



519-thesis 2018-0024-6

Hochschule Neubrandenburg
Fachbereich Lebensmittel und Bioprodukttechnologie

**Identifizierung und Optimierung der Prozess
Parameter zur Produktivität Steigerung der
Püree Produktion**

M a s t e r a r b e i t
zur
Erlangung des akademischen Grades
Master of Science (M.Sc.)

Vorgelegt von: *Wadhah Zaidi*

Betreuer: *Prof. Dr. Peter Meurer*
Zweitbetreuer (Betrieb): *M.Sc. Robert Falk*

Tag der Einreichung: 22.10.2018

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich der Firma Pfanni Gmbh & Co.OHG für die Unterstützung zur Erarbeitung meiner Masterarbeit danken. Ich möchte mich auch bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Masterarbeit unterstützt und motiviert haben.

Zuerst gebührt mein Dank Herr Prof. Dr. Meurer und Herr. M.Sc. Robert Falk, die meine Masterarbeit betreut und begutachtet haben. Für die hilfreichen Anregungen und die konstruktive Kritik bei der Erstellung dieser Arbeit möchte ich mich herzlich bedanken.

Ein besonderer Dank gilt allen Teilnehmern und Teilnehmerinnen meiner Befragungen, ohne die diese Arbeit nicht hätte entstehen können. Mein Dank gilt ihrer Informationsbereitschaft und ihren interessanten Beiträgen und Antworten auf meine Fragen.

Abschließend möchte ich mich bei meinen Eltern Geschwistern Verwandten und Freunden bedanken, die mir mein Studium durch ihre Unterstützung ermöglicht haben und stets ein offenes Ohr für meine Sorgen hatten.

Inhaltsverzeichnis

Abstract.....	3
1. Einleitung.....	4
1.1 Projektrahmen.....	4
2. Stand der Wissenschaft und der Technik	5
2.1 Die Kartoffel.....	5
2.1.1 Allgemeines.....	5
2.1.2 Kartoffel: ein inhomogener Rohstoff.....	7
2.1.3 Trockensubstanz und Stärke.....	7
2.2 Kartoffelprodukte für die menschliche Ernährung.....	10
2.2.1 Geschichte der Kartoffelverarbeitung.....	10
2.2.2 Geschichte der Herstellung der Kartoffelpürees.....	12
2.3 Herstellung von dem Kartoffelpüree.....	13
2.3.1 Kartoffel und Kartoffelpüree.....	13
2.3.2 Herstellverfahren von Kartoffelpüree Flocken.....	13
2.4 Lean Manufacturing.....	20
2.4.1 Lean Manufacturing Tools.....	20
2.4.2 Die Six-Sigma Methode.....	25
2.5 Deskriptive Statistik.....	26
2.5.1 Pearson Produkt-Moment Korrelation.....	26
3. Material und Methoden.....	30
3.1 Phase 1 „Define“.....	30
3.1.1 Die 5 Why Methode.....	30
3.1.2 Prozess-Mapping.....	32
3.1.3 Ishikawa Diagramm.....	33
3.2 Phase 2 „Measure“	36
3.2.1 Erstellung von der monatlichen Übersicht Tabellen.....	36
3.2.2 Untersuchung von den Zusammenhängen zwischen die Prozessparameter.....	42
3.2.3 Value Stream Mapping.....	44

3.2.4 Vorversuch laut der „Plan-Do-Check-Act“ Ansatz	53
3.3 Phase 3 „Analyse“	57
3.3.1 Korrelationsanalyse zwischen die Prozess Parameter	58
3.4 Phase 4 „Improve“	58
3.4.1 Hauptversuch Planung	59
3.5 Phase 5 „Control“	60
4. Ergebnisse	61
4.1 Ergebnisse Beurteilung von dem Vorversuch laut der „PDCA“ Ansatz	61
4.2 Ergebnisbeurteilung der Korrelationsanalyse zwischen den Prozessparametern	64
4.3 Darstellung und Auswertung der Ergebnisse des Hauptversuchs	66
4.3.1 Darstellung der Ergebnisse	66
4.3.2 Auswertung der Ergebnisse	73
5. Diskussion	74
6. Zusammenfassung	79
7. Literaturverzeichnis	81
8. Tabellenverzeichnis	82
9. Abbildungsverzeichnis	83
10. Anhang	84

Abstract

For several years, the context of globalization and increased competition have defined a new economic and industrial companies for production of goods. Indeed, these companies are confronted daily with the control and performance enhancement of all their processes to ensure their sustainability and competitiveness.

This work, performed within the company Pfanni, aims to optimize the productivity and stability of the potato flakes production. In such situations we propose to follow the variability of the process through the integration of Six Sigma, to detect evidence of significant change in variability.

The main objective of Six Sigma is to increase profitability by reducing waste based on multicriteria decision support to improve a production process. Six Sigma is a management system centered on a powerful problem-solving methodology and process optimization.

In order to achieve these objectives, we began by presenting a literature review on the improvement's approaches. Then, through the current situation's analysis using the 5 Why method, the Ishikawa diagram and the VSM, we have identified the improvement's axes. Thus, we have analyzed the failure modes of the potato flakes production using a correlation analysis between the production parameters. This led us to develop and design workplan, which has allowed to reduce the number of defects and process variability during the production. Simultaneously, this workplan has shown good effects on the stability and productivity of the potato flakes production. The results have shown that the new implemented workplan has allowed us to maintain the stability of the production and to continuously achieve the daily production goals which were not the case before this work.

Key words: Lean manufacturing, Six-Sigma, VSM, production of potato flakes

1. Einleitung

Die Kartoffel zählt zu den häufigsten Sättigungsbeilagen mit einem hohen Kohlenhydratanteil. Es handelt es sich bei Kartoffeln um ein stärkereiches Grundnahrungsmittel, „[...] dessen Genusswert sowohl bei der häuslichen Zubereitung als auch bei der industriellen Verarbeitung vorwiegend durch die Textur bestimmt wird“ (Escher 1985, S. 5).

Seit 1993 wird im Werk Pfanni Stavenhagen Kartoffelpüree mit Hilfe des Flockenverfahrens hergestellt. In den letzten Jahren kommt es wieder zu Produktivitätsproblemen. Diese Probleme können von vielen Faktoren beeinflusst werden, wie Typ der zur Herstellung der Flocken verwendeten Kartoffeln, Anbausaison der Kartoffeln, Erntezeitpunkt der Kartoffeln, Anbaubereich und Lagerungsdauer der Kartoffeln. Diese Variationen haben bisher zu großen Schwankungen bei aus Kartoffeln hergestellten Flocken geführt. Diese können auch zum Teil auf Änderungen der Rezeptur oder auf Änderungen der Arbeitsmethoden zurückgeführt werden.

Der Trocknungsprozess der Kartoffelflocken ist sehr komplex. Seine Komplexität besteht darin, dass dieser Schritt von vielen Prozessparametern abhängig ist. Dies führt zu einer Limitierung der Produktivität und Abweichung der festgelegten Produktionsziele.

1.1 Projektrahmen

Ziel dieser Masterarbeit ist die Identifizierung und Optimierung der Prozessparameter zur Produktivitätssteigerung der Püree-Produktion im Produktionsbereich des Pfanni Werkes in Stavenhagen. Zielsetzung der Arbeit soll sein, den Einfluss der Arbeitsmethoden und der Produktionsparameter auf die Produktivität der Produktionslinien zu untersuchen, um daraus gegebenenfalls Maßnahmen für die Produktivitäts Stabilisierung und Optimierung abzuleiten.

Mittels des Lean Manufacturing Tools und der Six-Sigma Methode werden die speziellen Anforderungen aus der Praxis und im Besonderen aus den Bereichen Produktion und Datenerfassung berücksichtigt. Aus einer Übersicht und der Analyse der Ist-Situation soll ein allgemeines Konzept erarbeitet werden, das anschließend die Einführung in die Produktion unterstützt.

2. Stand der Wissenschaft und der Technik

2.1 Die Kartoffel

2.1.1 Allgemeines

Herkunft und Verbreitung

Die Urheimat der Kartoffel ist das Andengebiet von Südamerika. Bereits 1100 v. u. Z. ist eine hoch entwickelte Anbaukultur der Inkas nachgewiesen worden (Putz 1999, S.41), woraus jedoch nicht hervorgeht, welche Kulturpflanzen speziell kultiviert wurden. Adler erkennt einen Zusammenhang zwischen der Kultivierung der Pflanze etwa um 200 n. u. Z. und dem ersten Auftreten der Kartoffel als Motiv an Tongefäßen, die als Grabbeigabe in der Proto-Chimu-Periode gefunden wurden, deren Kultur unweit von Peru bei Trujillo in dieser Zeit entstand (Adler 1971, S. 11).

Die heutige Kulturkartoffel (*Solanum tuberosum* L.) ist gegen Ende des 16. Jahrhunderts nach Europa gekommen, wo ihre Eignung als Nahrungsmittel indessen zunächst nicht erkannt wurde. So war sie bis zur Mitte des 17. Jahrhunderts, zumindest auf dem europäischen Festland, nur als Zier- und Gartenpflanze bekannt. Erst hundert Jahre später sah man ihren großen Nutzen und propagierte den Feldanbau (durch Parmentier in Frankreich im Jahre 1789), welcher in Europa jedoch verhältnismäßig jung ist. Durch die in den zurückliegenden 200 Jahren vollzogene wirtschaftliche und volkswirtschaftliche Entwicklung in Deutschland erreichte die Kartoffel als ausgesprochenes Grundnahrungsmittel große Bedeutung. „Zu Beginn des 19. Jahrhunderts zählte Deutschland rund 20 Millionen Menschen, um 1900 waren es bereits mehr als 55 Millionen. Die Erwerbsgrundlage dieser Menschen beruhte anfänglich zu etwa 80 % auf der Landwirtschaft; am Ende des 19. Jahrhunderts [...] waren bereits 70 % in den übrigen Erwerbszweigen der Wirtschaft, vornehmlich in der Industrie, tätig“ (Adler 1971, S. 11). Diese Entwicklung der Bevölkerung und ihre wirtschaftliche Betätigung verlangten gewissermaßen nach einer Sicherstellung der Ernährung, welche ohne Intensivierung der Landwirtschaft und Eingliederung der Kartoffel im Ackerbau nicht möglich gewesen wäre. „Es war insbesondere die Kartoffel,

deren zunehmender Anbau und hohe Flächenleistung, deren vielseitige Verwendungsmöglichkeit als Nahrungs- und Futtermittel und schließlich deren Vorfruchtwert für die nachfolgende Getreidebebauung sie bald zu einer gleichermaßen unentbehrlichen Ackerfrucht wie Nahrungsgrundlage gemacht hat“ (Adler 1971, S. 12).

