichprobenprüfung notwendig, mit deren Hilfe die anfängliche mittlere Fehlerrate sowie die Standardabweichung eines jeden Clusters bestimmt wird. Sie dienen zur Berechnung der Eingriffsgrenzen. Im Prinzip ergeben sich für die Festlegung des Sollwertes der QRK (Wert, um den der grüne Bereich aufgespannt wird) und davon abhängig der Eingriffsgrenzen drei Möglichkeiten.

1. Als Sollwert gilt eine Null-Fehlerrate: Die unteren grünen, gelben und roten Bereiche können so nie erreicht werden, da eine negative Fehlerrate nicht möglich ist. Fällt die Fehlerrate deutlich ab, verläuft ihre Spur weiterhin im oberen grünen Bereich, die

Veränderung wird nicht angezeigt.

2. Alternativ kann der Sollwert der Fehlerrate durch die initiale Fehlerrate festgelegt werden. Der untere gelbe Bereich und die untere Eingriffsgrenze würden in diesem Fall signalisieren, dass die Fehlerrate drastisch fällt. Das scheint auf den ersten Blick eine positive Aussage zu sein, kann aber auf mehrere Sachverhalte hinweisen. Maßnahmen zur Fehlervermeidung könnten wirksam geworden sein oder die Mitarbeiter könnten sich mit dem Prozess vertraut gemacht haben. Andererseits kann hier aber auch ein Hinweis auf einen Fehler in der Stichprobenziehung erkannt werden. Ein Abfall der Fehlerrate kann auch hier nur bis auf Null erfolgen. Dennoch ist es denkbar, dass der rote und zumindest Teile des gelben Bereiches im negativen Bereich liegen.
3. Weiterhin können eigene Festlegung durch Expertenwissen oder Unternehmensinterne Richtwerte und Zielvorstellungen getroffen werden.

Die klassischen Regeln des Precontrol werden weiterhin eingehalten. Ist die Fehlerrate im grünen Bereich, ist der Prozess unter Kontrolle und kein Eingriff ist nötig. Befinden sich zwei aufeinanderfolgende Werte im gelben Bereich oder ein Wert im roten, steigt die Fehlerrate an. Hier ist die Frage nach der Ursache zu stellen.

Bereits nach der Initialisierung sollten Unterschiede in der Fehlerrate zwischen einzelnen Clustern deutlich werden. Einige Gruppen sollten höhere Fehlerraten aufweisen, als andere. Je nachdem, wo Schwerpunkte der Cluster liegen, können bereits Rückschlüsse auf Ursachen für eine höhere Fehlerrate gezogen werden.

Danach werden in regelmäßigen Abständen Positionen zur Prüfung ausgewählt. Dabei wird für jedes Cluster mit Hilfe des einfachen Annahmestichprobenverfahrens ein Stichprobenumfang innerhalb einer Grundmenge ermittelt. Wird eine Auftragsposition einer Klasse zugeordnet, die mit besonders hoher Fehlerrate behaftet ist, so besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass sie geprüft wird.

6.3 RÜCKMELDUNG AN DEN PRÜFER

Der Anwender erhält somit folgende Informationen bezüglich der Fehlerrate:

- Konkrete Positionen, die geprüft werden sollen
- Fehlerraten der Gruppen
- Regelmäßige Aktualisierungen der Fehlerraten

7 ETABLIERUNG IN EINER SOFTWARE-APPLIKATION

Eine rein manuelle Durchführung der Fehlerratenanalyse ist aufwendig und erfordert neben Übersicht sowohl Kenntnis und Übung im Umgang mit den aufgezeigten Algorithmen als auch umfangreiche Vertrautheit mit dem Kommissioniersystem. Um diese Komplexität der Nutzung zu reduzieren, bietet sich die Entwicklung einer Software an, die an ein Lagerverwaltungssystem geknüpft werden kann. Die konkrete Vorgehensweise dafür wird im Folgenden angegeben, weiterhin ist eine mögliche Umsetzung in Pseudocode aufgezeigt.

7.1 KONKRETE VORGEHENSWEISE

In diesem Kapitel wird vorgestellt, auf welche Art und Weise die App arbeitet. Die einzelnen Schritte sind durch konkrete Methoden untersetzt. Weiterhin kann dieses Kapitel auch als Anleitung gesehen werden, um eine spezifische Umsetzung unabhängig von der Software zu schaffen.

7.1.1 ANALYSE DES KOMMISSIONIERSYSTEMS

Das zu betrachtende Kommissioniersystem muss zunächst analysiert und beschrieben werden. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den Faktoren, die Fehler beeinflussen. Als Hilfe hierzu dient der erarbeitete Katalog im Anhang A1. Soweit Daten metrisch skaliert und direkt im Warehouse-Management-System oder weiteren Datenbanken vorhanden sind, können sie direkt verwendet werden. Sind sie lediglich nominal skaliert, muss eine Interpretation erfolgen. Beispielsweise müssen die vorhandenen Ladehilfsmittel nach ihrer Art aufgelistet werden. Durch einen Nummernschlüssel werden sie für die Klassenbildung nutzbar. Ergebnis und Dokumentation der Analyse ist eine Liste von Fehlerbeeinflussenden Eigenschaften und deren potentielle Ausprägungen. Sie ist die Grundlage für eine Rohdatenmatrix.