Botanik und Anatomie der Kartoffelknolle

Die Kartoffel gehört zur Familie der Solanaceen. Der Begriff bezieht sich auch auf die Pflanze selbst, krautige Pflanze, lebenskräftig durch ihre Knollen in Abwesenheit von Frost. Sie wird auch als einjährige Pflanze angebaut. Adler definiert die Kartoffelpflanze, unter geeigneten photoperiodischen und klimatischen Bedingungen als eine Staude, welche unterirdische Speicherorgane anlegt, aus denen sie sich zu Beginn der folgenden Vegetationsperiode erneuert. Die neuen Sprosse gehen ihrerseits wieder zur Anlegung neuer Speicherorgane über. Diese Speicherorgane werden Knollen genannt (Adler 1971, S. 21).

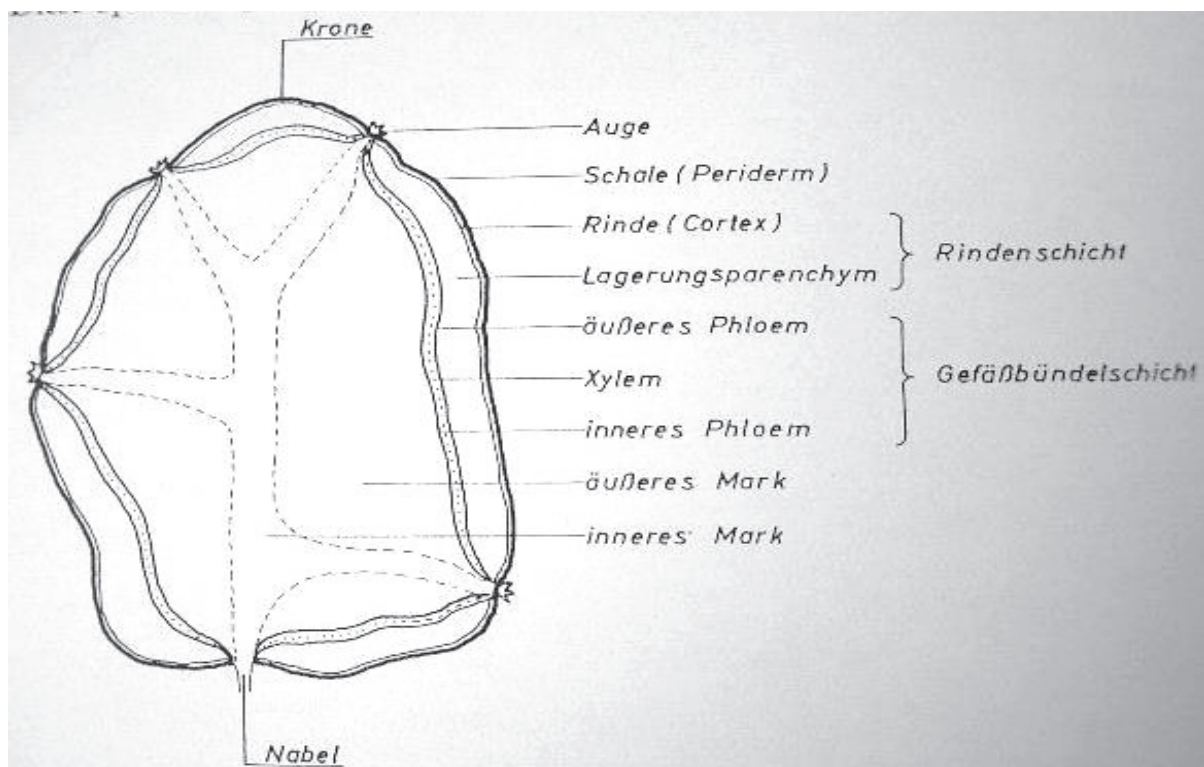


Abbildung 1: Längsschnitt eine Kartoffelknolle (Adler 1971, S. 21)

2.1.2 Kartoffel ein inhomogener Rohstoff

Obwohl eine so große Anzahl von Arbeiten über die Inhaltsstoffe von Kartoffelknollen vorliegen, ist es laut Adler sehr schwierig ein klares Bild über die Zusammensetzung der Inhaltstoffe und der Chemie von den Kartoffelknollen zu erhalten. Da sie von vielen Umweltbedingungen, Bodenbeschaffenheit, Witterung usw. abhängig sind, sind die Schwankungen von Inhaltstoffen bei den Kartoffelknollen sehr stark. In der nachfolgenden Tabelle 1 ist die durchschnittliche Zusammensetzung und die Schwankungsbreite dargestellt.

Tabelle 1: Zusammensetzung der Kartoffelknolle bezogen auf die Frischsubstanz (Adler 1971)

Kartoffelinhaltstoff	Durschnitt in %	Schwankungsbreite in %
Wasser	76,3	63,2- 68,9
Trockensubstanz	23,7	13,1- 36,8
Stärke	17,5	8- 29,4
Gesamtzucker	0,5	Spuren- 8,0
Rohprotein	2	0,7- 4,6
Rohfaser	0,7	0,2- 3,5
Rohfett	0,1	0,04- 0,96
Gesamtasche	1,1	0,4- 1,9

2.1.3 Trockensubstanz und Stärke

Die Trockensubstanz der Kartoffel besteht zum größtem Teil aus Stärke und aus Nichtstärkeanteil - Zellwandmaterial, Mineralstoffe, Proteine usw. Laut G. Adler werden die Unterschiede des Trockensubstanzgehaltes durch die Schwankungen des Stärkegehaltes verursacht (Adler 1971, S.25)

Die Stärke ist das Kohlenhydrat-Reservoir der Kartoffel. Die höchsten Gehalte befinden sich innerhalb des Gefäßbündelringes der Knolle. Die Stärke kann durch

Hinzufügen von Jod sichtbar gemacht werden. Dadurch färbt sie sich rotviolett. Die Stärkekörner, deren Durchmesser 15 - 100 μm betragen (Abb.2), haben eine ovale Form und sind bei Durchleuchtung im Lichtmikroskop durch exzentrische Schichtungen gekennzeichnet (Abb. 2). Kartoffelstärke besteht zu 20 % aus Amylose und zu 80 % aus dem verzweigten Amylopektin. Beides sind Aneinanderkettungen von Glucosemolekülen, die in charakteristischer Weise spiralig aufgewunden in den Stärkekörnern abgeschieden sind (Abb. 3).

Der Stärkegehalt von Kartoffelknollen kann, ähnlich dem der Trockensubstanz, durch Ermittlung des Unterwassergewichtes (Stärkewaage) bestimmt werden. Das so ermittelte spezifische Gewicht der Knollen, steht in einer bestimmten Relation zum Gehalt an Stärke bzw. an Trockensubstanz. Eine weit verbreitete Labormethode ist die Bestimmung der Stärke mit dem Polarisationsapparat, indem die Größe der optischen Drehung der Kartoffelstärke (= abhängig von der spezifischen chemischen Struktur) im polarisierten Licht gemessen wird. Heute finden auch enzymatische Bestimmungsmethoden größere Verbreitung. Hierbei wird die Stärke zunächst in ihre chemischen Bestandteile, den Glucosemolekülen, gespalten. Infolge einer weiteren enzymatischen Umwandlung der Glucose wird dann der Verbrauch an Reduktionsäquivalenten (NADPH) gemessen, der dem Gehalt an Glucose bzw. an Stärke proportional ist.