7.1.2 KLASSENBILDUNG

Zur Einteilung der Kommissionierpositionen wird empfohlen, eine vereinfachte Form des Two-Step-Algorithmus anzuwenden. Folgendes Schema ist dabei einzuhalten:

1. Auswahl einer repräsentativen Stichprobe von Kommissionierpositionen
2. Erstellung einer Rohdatenmatrix zu den Stichproben und daraus einer Distanzmatrix
3. Anwendung eines hierarchischen Clusterings auf die Stichprobe
4. Bestimmung der Silhouettenbreite zur Validierung der Clusteranzahl
5. Endgültige Zuordnung aller Positionen mittels eines Partitionierenden Verfahrens

Die **Auswahl der Kommissionierpositionen** muss in Abhängigkeit von Sortiment und Abnehmerverhalten repräsentativ gewählt werden. Es kann sich um die Positionen eines bestimmten Zeitraums (letzte 2 Monate), einer bestimmten Menge (2000 Positionen) oder aus verschiedenen Zeiträumen (Saison) handeln.

Die **Rohdatenmatrix** ordnet den ausgewählten Positionen die Fehlerbeeinflussenden Eigenschaften zu. In den Feldern der Matrix werden die konkreten Ausprägungen eingetragen. Die **Distanzmatrix** stellt die verschiedenen Objekte gegenüber und zeigt die Distanz zwischen diesen auf.

Das **erste Clustering** mit einem hierarchischen Verfahren erfolgt vorzugsweise agglomerativ. Das visualisierte Ergebnis ist ein Dendrogramm. Anhand dieses Dendrogramms können verschiedene Varianten für Clusteranzahlen abgelesen werden.

Eine Aussage über die **Güte der gewählten Clusteranzahl** wird mit Hilfe der Silhouettenbreite erzeugt.

Für die **endgültige Zuordnung** der Objekte (Positionen) zu den Clustern wird die Clusterzahl sowie die vorgruppierten Cluster als Input für einen partitionierenden Algorithmus, vorzugsweise K-means, verwendet. Das Ergebnis sind Gruppen von Kommissionierpositionen. Jede weitere kommissionierte Position wird einer dieser Gruppen zugeordnet.

7.1.3 INITIALE FEHLERRATE

Jede Gruppe (Klasse, Cluster) von Positionen wird mit einer „Ausgangs-“ Fehlerrate hinterlegt. Hier bietet sich die Totalkontrolle über einen festgelegten Zeitraum an. Sämtliche Positionen werden überprüft, einem Cluster zugeordnet und die mittlere Fehlerrate sowie die Standardabweichung je Cluster dokumentiert. Die Precontrol-Regelkarten werden ausgehend von diesen Werten für jedes Cluster vorbereitet (vgl. 5.2.1 Qualitätsregelkarten). Mit Hilfe der Formeln für die untere und obere Eingriffsgrenze werden die Grenzen und Bereiche der Karten festgelegt (siehe 5.2.3 Precontrol). Die UEG wird ermittelt, indem vom Mittelwert \bar{x} die dreifache Standardabweichung s subtrahiert wird. Für die OEG wird die dreifache Standardabweichung addiert. Der mittlere Wert bildet die „Ausgangs-“ Fehlerrate.

$$UEG_x = \bar{x} - 3 \cdot s$$

$$OEG_x = \bar{x} + 3 \cdot s$$

\bar{x} – Mittelwert aller Messwerte x_i

s – Standardabweichung aller Messwerte x_i

Die Totalkontrolle muss lediglich einmal zu Beginn durchgeführt werden. Ausnahmen bilden tiefgreifende Veränderungen im Kommissioniersystem.

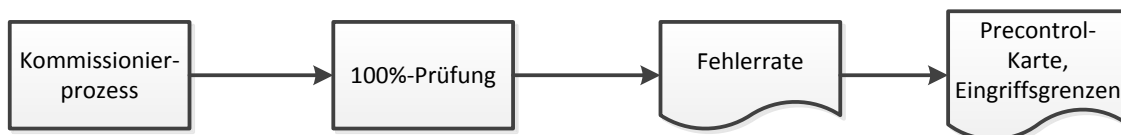


Abbildung 14: Ermittlung der Ausgangsfehlerrate

7.1.4 KONTINUIERLICHE PRÜFUNG

Die kontinuierliche Prüfung beruht auf je einer Stichprobenziehung für jede Gruppe. Jede Kommissionierposition, die abgearbeitet wird, wird eindeutig der Gruppe zugeordnet, der sie am ähnlichsten ist. Konkret der Gruppe, deren Varianz sie am wenigsten erhöht (K-means). Soll für diese Gruppe eine Stichprobe gezogen werden, kommt diese Position in Frage. Wird sie als Stichprobe ausgewählt, wird sie geprüft und wirkt sich positiv oder negativ auf die Fehlerrate der Gruppe aus.

Zur Stichprobenberechnung wird das Verfahren der einfachen Stichprobenpläne genutzt (vgl. 4.3 Annahmestichprobenprüfung; 4.3.2 Einfacher Prüfplan).