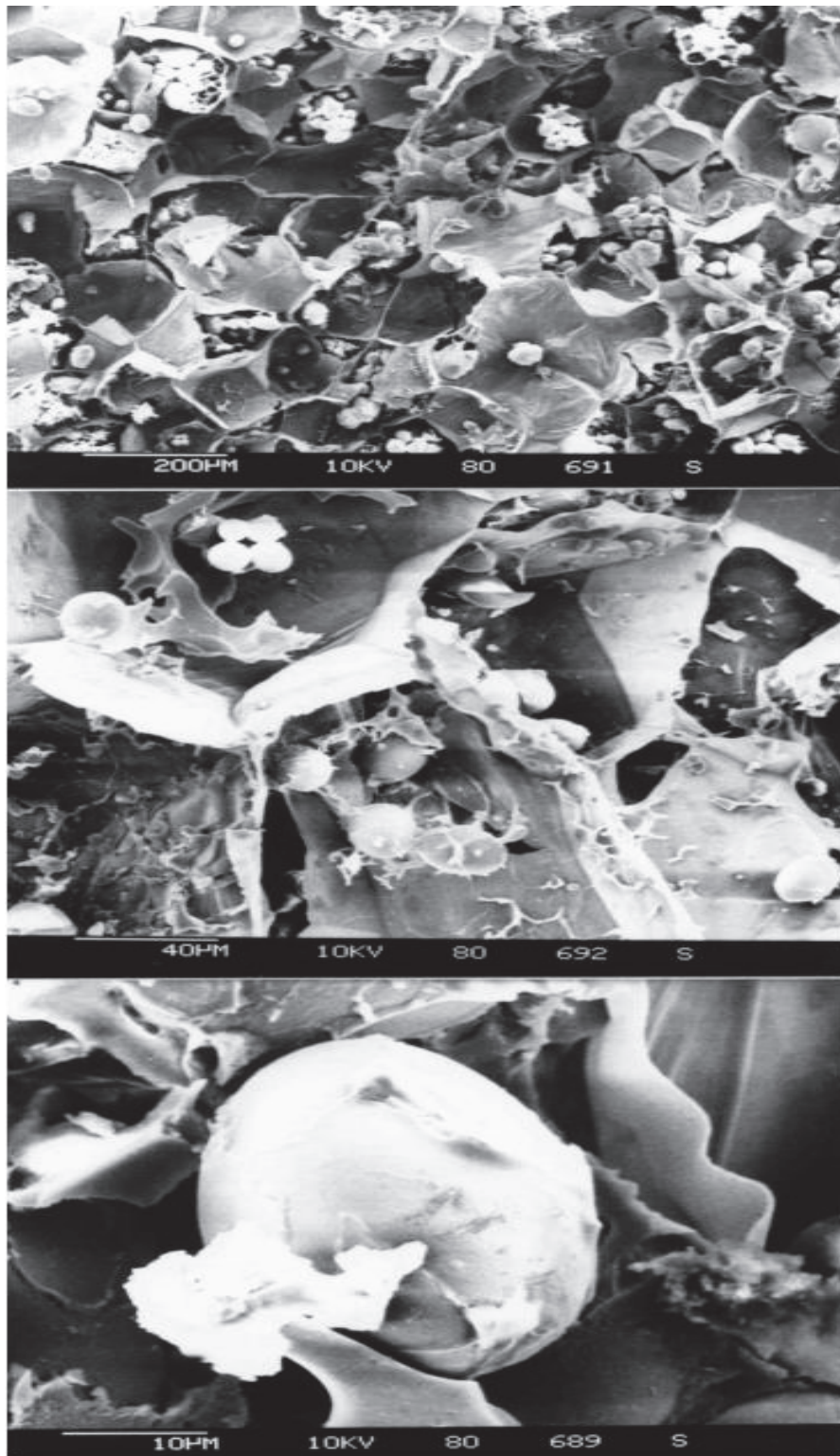


Abbildung 2: Elektronenmikroskopische Aufnahme von Zellverbänden mit Stärke-Körnern der Kartoffelknolle (Hartmut Kolbe, Einflussfaktoren auf Ertrag und Inhaltsstoffe der Kartoffel, Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie)

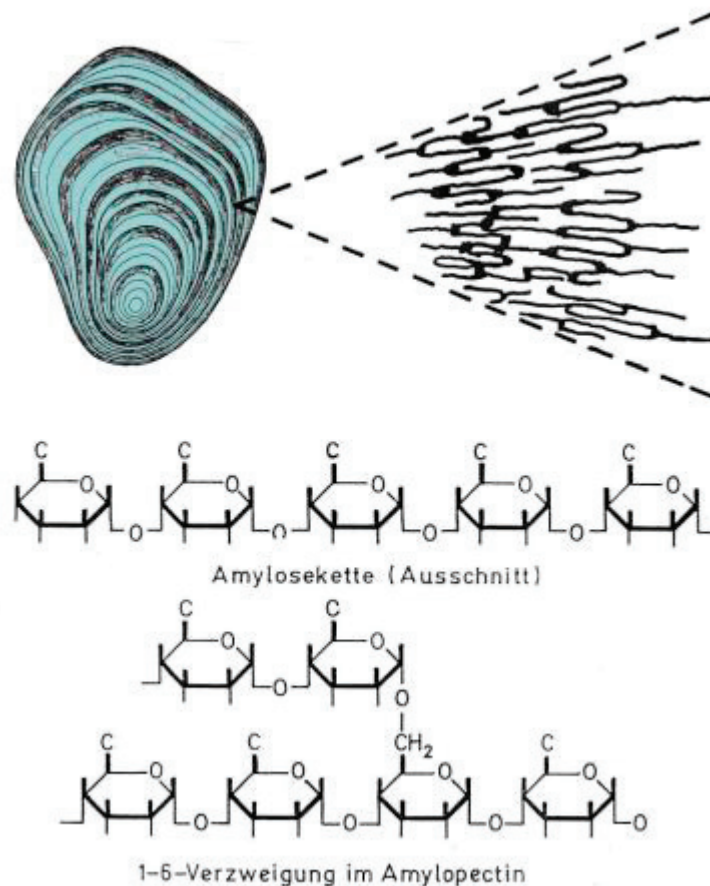


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Stärkekörner, Lagerung der Amylose und Amylopektinstränge und der chemischen Struktur dieser Stärkekomponten der Kartoffel (Hartmut Kolbe, Einflussfaktoren auf Ertrag und Inhaltsstoffe der Kartoffel, Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie)

2.2 Kartoffelprodukte für die menschliche Ernährung

Die Kartoffel ist eine wichtige Quelle für Kohlenhydrate, Eiweiß und Vitamin C. Aufgrund seiner ernährungsphysiologischen Eigenschaften und seiner leichten Kultur, sind die Kartoffeln eines der am meist verbrauchten Grundnahrungsmittel der Menschheit. Es ist auch die produktivste Nahrungsernte, die mehr Trockenmasse pro Hektar produziert, als Getreide und jede andere Kulturpflanze außer Zuckerrohr.

2.2.1 Geschichte der Kartoffelverarbeitung

Nach Einführung der Kartoffel in Europa, versuchte man die Kartoffel in ein haltbares Nahrungsmittel zu überführen. Zu einer industriellen Trocknung kam es jedoch erst

zum Ende der 19. Jahrhunderts. Die immer stärker steigenden Anbauflächen führten zu einer Überproduktion der Kartoffel. Große Schwierigkeiten mit der rationellen Verwertung der Kartoffel waren die Folge (Adler 1971, S. 59). Nach dem Ersten Weltkrieg hat sich der Lebensstandard der Bevölkerung, aufgrund der Steigerung von Gehältern und der zunehmende Arbeitseinsatz von Frauen, stetig erhöht, womit sich auch die Verzehrsgewohnheiten gewandelt haben. Der Konsum von vorgefertigten industriellen Produkten nahm zu, wogegen der Konsum von preiswerten Produkten sank. Grund dafür war die schnelle und unkomplizierte Zubereitung der Lebensmittel. Im Jahr 1959 erschienen immer weitere Kartoffelerzeugnisse auf den Markt wie z.B. Kartoffelpüree aus Kartoffelflocken, tiefgefrorene Pommes Frites, Knödel, geschälte Kartoffeln in Dosen (Adler 1971, S. 61). Dank der zahlreichen Forschungsarbeiten konnten qualitativ hochwertige und haltbare Kartoffelprodukte hergestellt werden. In diesem Zeitraum ging die Produktion von Kartoffeln zu Kartoffelveredelungserzeugnissen zu Einsatz vorwärts.

Tabelle 2: Entwicklung des Pro-Kopf-Verzehrs von Speisekartoffeln und Veredelungserzeugnisse in der Bundesrepublik Deutschland, zwischen 1954 und 1969

Jahr	Speisekartoffel Kg/Kopf	Veredelungserzeugnisse Kg/Kopf	Insgesamt Kg/Kopf
1954/55	157,2	0,8	158
1955/56	154,1	0,9	155
1956/57	150,3	1,7	152
1957/58	147,4	2,6	150
1958/59	139,3	2,7	142
1959/60	130,1	2,9	133
1960/61	128,6	3,4	132
1961/62	126,4	3,6	130
1962/63	121,7	4,3	125
1963/64	118,2	4,8	123
1964/65	111,9	6,1	118
1965/66	100,5	7,5	108
1966/67	99,7	8,3	108
1967/68	101,1	8,9	109
1968/69	101	11	122

2.2.2 Geschichte der Herstellung des Kartoffelpürees

Die ersten Versuche, vorgekochte und zerkleinerte Kartoffeln zu einem getrockneten Kartoffelbrei für den menschlichen Konsum zu verarbeiten, gehen auf das letzte Jahrhundert zurück (Escher 1986, zitiert nach Boyle, 1975; Feustel et al., 1964; Olson & Harrington, 1951; Olson & Harrington, 1955). Nach Escher 1986, wurde die intensivere Entwicklungsarbeit vor, während und nach dem 2. Weltkrieg vor allem in den USA und in England betrieben. Das Ziel war es, den Bedarf an Nahrungsmitteln der militärischen Truppen und der Bevölkerung während der Kriegszeit sicher zu stellen.

2.3 Herstellung von dem Kartoffelpüree

2.3.1 Kartoffel und Kartoffelpüree

Um die Zielqualität des Endprodukts mit Sicherheit zu erreichen, ist es wichtig, auf die Eigenschaften der verarbeiteten Kartoffelsorten zu achten. Idealerweise sollten die verarbeiteten Rohstoffe möglichst homogen für die Produktion verwendet werden.

Die Knollen sollen großfallend, regelmäßig rund-oval mit flacher Augenlage und mit geringer Verfärbungsneigung sein. Die Größe der Kartoffeln, ihre Form und die Augentiefe haben einen wesentlichen Einfluss auf die Schälverluste. Andere Kartoffeleigenschaften wie z.B. Lagerfähigkeit, Fleischfarbe, Sorteneinheit usw. sind auch entscheidend für die Qualität des Endprodukts. Für Püreeflocken wird eine gute Wasserwiederaufnahme gefordert sowie eine lockere, cremige Konsistenz des daraus zubereiteten Pürees.

Anforderung an den Trockensubstanzgehalt

Die Auswahl des Rohmaterials erfolgt in erster Linie nach der Höhe des Trockensubstanzgehaltes der Kartoffeln. Der Grund dafür ist der direkte Zusammenhang zwischen der Ausbeute und des Trockensubstanzgehalts der verarbeiteten Kartoffeln. Adler zitiert in seiner Forschungsarbeit, dass bei

Trockenprodukten ein Anstieg von 1% im Trockensubstanzgehalt des Ausgangsmaterials zu einer Erhöhung der Ausbeute um 1 Kg je 100 Kg geschälte Kartoffeln führt. Gleichzeitig sinken der Trocknungskosten, da 1 kg Wasser weniger zu verdampfen ist (Adler 1971, S.63).

Anforderung an die Konsistenz

Grundsätzlich kann man bezüglich der Konsistenz zwei Kartoffeltypen unterscheiden: der fest- und der mehligkochende Typ. Für die Kartoffelflockenherstellung bevorzugte G. Adler den mehligkochenden Typ.

Die mehligkochende Kartoffel lässt sich sehr leicht zerkleinern. Dies erklärt sich, durch die leichte Trennung der einzelnen Zellen und Zellverbände voneinander, ohne dabei im Kochprozess eine Zellzerstörung zu bewirken.

Die hohen Trockenmassegehalte der Kartoffeln wirken sich sehr nachteilig auf die Wasserwiederaufnahme und damit auf das Qualitätsmerkmal der Textur aus. Deswegen werden nach heutigem Kenntnisstand für die Herstellung von Kartoffelflocken mehligkochende Kartoffeln mit mittlerem Trockensubstanzgehalt, korrespondierend mit mittlerem Stärkegehalt, eingesetzt.

Anforderung an rekonstituiertes Kartoffelpüree

Die Technologie der Herstellung von Kartoffeltrockenpüree muss also in erster Linie die Vermeidung von Texturfehlern ermöglichen. Das Hauptziel der Entwicklung der Herstellungsprozesse war es eine optimale Konsistenz zu erreichen. Dazu wird In Bezug der Kartoffelpüree Qualität in verschiedenen Ländern die flaumige und lockere Textur und das frische Aroma von Püree, der etwas Körnigeren vorgezogen (Escher 1986. S.61, zitiert nach Kluge et al. 1978).

2.3.2 Herstellverfahren von Kartoffelpüree Flocken

Kartoffelpüree Fließschema

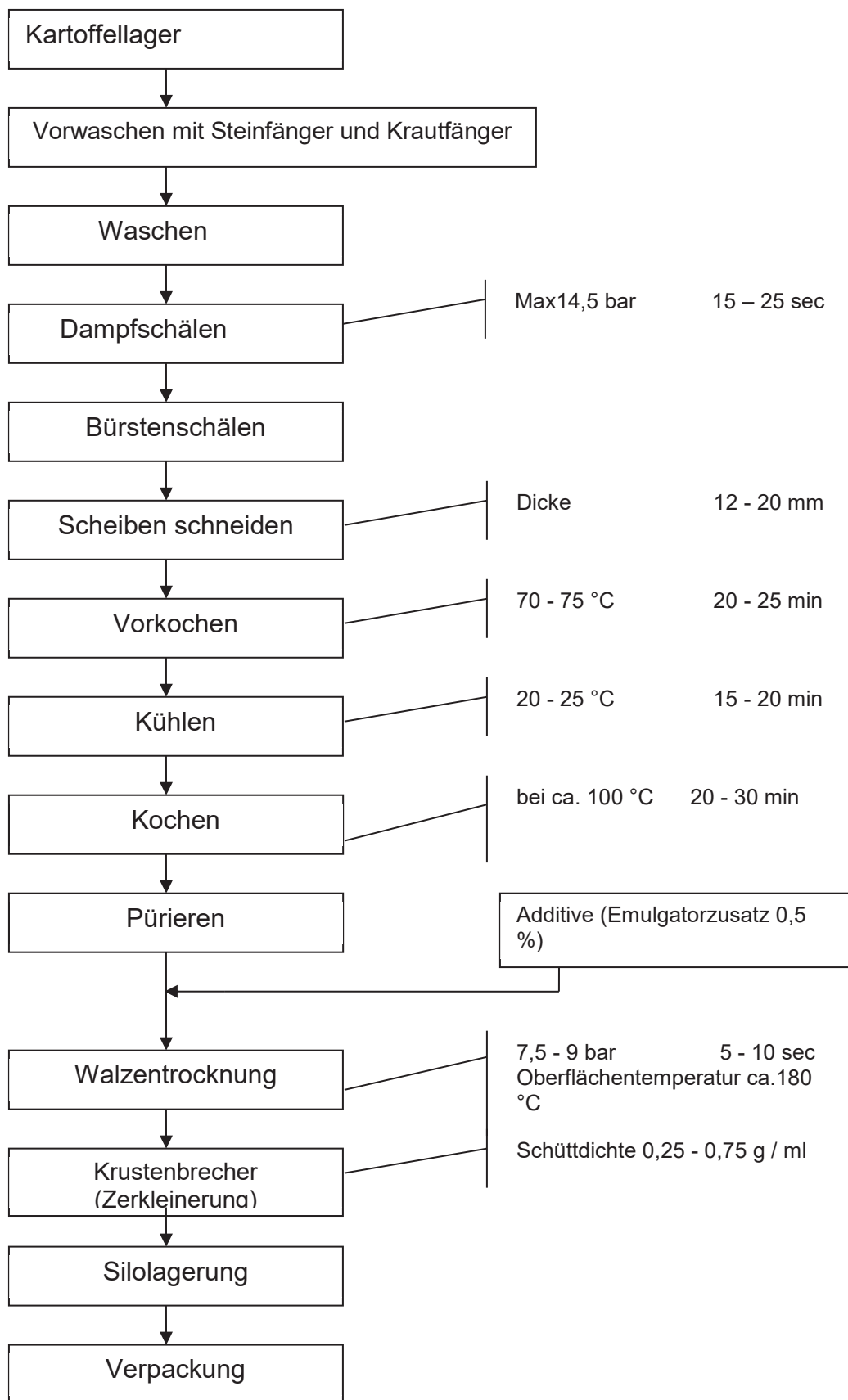


Abbildung 4: Prozess zur Herstellung von getrockneten Kartoffelflocken im Werk „Pfanni“

Vorbereitung des Rohstoffs für die Verarbeitung

Waschen

Bevor die Kartoffeln zu den einzelnen Verarbeitungsstufen gelangen, müssen sie gründlich von anhaftender Erde, Steine und Kräuter befreit werden. Dies erfolgt im ersten Schritt, durch ein Kraut- und Steinabscheider. In dem konusförmigen Behälter werden die Kartoffeln, Kräuter und Steine laut ihrer Schüttdichte unterschiedlich durch einen rotierenden Wasserstrom getrennt. Die vorgewaschenen Kartoffeln gelangen anschließend in die Waschtrommel, wo sie während des Waschvorganges aneinander scheuern und zusätzlich kräftige Wasserstrahlen für die Abfuhr des Schmutzes sorgen. (Adler 1971. S. 73).

Schälen

Das Schälen der Kartoffeln ist eine der wichtigsten Verfahrensstufen in der kartoffelverarbeitenden Industrie. Dieser Schritt hat das Ziel, die dünne äußere Schicht der Kartoffel zu entfernen. Die Kartoffelsorte, deren Form, Größe und die Tiefe der Augen sowie die Schalenstärke haben ein großer Einfluss auf die Schälenverluste. Bei der Dampfschälmethode werden die Kartoffeln für kurze Zeit einem hohen Dampfdruck ausgesetzt. Hierdurch wird die äußere Zellschicht angedampft und die schale vom unterliegenden Gewebe gelockert. Durch plötzliches Entspannen des Dampfes zerreißt die Kartoffelschale und kann durch Bürsten oder Wasserstrahlen entfernt werden (Adler 1971. S.77).

Nachsortieren

In diesem Schritt werden die beschädigten, stark ergrünt oder missgestalteten Kartoffeln auf den Bandförderer manuell aussortiert.

Verarbeitung zu Kartoffelflocken

Schneiden

Die geschälten Kartoffeln werden in diesem Schritt in 10-20 mm Dickscheiben geschnitten. Der Grund dafür ist eine gleichmäßige Erwärmung und Abkühlung sicher zu stellen. Dies hat zur Folge einen homogenen gargekochten Kartoffelbrei in den weiteren Prozessschritten. Dadurch wird ein gargekochter, homogener Kartoffelbrei erzielt.

Blanchieren, Vorkochen

Mit dem Vorkochprozess beginnt die gesamte thermische Behandlung der Kartoffelscheiben. Die Kartoffelscheiben werden bei 70-75°C heißem Wasser und einer Dauer von 20 bis 25 min blanchiert und dabei werden die Enzyme inaktiviert, die Stärke verkleistert und die Zellwand verstärkt. Andererseits findet in diesem Schritt die Entfernung von freier Stärke, welche durch Verletzung von Kartoffelzellen beim Schneiden der Kartoffeln auftritt, statt.

Abkühlen

Nach dem Vorkochprozess erfolgt ein Kühlvorgang. In diesem Schritt werden die Kartoffelscheiben mit 20-30°C kaltem Wasser für 15-20 Minuten gekühlt. Dabei retrogradiert die vorher verkleisterte Stärke. Zudem soll es zu einer Zellwand Verhärtung durch Einbau von Calcium in den Pektinmolekülen kommen (Henkel, 2008).

Kochen und Musen

Nach dem Vorkochen und Kühlen werden die Kartoffelscheiben mittels Dampf gargekocht, bis sie weich genug sind, um ohne größere Zellzerstörung püriert werden zu können. In diesem Schritt werden die Kartoffelscheiben bei etwa 100°C und einer Dauer von 20-30 Minuten gedämpft. Die gargekochte Kartoffelscheiben werden

zerdrückt und durch ein Schlitzsieb gemust. In diesem Schritt erfolgt auch eine Zugabe von verschiedenen Stoffen (Monoglyceride, Antioxidanten und SO_2) um die Haltbarkeit und die Konsistenz des Endproduktes zu verbessern. Die Antioxidanten und das SO_2 verhindern eine oxidative Veränderung beim Trocknungsprozess, Hier dienen die Monoglyceride der Komplexierung der noch vorhandenen Stärke sowie den geschmacksgebenden Komponenten.