Der Anwender muss sich hier über einige grundlegende Parameter im Klaren werden:

- Die Wahrscheinlichkeiten α und β als zu erzielende statistische Sicherheit

In der Praxis sind einige wenige Standardwerte für α und β in Gebrauch. Am häufigsten werden für $\alpha=0,9$ und $\beta=0,1$ genutzt. Auch üblich sind $\alpha=0,95$ und $\beta=0,05$ (Vogt 1988, S. 69).

- Die Parameter ρ_α und ρ_β als zugehörige Fehlerraten

Die Parameter p_α und p_β müssen abhängig von der vorhandenen Fehlerrate festgelegt werden. Hier können abhängig vom Cluster und dessen Fehlerrate, eigene Werte festgelegt werden, z.B. die aktuelle und eine zu erzielende Fehlerrate. Als Orientierung sei hier auch auf die üblichen Fehlerraten der Kommissionierung, wie Lolling (2003) sie ermittelt hat, verwiesen (vgl. 2.2 Kommissionierfehler). Alternativ können als p_α die untere Eingriffsgrenze und als p_β die obere Eingriffsgrenze verwendet werden.

Durch einfache Stichprobenpläne wird der notwendige Stichprobenumfang ermittelt, der je Cluster benötigt wird, um eine Aussage mit der gewählten Sicherheit zu treffen.

Zur Bestimmung der Prüfpositionen muss noch eine Prüflosgröße N festgelegt werden. Sie muss mindestens das Zehnfache der Stichprobengröße aufweisen, um der Bedingung zu entsprechen:

$$N > 10 \cdot n$$

Denn für große N ist der Stichprobenumfang n unabhängig von N (Krumbholz 1982). Je nach System kann sich anbieten, die Tagesproduktion, die Wochenproduktion oder eine feste Menge, die der Bedingung entspricht, zu nutzen.

Aus den nächsten N Positionen, die dem Cluster zugeordnet werden, werden n zufällige Stichproben gezogen. Das kann durch eine einfache Funktion erfolgen, die aus den Werten von 1 bis N eine Anzahl von n Zufallszahlen zieht.

Für jedes Cluster 1...x:

1. Errechne Stichprobenumfang n und Prüflosgröße N
2. Ermittle n Zufallszahlen z_1, \dots, z_n zwischen 1... N
3. Starte Zählvariable i

Eine Zählvariable i zählt die kommissionierten Positionen.

Für jede Position:

4. Ermittle Ähnlichkeit zu jedem Cluster
5. Ordne Position dem Cluster zu, dem es am ähnlichsten ist
6. Erhöhe Zählvariable des Clusters um 1

Wenn die Zählvariable i mit einer der Zufallszahlen z_1, \dots, z_n übereinstimmt, dann prüfe die Position

7. Errechne die Fehlerrate des Clusters: fehlerhafte Stichproben/ gesamte Stichproben
8. Trage Fehlerrate in die Precontrol-Karte ein

Stimmt also die Positionsnummer mit einer der Zufallszahlen überein, wird sie zur Prüfung vorgeschlagen. Der Prüfer erhält dann lediglich die Bezeichnung der zu prüfenden Position. Er prüft sie durch Wiegen, Sichtkontrolle oder andere, im Unternehmen übliche Verfahren. Die Fehlerrate errechnet sich aus den fehlerhaften Positionen geteilt durch n .

Zum besseren Verständnis soll in Abbildung 15 der Gesamtprozess kurz als Ablaufschema zusammengefasst sein.

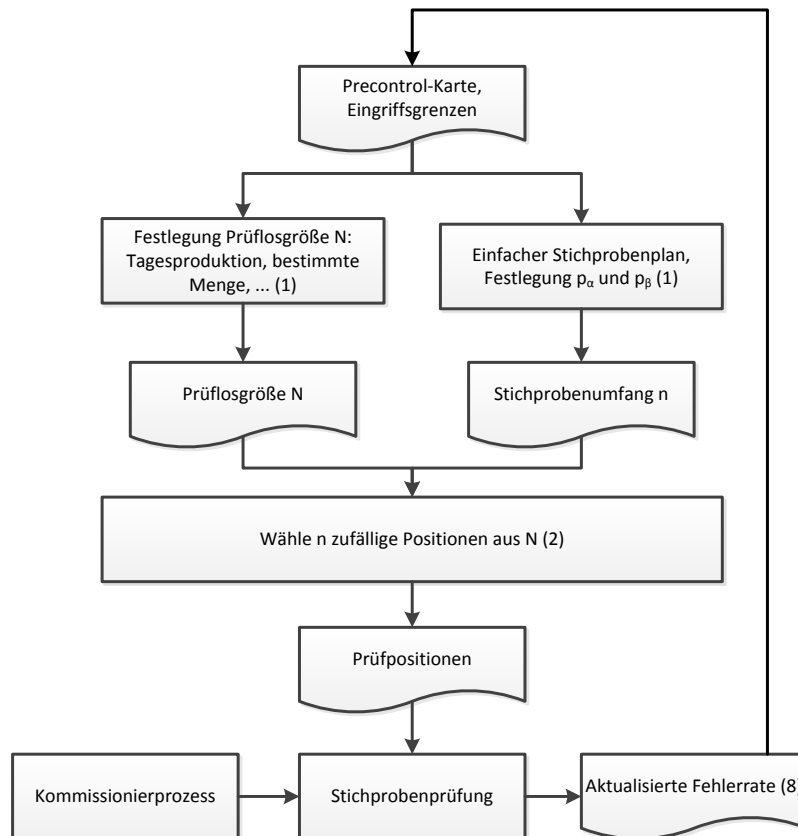


Abbildung 15: Ermittlung der Prüfpositionen für ein Cluster

Jede Position wird einem Cluster zugeordnet. Kommt sie als Prüfposition in Frage, wird sie geprüft:

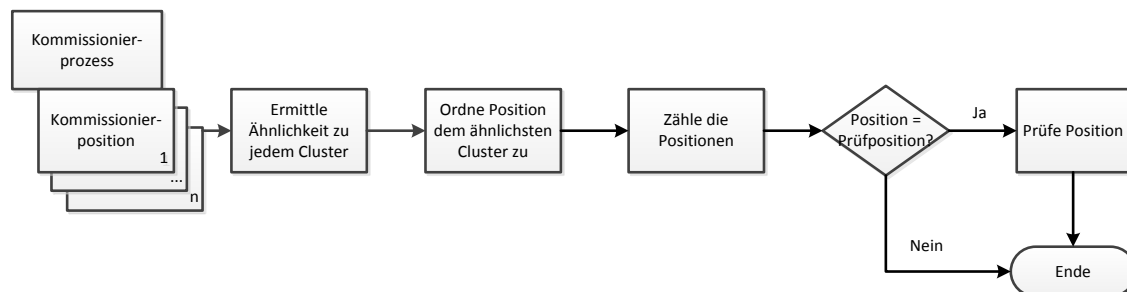


Abbildung 16: Bestimmung der Prüfpositionen

7.1.5 FEHLERÜBERWACHUNG

Die ermittelten Fehlerraten werden in die vorbereiteten Precontrol-Karten direkt eingetragen. Erreicht die Fehlerrate den roten Bereich oder zweimal in Folge den gelben Bereich der Karte, so ist das als Warnsignal zu interpretieren und die Qualität der Kommissionierung zu hinterfragen. Die Ursache des Fehlers ist zu suchen. Zeigt sich eine dauerhafte Veränderung der Fehlerrate in Richtung OEG oder UEG, so kann dies eine Anpassung der mittleren Fehlerrate und damit der OEG und UEG nach sich ziehen.

7.2 APPLIKATION

Nachfolgend ist eine mögliche Umsetzung in Pseudocode aufgeführt:

```

1  alpha = 0.9 # Annahmewahrscheinlich-   34      selectedPicks = random(n_2,N)
2  keit                                     35      numberOfFailure = countFail-
3  beta = 0.1 # Annahmewahrscheinlich-   36      ure(selectedPicks)
4  keit                                     37      fr = numberOfFailure / n_2
5  p_alpha = # UEG                          38      return (fr)
6  p_beta = # OEG                           39
7  N # Stichprobenumfang                    40 def writeToQRK(Fr, k, t):
8  K # Anzahl der Klassen                   41     write Fr to class k in time t
9  T # Gesamtanzahl Perioden                42
10 n_1 # Vergleichsanzahl                   43 # Ablauf
11 n_2 # Stichprobenanzahl                  44
12 selectedPicks # Picks für Stichprobe     45 n_2 = getN_2()
13 numberOfFailure # Fehler in Stichprobe   46 N = getN(n_2)
14 fr # Fehlerrate                          47 for t = 1 : T(
15                                           48     for k = 1 : K(
16 def getN_2():                             49         Fr = getFr(N, n_2, t, k)
17     do (increment(c))                     50         writeToQRK(Fr, k, t)
18         n_1 = Chi^2(alpha,2(c+1)) /       51         )
19         2 * p_alpha                       52     )
20         n_2 = Chi^2(beta,2(c+1)) /
21         2 * p_beta
22     )
23 while (n_1 > n_2 and
24         n_2 > 30
25         )
26 return (n_2)
27
28 def getN(n_2):
29     do increment(N)
30     while (N < 10 * n_2):
31     return (N)
32
33 def getFr(N, n_2, t, k):

```

8 LITERATURVERZEICHNIS

- DIN EN 55350: Begriffe zum Qualitätsmanagement.
- VDI 3590-1, 1994: Kommissioniersysteme - Grundlagen.
- VDI 3590-2, 2002: Kommissioniersysteme - Systemfindung.
- ISO 2859 - 1, 2004: Annahmestichprobenverfahren.
- DIN EN ISO 6385, 2004: Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen.
- Backhaus, Klaus; Erichson, Bernd; Plinke, Wulff; Weiber, Rolf (2011): Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung. 13., überarb. Aufl. Berlin [u.a.]: Springer (Springer-Lehrbuch).
- Bedrana, Ribo (2007): Vollprüfung, Stichprobenprüfung. Referat. Karl-Franzens-Universität Graz, Graz.
- Börgens, Manfred (2001): Computer Aided Quality - Statistische Verfahren und optimierte Prüfmethodik. 2. Friedberger Blechtag. Friedberg, 06.09.2001, zuletzt geprüft am 10.12.2013.
- Börgens, Manfred (2008): Prüfplan nach Plan. Methode zur Kostenminimierung bei der Auswahl von Prüfplänen. In: *QZ* 53 (11), S. 93–95, zuletzt geprüft am 05.02.2014.
- Brynzér, H.; Johansson, M. I. (1996): Storage location assignment: Using the product structure to reduce order picking times. In: *International Journal of Production Economics* 46-47, S. 595–603. DOI: 10.1016/0925-5273(94)00091-3.
- Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (04.10.2013): Handelsgesetzbuch. HGB, S. §377 HGB.
- Buttler, Günter; Fickel, Norman (1995): Clusteranalyse mit gemischt skalierten Merkmalen. Diskussionspapier. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Nürnberg. Lehrstuhl für empirische Wirtschaftsforschung, zuletzt geprüft am 18.06.2014.
- Chiu, Tom; Fang, DongPing; Chen, John; Wang, Yao; Jeris, Christopher: A robust and scalable clustering algorithm for mixed type attributes in large database environment. In: Foster Provost, Ramakrishnan Srikant, Mario Schkolnick und Doheon Lee (Hg.): the seventh ACM SIGKDD international conference. San Francisco, California, S. 263–268.
- Collani, Elart v. (1984): Optimale Wareneingangskontrolle. Das Minimax-Regret-Prinzip für Stichprobenpläne beim Ziehen ohne Zurücklegen. Zugl.: Würzburg, Univ., Habil.-Schr. Stuttgart: Teubner (Teubner-Studienbücher : Mathematik).
- Collani, Elart v. (1986): α -Optimal sampling plans for large acceptance numbers. In: *Metrika* (33), S. 257–273, zuletzt geprüft am 22.01.2014.
- Collani, Elart v. (1987): Approximate α -optimal sampling plans. In: *Statistics* 18 (3), S. 333–344. DOI: 10.1080/02331888708802025.
- Collani, Elart v. (1990): Wirtschaftliche Qualitätskontrolle — eine Übersicht über einige neue Ergebnisse. In: *OR Spektrum* (12), S. 1–23, zuletzt geprüft am 10.12.2013.

- Crostack, H.-A.; Deuse, J.; Goldscheid, C.; Schlüter, N. (2007): Optimierung von Kommissionierung und Verpackung durch geeignete Strategien für die Qualitätsprüfung unter Berücksichtigung der Retourenabwicklung. Forschungsbericht. Dortmunder Initiative zur rechnerintegrierten Fertigung (RIF) e.V., Dortmund.
- Crostack, Horst-Artur; Schlüter, Nadine; Mathis, Jonas (2008): Simulation zur Qualitäts- und Kostenbewertung bei manueller Kommissionierung. In: Markus Rabe (Hg.): *Advances in simulation for production and logistics applications*. Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verl. (ASIM-Mitteilungen aus den Arbeitskreisen, Nr. 118), S. 279–287.
- Goldscheid, Christian (2007): Modellierung von Kommissioniersystemen - Ermittlung der qualitätsrelevanten Daten. RIF e.V. Dortmund, 05.07.2007.
- Gordon, A. D. (1999): *Classification*. 2nd ed. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC (Monographs on statistics and applied probability, 82).
- Gower, J. C. (1971): A General Coefficient of Similarity and Some of Its Properties. In: *Biometrics* 27 (4), S. 857. DOI: 10.2307/2528823.
- Greutert, Andreas (2003): Methoden zur Schätzung der Clusteranzahl. Diplomarbeit. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Zürich. Departement für Mathematik, zuletzt geprüft am 01.07.2014.
- Ihloff, Sebastian (2013): Entwicklung einer Vorgehensweise zur Fehlerraterfassung in der manuellen Kommissionierung und Analyse von Fehlerraten an einem Unternehmensbeispiel. Technische Universität Dresden, Dresden, zuletzt geprüft am 21.07.2014.
- Kaufman, Leonard; Rousseeuw, Peter J. (1990): *Finding groups in data. An introduction to cluster analysis*. New York: Wiley (Wiley series in probability and mathematical statistics. Applied probability and statistics).
- Krüger, Wilfried (2007): Theoretische und empirische Beiträge zur Fabrikplanung unter dem Aspekt des demografischen Wandels. Dissertation. TU Chemnitz, Chemnitz. Fakultät für Maschinenbau.
- Krumbholz, Wolf (1982): Die Bestimmung einfacher Attributprüfpläne unter Berücksichtigung unvollständiger Vorinformation. In: *Allgemeines Statistisches Archiv* 66, S. 240–253.
- Lohner, H. (2013): Gleitender Mittelwert. Online verfügbar unter http://www.statistics4u.info/fundstat_germ/cc_moving_average.html, zuletzt aktualisiert am 01.04.2013, zuletzt geprüft am 08.07.2014.
- Lolling, Andreas (2003): Analyse der menschlichen Zuverlässigkeit bei Kommissioniertätigkeiten. Aachen: Shaker (Berichte aus der Logistik).
- Menk, Jochen (1999): Beitrag zur Planung qualitätsfähiger Kommissioniersysteme. Ein humanorientierter Ansatz. Dortmund: Praxiswissen (Betriebsmanagement).
- Mickoleit, Mandy (2014): Erfassung und Beschreibung des manuellen Kommissioniersystems der KOMSA und der spezifischen fehlerbeeinflussenden Eigenschaften mit besonderem Bezug zum Fehlerfaktor Mensch. Bachelorarbeit. Hochschule Mittweida, Mittweida. Fakultät Wirtschaftswissenschaften, zuletzt geprüft am 21.07.2014.
- Mooi, Erik; Sarstedt, Marko (2010): *A Short Guide to Market Research. The Process, Data, and Methods Using IBM SPSS Statistics*. 1., Auflage. Berlin: Springer Berlin, zuletzt geprüft am 16.07.2014.