Der Walzentrocknungsverfahren

Der grundsätzliche Teil der Kartoffelflockenproduktion liegt in der Trocknung von frischem Kartoffelmus mittels Walzentrocknern. Dabei wird das Kartoffelmus mit Hilfe von Auftragswalzen auf einen von innen beheizten rotierenden Stahlzylinder in dünner Schicht aufgebracht und durch Kontakt mit der Heizfläche getrocknet. Es entsteht ein dünner trockener Produktfilm, der durch Schabemesser von der Walze abgelöst und durch rotierende Schnecken gebrochen wird.

Die Walzentrockner bestehen aus einer oder zwei horizontal angeordneten, drehbar gelagerten heizbaren Trockenwalzen. Die Trockenwalzen bestehen aus Edelstahl, um Kontaminationen und Farbeänderungen des Produktes zu vermeiden. Sie sind von innen, durch einen kontinuierlichen Dampfstrom mit einem bestimmten Dampfdruck beheizt. Die Temperatur soll so hoch wie möglich sein, ohne dass das Produkt verbrennt oder seine Farbe verändert. Die Temperatur ist viel Faktoren abhängig, wie z.B. von der Maße der Walze, der Umdrehungen pro Sekunde, der gewünschten Restfeuchte des Produktes und der Dicke des getrockneten Produktfilms (Cording et al. 1954)

Speiser (1915) hat in seinem Aufsatz die Arbeitsverfahren für die Herstellung von Stärke, Schnitzeln und Flocken dargestellt unter Berücksichtigung einiger älterer Verfahren. Damals wurden die gereinigten Kartoffeln in großen Dampffässern gedampft um sie in den Walzenapparaten zuzuführen. Die leichte zufallende Masse wird durch geeignete Quetsch- und Verteilwalzen auf große, von innen mittels Dampf geheizte Hohlwalzen geleitet. Bei dem Zweiwalzentrockner (Abbildung. 5) bewegen sich die Walzen gegeneinander und walzen einen dünnen Schleier aus, der als Mantel den beiden Walzen anhaftet, während der langsamen Umdrehung. Nach etwa $\frac{3}{4}$

Umdrehung wird der Film durch ein besonderes scharfes Messer abgehoben. Die 0,15 bis 0,35 mm dicke Schleier wurden danach durch ein Rührwerk zerkleinert.

Um die Leistungsfähigkeit der Maschine zu erhöhen, wurden unter oder neben den Heizwalzen besondere Glattwalzen angeordnet. Diese Glattwalzen sollten die Kartoffelschicht dicht an den Walzen andrücken. Die Auftragwalzen sind von innen beheizte, rotierende Stahlzylinder. Sie dienen auch zur gleichmäßigen Verteilung des Kartoffelbreis, als dünne Schicht auf die Verdampferwalze. Aus dieser Bauart hat sich der Einwalzentrockner entwickelt (Abbildung. 6).

Die Abmessungen der Walzen gehen je nach der erfordernten Leistung bis zu 1,25 m $\varnothing$ und 2,5 m Länge. Ihre Drehgeschwindigkeit wird zweckmäßig regelbar eingerichtet; man erhält mit 2 bis 6 minütlich Umdrehungen Umfangsgeschwindigkeiten von etwa 0,12 bis 0,4 m/Sek. Die Trockner werden ausgeführt für Verarbeitung von 200 bis 1200 kg roher Kartoffeln in der Stunde. Auf dem Quadratmeter Walzenoberfläche kann eine Verarbeitung von etwa 70 bis 80 kg Rohkartoffeln in der Stunde gerechnet werden. Die Beheizung der Walzen geschieht im Allgemeinen durch Dampf von etwa 4 bis 5 at Spannung. Das Kondenswasser aus den Walzen wird mit hoher Temperatur in den Dampfkessel zurückgespeist (W.Speiser 1915).

Im Lauf der Zeit wurden die Walzentrockner mit mehrere Auftragswalzen ausgestattet und dadurch ihre Leistungsfähigkeit weiter optimiert (Abbildung. 7).

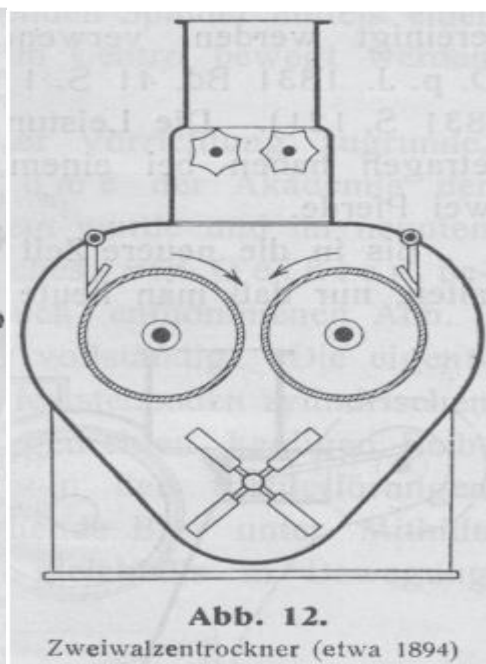
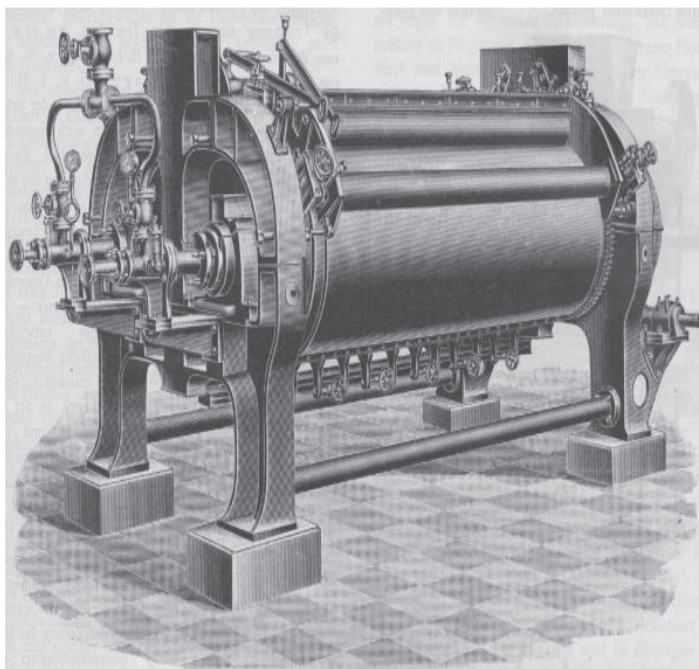


Abbildung 5: Zweiwalzentrockner (W.Speiser. 1984)

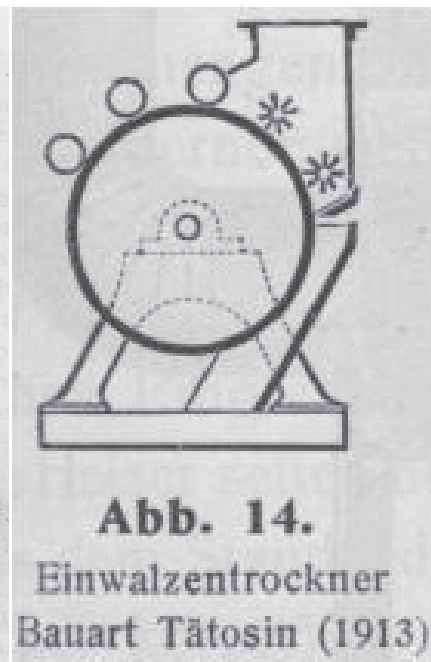
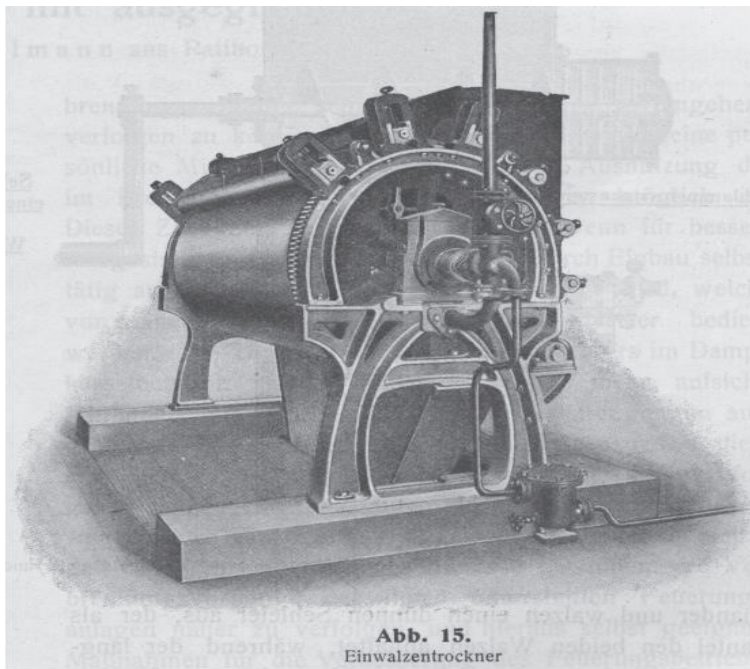


Abbildung 6: Einwalzentrockner (W. Speiser. 1913)