Neuwirth, Erich (o.J.): Hauptkomponentenanalyse. Universität Wien, Wien, zuletzt geprüft am 15.07.2014.

Quentin, Horst (2008): Statistische Prozessregelung – SPC // Statistische Prozessregelung - SPC. München: Hanser; Hanser Verlag (055).

Rao, G. Srinivasa (2009): A Group Acceptance Sampling Plans for Lifetimes Following a Generalized Exponential Distribution. In: *Economic Quality Control* 24 (1), S. 75–85, zuletzt geprüft am 03.07.2014.

REFA Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V. (1984): Methodenlehre des Arbeitsstudiums. Teil 1: Grundlagen. 7. Aufl. München: Hanser.

Rinne, Horst; Mittag, Hans-Joachim (1991): Statistische Methoden der Qualitätssicherung. 2., bearb. Aufl. München, Wien: Hanser.

Schmauder, Martin; Spanner-Ulmer, Birgit (2014): Ergonomie - Grundlagen zur Interaktion von Mensch, Technik und Organisation. München: Hanser, Carl.

Schmidtke, Heinz; Bernotat, Rainer (1993): Ergonomie. 3., neubearb. und erw. Aufl. München [u.a.]: Hanser.

Schulte, Christof (2013): Logistik. Wege zur Optimierung der Supply Chain. 6th ed. München: Franz Vahlen (Vahlens Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften).

Schwarting, Carsten (1986): Optimierung der ablauforganisatorischen Gestaltung von Kommissioniersystemen: Huss-Verlag.

Slomka, Martin (1990): Methoden der Schwachstellen- und Ursachenanalyse in logistischen Systemen. Eine empirische Untersuchung. Zugl.: Passau, Univ., Diss., 1989. Bergisch Gladbach, Köln: Eul.

Stinson, Matthew (2012): Leistungsbewertung und -optimierung in der manuellen Kommissionierung. In: *Proc.* DOI: 10.2195/lj_Proc_stinson_de_201210_01.

Storm, Regina (2007): Wahrscheinlichkeitsrechnung, mathematische Statistik und statistische Qualitätskontrolle. Mit 20 Tafeln und 120 Beispielen. 12. Aufl. München: Fachbuchverl. Leipzig im Carl Hanser Verl.

ten Hompel, Michael; Crostack, Horst-Artur; Zellerhoff, Jörg; Pelka, Michael; Mathis, Jonas; Strothotte, Daniel (2009): Strategien für die flexible, auftragsweise Kommissionierung mit integrierter Prüfung. Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen, TU Dortmund; Dortmunder Initiative zur rechnerintegrierten Fertigung (RIF) e.V., zuletzt geprüft am 06.12.2013.

ten Hompel, Michael; Sadowsky, Volker; Beck, Maria (2011): Kommissionierung. Materialflusssysteme 2 : Planung und Berechnung der Kommissionierung in der Logistik. Heidelberg: Springer.

Uhlmann, Werner (1968): Kosten-optimale Prüfpläne für die Gut-Schlecht-Prüfung. In: *Metrika* 13 (1), S. 206–224. DOI: 10.1007/BF02613386.

Uhlmann, Werner (1982): Statistische Qualitätskontrolle. Eine Einführung; mit 10 Tab. 2., überarb. und erw. Aufl. Stuttgart: Teubner (Teubner Studienbücher : Mathematik).

Vogt, Herbert (1988): Methoden der statistischen Qualitätskontrolle. Stuttgart: Teubner (Mathematische Methoden in der Technik).

Wichmann, Axel (1994): Planungshilfen für manuelle Kommissioniertätigkeiten. München: Huss-Verlag.

Wiedenbeck, Michael; Züll, Cornelia (2001): Klassifikation mit Clusteranalyse: Grundlegende Techniken hierarchischer und K-means-Verfahren. Leibnitz-Institut für Sozialwissenschaften (How-to-Reihe, 10). Online verfügbar unter <http://www.gesis.org/publikationen/gesis-how-to/>, zuletzt geprüft am 20.06.2014.

Wilrich, P.-Th; Henning, H.-J; Graf, Ulrich (1987): Formeln und Tabellen der angewandten mathematischen Statistik. 3., völlig neu bearbeitete Aufl. Berlin, New York: Springer-Verlag.

Zimolong, Bernhard (1990): Fehler und Zuverlässigkeit. In: Carl Hoyos (Hg.): Enzyklopädie der Psychologie. Göttingen, Zürich: Verl. für Psychologie Hogrefe, S. 313–345.

A.1 KATALOG FEHLERBEEINFLUSSENDER EIGENSCHAFTEN

Artikel

FbE	Beispielhafte Ausprägungen	Erläuterung
Länge	konkrete oder klassifizierte Abmessungen	Wie ist der Artikel zu handhaben und zu erkennen? Kann er einzeln und direkt gegriffen und getragen werden?
Breite	konkrete oder klassifizierte Abmessungen	Siehe oben
Höhe	konkrete oder klassifizierte Abmessungen	Siehe oben
Gewicht	Konkrete oder klassifizierte Gewichte	Kann Artikel von einer Person einzeln gegriffen und getragen werden? Ist durch wiegen in der Hand die Anzahl eindeutig abschätzbar? Sind schwere Artikel gegen Herabfallen geschützt?
Formkennzeichen	Beschreibung von Experten: Gruppen von Artikeln mit gleichen Formkennzeichen	Unterscheiden sich die Artikel anhand ihrer Form? Bestehen markante Formkennzeichen, die ein Verwechseln ausschließen? Sind Art und Anzahl ertastbar oder muss gezählt werden? Verhaken sie sich ineinander oder sind sie einzeln entnehmbar?
Oberflächenmerkmale	Beschreibung von Experten: Gruppen von Artikeln mit gleichen Oberflächenmerkmalen	Unterscheiden sich die Artikel anhand ihrer Oberflächen voneinander? Bestehen markante Oberflächenmerkmale im Hinblick auf die Fehlerentstehung?
Druckempfindlichkeit	Beschreibung von Experten: Gruppen von Artikeln mit gleichen Druckempfindlichkeiten	Wie sensibel sind Artikel gegenüber Greifen und Ablegen?
Vereinzelbarkeit	Schüttgut, Umverpackungen, Einzelne Einheiten, gemischt	Handelt es sich um Schütt- oder Stückgut? Liegen die Artikel einzeln oder in Umverpackungen vor?

Kommissionierer

FbE	Beispielhafte Ausprägungen	Erläuterung
Schichtsystem	Frühschicht, Spätschicht, Nachtschicht	Sind Unterschiede in der Fehlerrate zwischen den Schichten bekannt?
Qualifikation	ungelernt, Azubi, Fachspezifisch, Fachfremd	Nicht ohne Weiteres quantifizierbar (Wissen, Ausbildungsgrad, Fertigkeiten, Erfahrung)
Betriebszugehörigkeit	Anzahl der Jahre	Mit zunehmender Erfahrung ist mit sicherem Umgang zu rechnen.
Lohn	Lohngruppen	Wird Bezahlung als angemessen empfunden? Schwer zu quantifizieren
Prämien	Prämiengruppen, konkrete Werte	Werden Prämien für geringe Fehlerrate oder für hohe Effizienz verteilt? Wie wirken sie auf die Fehlerate?
Wechselnde Aufgaben	ja, nein	Abwechslung kann die Motivation steigern oder die Routine nehmen.

Kommissionierablauf

FbE	Beispielhafte Ausprägungen	Erläuterung
Zonenaufteilung	Keine, Zone A, Zone B, Zone C	Unterscheiden sich die Zonen und ihre Fehlerraten?
Sammeln	nacheinander, gleichzeitig	Müssen Einheiten zusammengeführt oder getrennt werden? Wo sind dabei Fehlerpotentiale?
Entnahme	artikelorientiert, auftragsorientiert	Siehe oben.
Abgabe	artikelorientiert, auftragsorientiert	Siehe oben.
Auftragssteuerung	ohne/ mit Optimierung	Wo liegen im spezifischen Informations- und Quittierungssystem Fehlerpotentiale?
Weitergabe der Informationen	ohne/mit Beleg	Siehe oben.
Weitergabe der Informationen	Einzelposition, mehrere Positionen	Siehe oben.
Quittierung	je Entnahmeeinheit, je Position, je Auftrag	Siehe oben.
Quittierung	manuell, manuell/ automatisch, automatisch	Siehe oben.

Information

FbE	Beispielhafte Ausprägungen	Erläuterung
Pickliste	ja, nein	Wie ist die Pickliste aufgebaut, wie funktioniert sie im Detail? Ist sie inhomogen?
Mobile Scanner	ja, nein	Wird vom mDE-Gerät eine Rückmeldung verlangt? Können bei der Rückmeldung an das System Fehler entstehen? Wie ist die Datenqualität?
Pick-by Light	ja, nein	Ist eine Quittierung vor der Entnahme möglich?
Pick-by-Voice	ja, nein	Funktioniert die Sprachsteuerung einwandfrei? Wird sie durch Umgebungsgeräusche (evtl. in verschiedenen Bereichen unterschiedlich) beeinflusst?
Pick-by-Vision	ja, nein	Funktioniert das System einwandfrei, wie ist die Datenqualität?