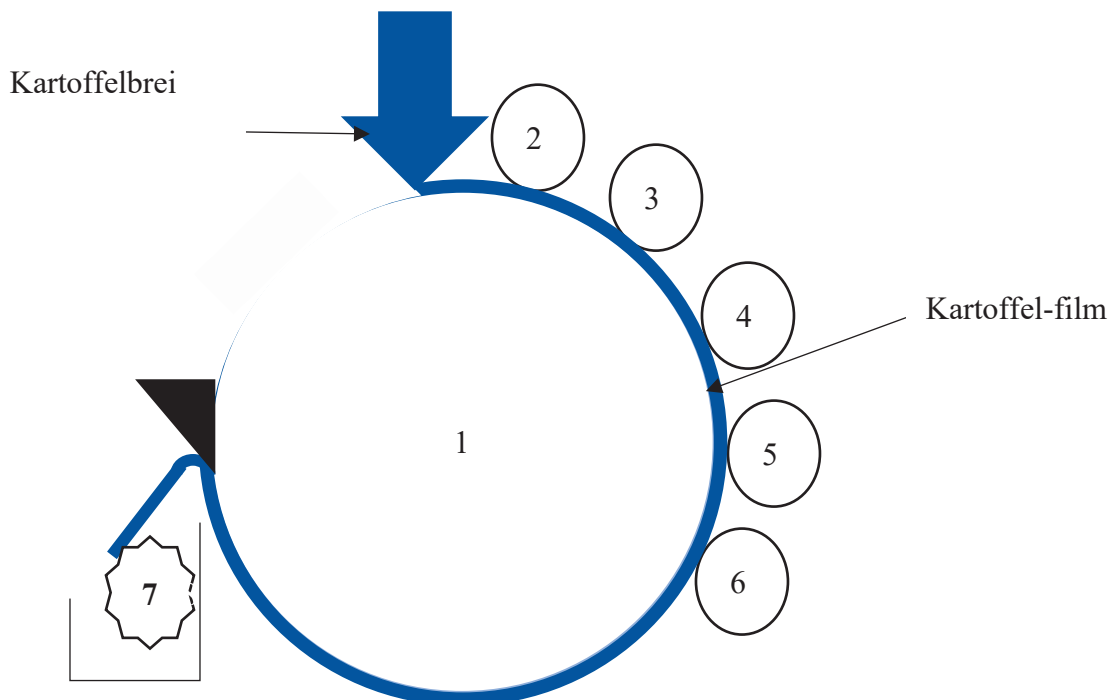


Abbildung 7: Langschnitt ein Walzentrockner im Werk Pfanni 2018

- 1: Verdampferwalze
- 2,3,4,5,6: Auftragwalzen
- 7: Schnecke
- 8: Schabemesser

Vermahlen

Nach dem Trocknungsprozess werden die Flocken in einem Silo bis zum Vorliegen des Qualitätsbescheides zwischengelagert.

Vor der Abfüllung werden die Flocken durch Vermahlen in einer Schneidemühle auf das gewünschte Schüttgewicht eingestellt. Durch Wahl des Schneidekopfes und durch Drehzahlveränderung mittels Frequenzumrichters (FU) kann die Mahlfineinheit variiert werden. Um das gewünschte Schüttgewicht des Produkts zu erreichen, werden verschiedene Mühlen eingesetzt. Häufig werden die Hammermühlen und die Comitrohl-Mühlen angewendet dabei helfen auch die Taumelsiebe, die das Produkt nach Schüttgewicht trennen.

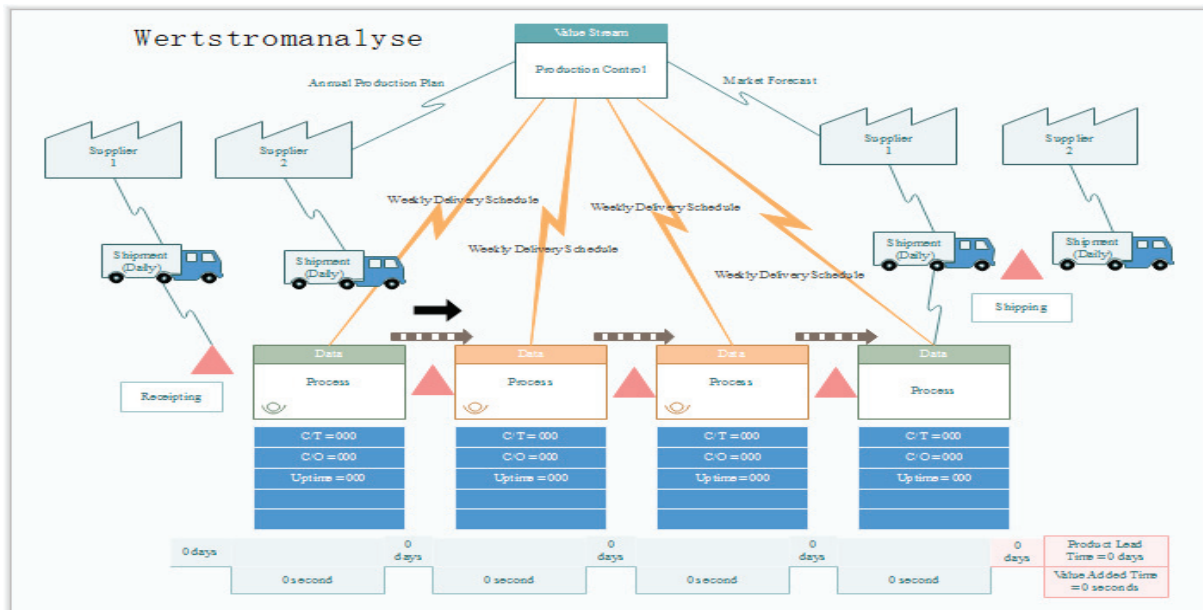
2.4 Lean Manufacturing

2.4.1 Lean Manufacturing Tools

Value Stream Mapping VSM

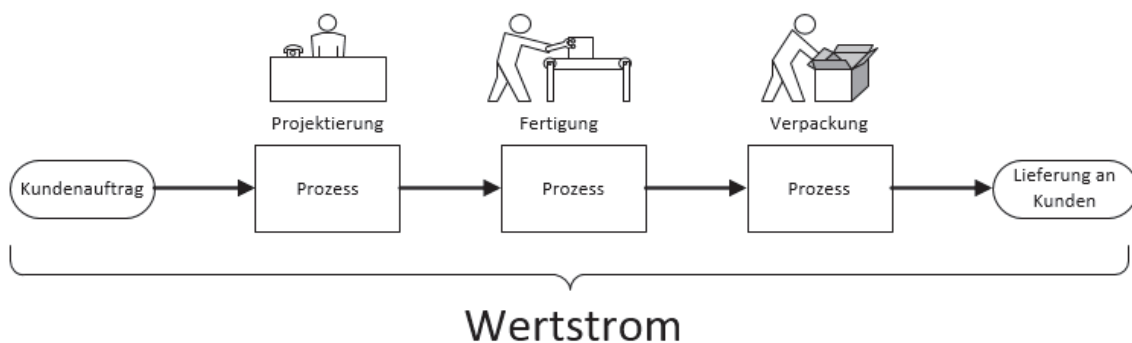
Informationsvermittlung ist in der heutigen Gesellschaft eine der wichtigsten Aufgaben und gehört zum Visual Management (VSM). Unter VSM wird die Wertstromanalyse verstanden. Das Material und der Informationsfluss wird entlang der Prozesskette abgebildet, wobei die Analyse ausgehend vom Kunden bis zum Lieferanten reicht. Die einzelnen Prozessschritte werden aufgezeichnet und nach ihrem Status bewertet.

Die VSM erlaubt den Mitarbeitern und dem Management im Lean-Management die Prozesse aus der Sichtweise des Kunden zu betrachten und nach Muda (Verschwendung) zu durchforschen (Goerecki, Lean Management, S.44).



Wertstrom:

Ein Wertstrom umfasst sämtliche Arbeiten und Aktivitäten, die notwendig sind, einen Auftrag zu erfüllen. Der Wertstrom beginnt somit beim Kunden und endet beim Kunden. Der Kunde kann hierbei intern oder extern sein.



Lieferzeiten und Durchlaufzeiten

Die Durchlaufzeiten erfahren bei der Erstellung der Wertstromanalyse eine besondere Bedeutung. Die Reduzierung der Durchlaufzeit hat bei den Erfindern der Methodik

(Toyota) den höchsten Stellenwert. Deutlich wird dies beifolgendem Zitat von Taiichi Ohno (Toyota):

„Alles, was wir tun, ist, auf die Durchlaufzeit zu achten. Von dem Moment, in dem wir einen Kundenauftrag erhalten, bis zu dem Moment, in dem wir das Geld in Empfang nehmen. Einen hauptsächlichen Ansatz zur Reduzierung der Durchlaufzeiten bieten die Wartezeiten.

Die Durchlaufzeit unterteilt sich in Prozesszeiten und Wartezeiten. Prozesszeiten sind Zeiten, bei denen Sie am Produkt oder Service eine Handlung vornehmen. Wartezeit ist die Zeit, bei der das Produkt auf den nächsten Prozess wartet. Bei der Analyse des Wertstromes werden Sie bestürzt sein, wie lange die Wartezeit im Verhältnis zur Prozesszeit ist. Teilweise sind Anteile von 95 % – 98 % Wartezeit innerhalb der Durchlaufzeit üblich.

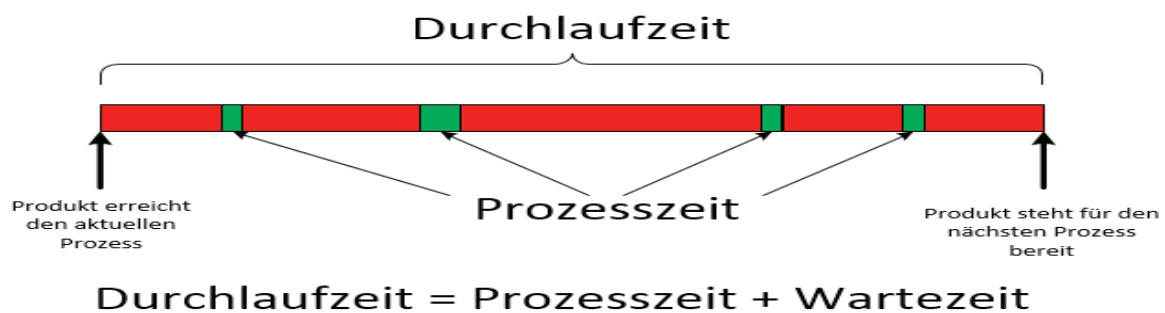


Abbildung. 10: Schematische Darstellung von der Durchlaufzeit

Der „Plan, Do, Check, Act“ Ansatz

Beim PDCA handelt es sich um einen Problemlösungsprozess, der aus vier Phasen besteht Plan, Do, Check, Act. Hintergrund dieser Einleitung ist die Annahme, dass ein erfolgreicher Verbesserungsprozess immer bestimmte Abfolgen und Schritte erfordert. PDCA basiert auf der Methodik der Hypothese, also einer wissenschaftlich basierten Annahme, die es zu beweisen oder abzulehnen gilt. Dies wird durch statistische Prozessbegleitung erreicht (Goerecki, Lean Management, S.92).

Die vier Phasen des PDCA sind in einem Kreislauf strukturiert und führen zu einem wiederkehrenden Zyklus der mit der Plan-Phase beginnt.

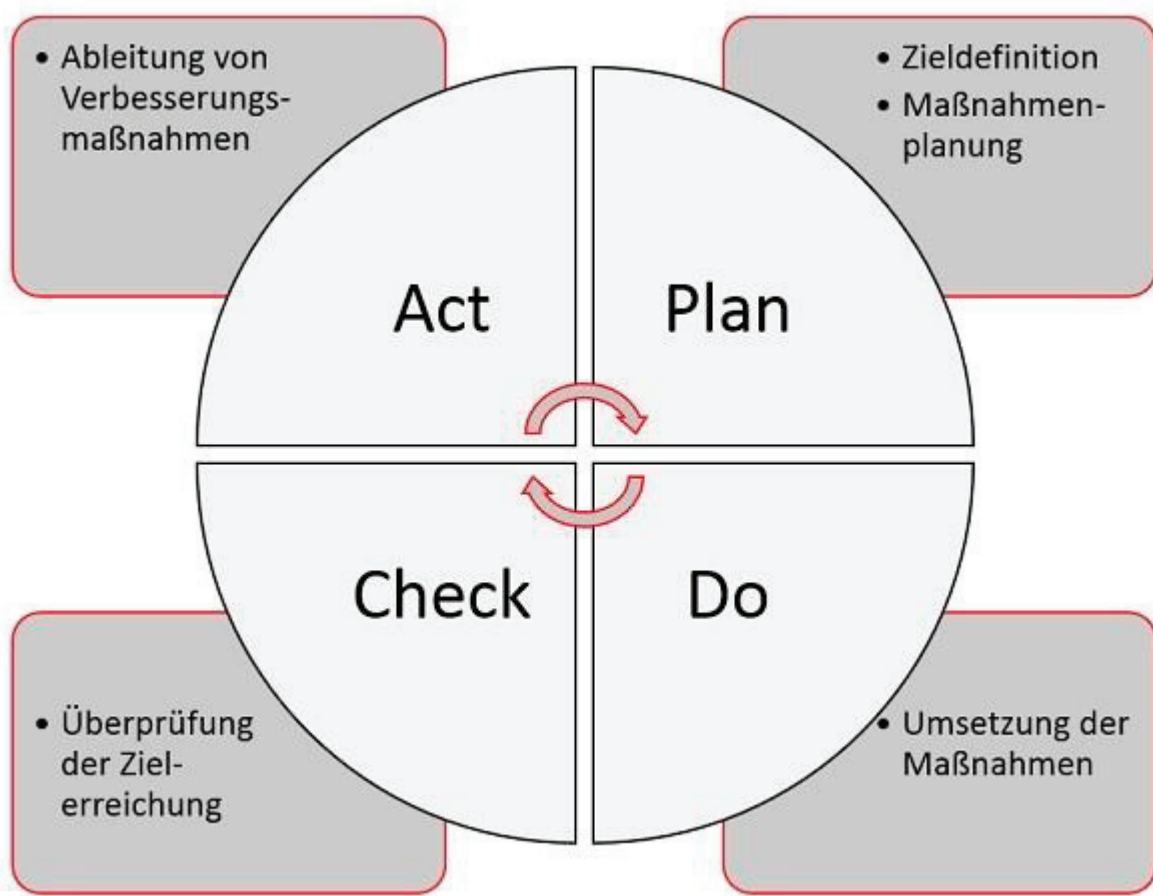


Abbildung 11: Schematische Darstellung von der PDCA Zyklus

Die Plan-Phase:

Unter der Plan-Phase wird beim PDCA-Kreis nicht ausschließlich die zeitliche Planung verstanden, sondern vielmehr die Analyse des Problems. In diesem Schritt werden folgende Punkte abgearbeitet:

- Definition des Problems und der Ziele
- Ist- und Zielwert werden miteinander verglichen und die Abweichung wird festgelegt
- Festlegung der Methode, um das Problem zu Analysieren
- Genauere Analyse des Problems und der Daten sowie die Definition der Problemverursacher

Die Do-Phase:

Die Do-phase gestaltet sich je nach Komplexität des Projekts unterschiedlich. Wobei nun die in der Plan-Phase aufgestellten Lösungsansätze in Hypothesen umzuwandeln sind. Danach erfolgt das testen der Hypothesen.

Die Check-Phase:

In der Check-Phase werden die Implementierungen oder der Hypothesentest evaluiert. Die in der Plan-Phase erstellten Erwartungen werden den Ergebnissen aus der Do-Phase gegenübergestellt. Hier kommt es zu folgenden Ergebnis:

- Hat die Umsetzung (Hypothese) die Erwartungen erreicht oder nicht?
⇒ Die Hypothese wird also nun bestätigt oder abgelehnt.

Die Act-Phase:

Die Act-Phase ist die Reaktion auf die Ergebnisse der Plan- und Check-Phase. Hier werden die Entscheidungen auf der Grundlage der Untersuchungsergebnisse und Zielvorgaben getroffen. Es wird festgestellt, ob die Verbesserung ihr Ziel erreicht hat und die Hypothesen bestätigt oder abgelehnt werden

Der Ishikawa Diagramm

Dieses Verfahren wurde 1950 vom Japaner Kaouro Ishikawa entwickelt. Das Ursache-Wirkungs-Diagramm bzw. Fischgräten-Diagramm genannt, wird benutzt, um mögliche Einflüsse auf ein vorhandenes und zu bearbeitendes Kriterium zu ermitteln und darzustellen.

Als grundsätzliche Einflüsse sind meist die „7M-Störgrößen“: Mensch, Maschine, Methode, Material, Management, Messbarkeit und Mitwelt“ vordefiniert. Unter diesen Oberbegriffen werden die detaillierten Einflüsse ermittelt und in das Diagramm

eingetragen. Das Ishikawa-Diagramm ist eine gute Möglichkeit, sich einen Gesamtüberblick über die auf das Kriterium wirkenden Einflüsse zu verschaffen

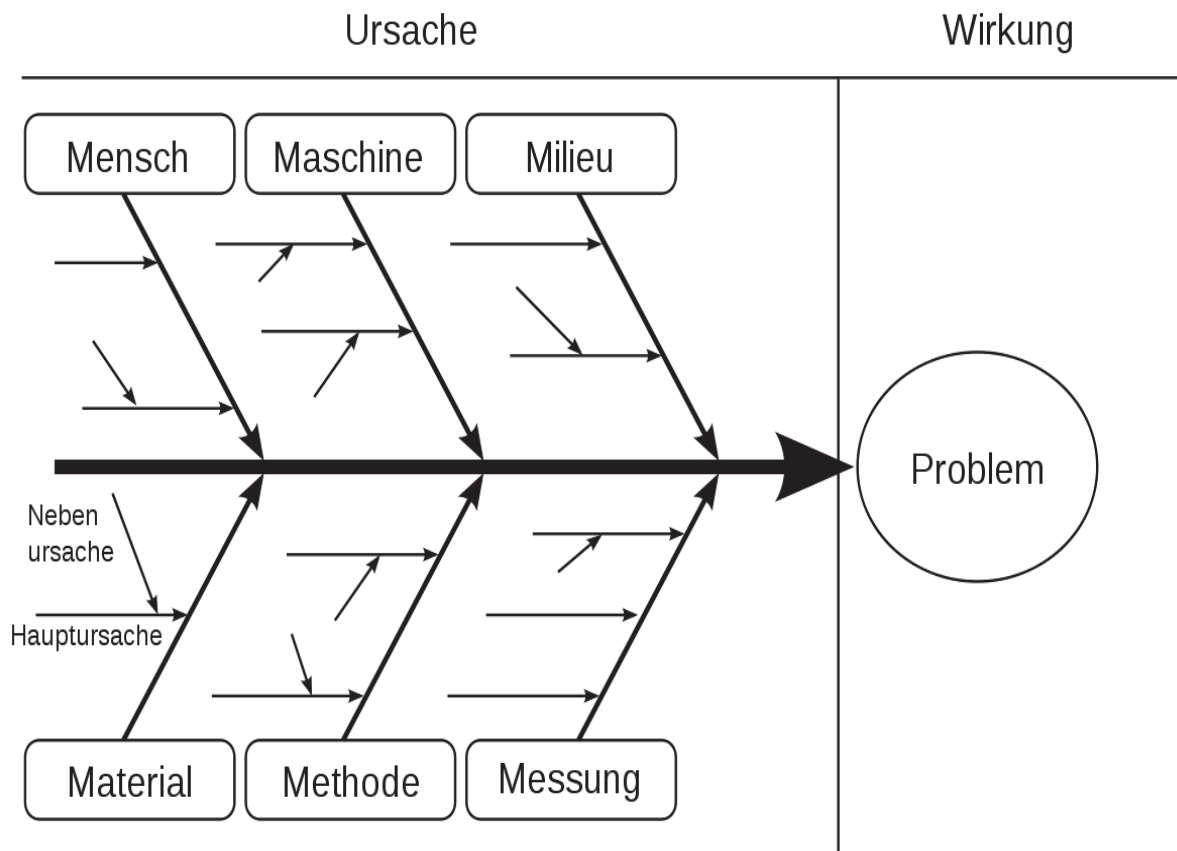


Abbildung 12: Schematische Darstellung von der Ishikawa Diagramm allgemein

2.4.2 Die Six-Sigma Methode

Die Six-Sigma setzt auf einen Verbesserungsprozessablauf und die Teambildung, welche in fünf Phasen, den sogenannten DMAIC-zyklen, ablaufen. Der Zyklus beinhaltet die Phasen: Define, Measure, Analyze und Improve (Goerecki, Lean Management, S.109).