Arbeits- und Betriebsmittel

FbE	Beispielhafte Ausprägungen	Erläuterung
Transportmittel	Liste der Transportmittel	Wie sind Arbeitsmittel in den Kommissionierprozess integriert? Wie ist der Status der Kalibrierung? Sind die Arbeitsmittel für die vorhandenen Merkmale geeignet? Arbeitsmittel geben schon automatisch eine Klassifizierung vor.
Fördermittel	Liste der Fördermittel	Stetig-/Unstetigförderer? Sind Stöße, Stürze oder Vermischen möglich?
Informationsmittel	Listen der Arbeitsmittel (Waagen, Scanner, Belege, sonstige...)	Welche Informationsmittel werden eingesetzt, werden verschiedene Systeme genutzt und könnte sich das auf die Fehlerrate auswirken?
Lade- und Transporthilfsmittel	Listen der Kommissionierbehälter, Listen der Lagerbehälter	Welches Lagersystem wird eingesetzt, werden verschiedene Systeme genutzt und könnte sich das auf die Fehlerrate auswirken? Wirkt sich die Lagergröße auf die Übersichtlichkeit aus? Existieren Verfahren zur Orientierung? Werden Routen durch das Lager geplant? Wird dem Kommissionierer dadurch seine Aufgabe erleichtert bzw. Mühen vermieden?
Lagermittel	Liste der Lagermittel (Regale, Bodenlagerung...)	Welches Lagermittel wird eingesetzt, werden verschiedene Systeme genutzt und könnte sich das auf die Fehlerrate auswirken?

Kommissionierlager

FbE	Beispielhafte Ausprägungen	Erläuterung
Lagertyp	Bodenlager, Regallager, Fachbodenlager, Umlaufregallager, Durchlaufregallager	Welche Lagertypen werden eingesetzt, werden verschiedene Systeme genutzt und könnte sich das auf die Fehlerrate auswirken?
Beleuchtung	angemessen, zu dunkel, zu hell	Screening: scheint Beleuchtung ausreichend, intakt und angemessen? Fördert Beleuchtung einen anderen Fehlerbeeinflussenden Faktor?
Raumklima	angemessen, ungeeignet (Kühlhaus, Gewächshaus...)	Wirkt sich das Raumklima auf die Konzentration oder die Greiffähigkeit aus (Kühlhäuser, Dämpfe usw.)?
Lärm	angemessen, Lärmquellen in unmittelbarer Nähe	Beeinträchtigen Lärmquellen die Konzentration und Hörbarkeit bzw. Verständnis bei PbVoice?

Entnahmeplatz, Abgabeplatz

FbE	Beispielhafte Ausprägungen	Erläuterung
Stufenweise Kommissionierung	einstufig, mehrstufig	Läuft die Kommissionierung in einer einzelnen Stufe ab oder sind mehrere Stufen notwendig? Entstehen daraus Schnittstellen-, Ablageprobleme?
Beschriftung der Gassen	Keine, Beschriftung, elektronische Führung...	Ist eine Kennzeichnung der Gassen notwendig und vorhanden?
Wegweisung	Keine, Beschriftung, elektronische Führung...	Ist eine Wegweisung notwendig und vorhanden?
Anordnung der Artikel	chaotisch, Festplatzordnung	Aufbau und Logik der Struktur des Kommissionierlagers
Kennzeichnung der Bereitstellplätze	Keine, Beschriftung, Strichcode, usw.	Ist die Kennzeichnung einprägsam und spricht mehrere Wahrnehmungskanäle an (z.B. alphanumerisch und farblich, Alltagsdinge)? Bestehen signifikante Unterschiede? Existieren z.B. farbliche Unterscheidungen, Signallichter, Schilder zur Orientierung bzw. Kommissionierführung? Sind diese geeignet, korrekt, vollständig, in Ordnung? Bestehen signifikante Unterschiede?
Abgrenzung der Bereitstellplätze	Keine, Behälter, Regalfächer, Greifbehälter, räumliche Trennung	Sind Plätze, Behälter, sonstige Einheiten geeignet getrennt? Wird Verwechslungen vorgebeugt?
Entfernung der Entnahme vom Abgabeort	Entfernung in [m]	Fallen signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Fächern auf? Sind alle Fächer gut zu erreichen und die Artikel gut zu entnehmen?
Höhe des Entnahmeplatzes	Blickhöhe, Greifhöhe, Bückhöhe, Überkopfhöhe oder Angabe in [m]	Bei Artikeln in Greif- und Blickhöhe ist mit einer geringeren Fehlerrate zu rechnen.

Kommissionierauftrag

FbE	Beispielhafte Ausprägungen	Erläuterung
Kundenaufträge	Ja, nein	Durch die Umwandlung in andere Auftragstypen können Fehler entstehen
Teilaufträge	Ja, nein	Siehe oben
Sammelaufträge	Ja, nein	Siehe oben
Auftragsgröße	Größenklassen, z.B. 1-5, 6-10 usw.	Siehe oben

A.2 BEISPIEL EINER ROHDATENMATRIX

Beispiel Rohdatenmatrix – Teil 1: Artikel

Position	<i>Artikel</i>							
	Länge	Breite	Höhe	Gewicht	Formkenn- zeichen	Oberflächen- merkmale	Druck- empfindlich- keit	Vereinzel- barkeit
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
...								

Beispiel Rohdatenmatrix – Teil 2: Mensch

Position	Mensch					
	Schichtsystem	Qualifikation	Betriebs- zugehörigkeit	Lohn	Prämien	Wechselnde Aufgaben
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
...						

A.3 BEISPIEL EINER ÄHNLICHKEITS-/DISTANZMATRIX

Position	1	2	3	4	5	6	7	8	9	...
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
...										

A.4 FRAGESCHEMA ZUR ANWENDBARKEIT (SCHNELLANALYSE)