Define

Die Define-Phase ist die Erstellungsphase des Projektvertrags. Hier werden die Aufgabenstellung und die Zielvereinbarung ausgearbeitet und definiert.

Measure

Hier werden die Hypothesen definiert. Anschließend werden die dazugehörigen Messverfahren festgelegt. Dann erfolgt die Erhebung der Daten. Hierfür ist die Machbarkeit der Datenerhebung im Vorfeld abzuklären.

Analyse

Die Analyse ist der nächste Schritt, der nach der Messung erfolgt. Hier wird die Messung nach Ursachen identifiziert, verifiziert und quantifiziert. Nun wird versucht, aus den Messungen auf die Fehlerursache zu schließen sowie den Nachweis für die Gültigkeit zu erbringen.

Improve

In der Verbesserungsphase wird versucht, eine Lösung für das Problem zu finden, die kostengünstig und effektiv ist. Hier werden auch die Messgrößen festgelegt, um den finanziellen Effekt aus der Verbesserung zu beziffern. Zusätzlich werden eine Risikoanalyse und ein Umsetzungsplan generiert. Danach erfolgt die Umsetzung.

Control

Nun wird die Verbesserung anhand ihrer Nachhaltigkeit geprüft. Hier werden die Ist-Messgrößen den Plan-Messgrößen gegenübergestellt, Abweichungen erfasst und dokumentiert. Bei Abschluss erfolgt nun die Integration des veränderten Prozesses in dem Prozessstandard.

2.5 Deskriptive Statistik

2.5.1 Pearson Produkt-Moment Korrelation

Die Pearson-Produkt-Moment Korrelation ist eine Methode die sehr häufig zur Bestimmung der Stärke des linearen Zusammenhangs zwischen zwei Variablen eingesetzt. Sie wird meistens durch den Buchstaben „r“ bezeichnet.

Der Korrelationskoeffizient ist zwischen -1 und $+1$ definiert, wobei ein Wert von $+1$ einen perfekten positiven Zusammenhang zwischen beiden Variablen beschreibt, während eine Korrelation von -1 einen perfekten negativen (inversen) Zusammenhang (Antikorrelation) beschreibt. Eine Korrelation von Null bedeutet, dass kein Zusammenhang zwischen beiden Variablen existiert.

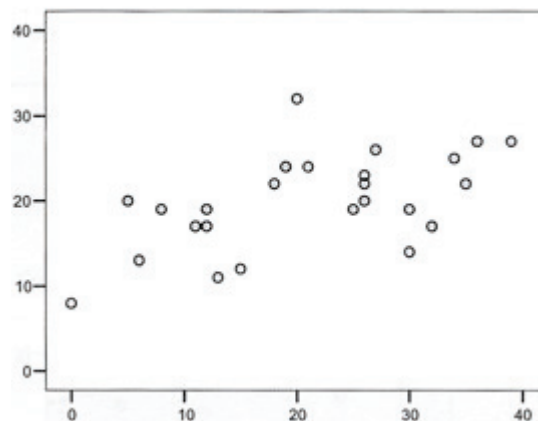


Abbildung 13: Streudiagramm

In einem Streudiagramm wird der Zusammenhang zwischen zwei Variablen grafisch dargestellt. Das Streudiagramm ist ein Koordinatensystem, welches eine x-Achse und eine y-Achse besitzt. Die Variablen werden auf die Achsen eingetragen. Auf diese Art und Weise entsteht ein bestimmtes Muster, welches auch Punktwolke genannt wird.

Der Zusammenhang zwischen den Variablen kann einerseits linear und andererseits kurvilinear sein. Der positive lineare Zusammenhang entspricht einer Geraden bei dem die hohen Werten der variable A einher mit hohen Werten der Variable B gehen.

Die Stärke des Zusammenhangs zwischen den Variablen lässt sich im Streudiagramm daran erkennen, wie nah die einzelnen Punkte an der gedachten Geraden liegen.

Ein perfekter Zusammenhang besteht, wenn der Korrelationskoeffizient den Wert (+/-)1 annimmt.

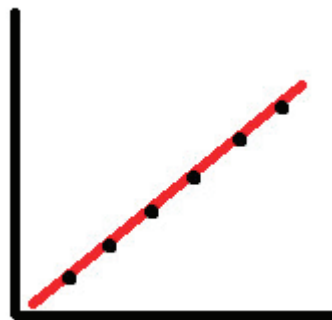


Abbildung 14: perfekter Zusammenhang

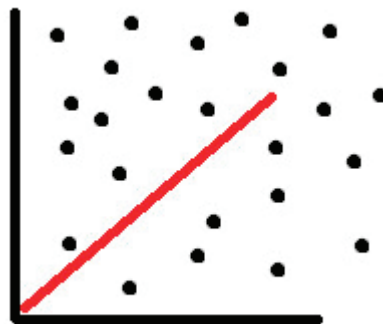


Abbildung 15: kein Zusammenhang

Formel zur Berechnung des Korrelationskoeffizienten

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2\right) \cdot \left(\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2\right)}}$$
$$r = \frac{\text{cov}(x, y)}{s_x \cdot s_y}$$

Die obere Zeile (erste Formel) besagt, dass man als erstes den Abweichungswert berechnet, d.h. für beide Variablen müssen für jeden Parameter die Differenzen zwischen ihrem Messwert und dem Mittelwert bestimmt werden.

Bei niedrigen Messwerten sind die Abweichungswerte negativ, bei hohen Messwerten hingegen positiv.

Als nächstes bildet man das Produkt aus den beiden Abweichungswerten.

Das Produkt wird als „Kreuzprodukt“ bezeichnet.

Im dritten Schritt werden die Kreuzprodukte aller Variablen aufaddiert (Summenzeichen). Die Summe der Kreuzprodukte wird "Produkt-Moment" genannt.

Das Produkt-Moment nimmt bei positiven Zusammenhängen positive Werte an und bei negativen Zusammenhängen ergeben sich negative Werte. Besteht kein Zusammenhang zwischen den Variablen, ergibt sich der Wert 0 für das Produkt-Moment.

Das Produkt-Moment darf an dieser Stelle jedoch nicht als Zusammenhangsmaß interpretiert und verwendet werden.

Der Grund hierfür ist, dass das Produkt-Moment abhängig von der Anzahl der Personen ist.

Deshalb wird im vierten Schritt das Produkt-Moment durch die Anzahl der Personen dividiert. Dadurch erhält man das durchschnittliche Kreuzprodukt (welches als Kovarianz bezeichnet wird - siehe zweite Formel).

Das Problem der Kovarianz ist, dass sie abhängig ist von den benutzten Maßeinheiten (Beispiel: kg und cm).

Deshalb wird im fünften Schritt die Kovarianz dividiert durch das Produkt der Standardabweichungen der beiden Variablen (untere Formel). Dadurch erhält man den Produkt-Moment-Korrelationskoeffizienten, welcher als Zusammenhangsmaß geeignet ist. (obere Formel) Sedlmeier, P. & Renkewitz, F. (2008).

Interpretation der Korrelationskoeffizienten

Der Korrelationskoeffizient ist einfach und unkompliziert zu interpretieren. Am häufigsten werden die Richtlinien von Cohen (1988) für die Interpretation verwendet, wie sie unten stehen.

Interpretation von r nach Cohen (1988)	
geringe / schwache Korrelation	$ r = .10$
mittlere / moderate Korrelation	$ r = .30$
große / starke Korrelation	$ r = .50$

3. Material und Methoden

In diesem Abschnitt werden die verwendeten Materialien und Methoden sowie die Vorgehensweise erläutert.

Im Beginn der Studie werden im ersten Schritt die Prozesse und die Abläufe kennengelernt. Dafür erfolgen Rundgänge mit dem Produktionsmeister, wobei die Prozessschritte und die Abläufe allgemein beschrieben werden. Im zweiten Schritt werden die Prozessparameter durch die Anlagenfahrer in den verschiedenen Abteilungen weiter erläutert und die Prozesse tiefer beschrieben. Mit Hilfe der Schichtleiter werden auch die Produktionsprotokolle in den verschiedenen Produktionsbereichen gesichtet und analysiert. Zwischendurch erfolgt auch eine Mitarbeiterbefragung in allen Bereichen.

3.1 Phase 1 „Define“

3.1.1 Die „5-Why“-Methode:

Die 5-Why-Methode ist eine hilfreiche Vorgehensweise zur Ursachenfindung. Die Anzahl des Nachfragens ist nicht auf fünf begrenzt, diese Zahl ist symbolisch zu verstehen. Die „5Why“ Methode wird in dieser Phase verwendet um unsere Problematik strukturiert zu Beschreiben.

Tabelle 3: Ursachen Erkennung durch die „5 Why-Methode“

Was	Niedrige Produktivität in der Grundproduktion Produktionsziele sind nicht erreicht
Wer	Produktionsabteilung, Engineering, Qualitätsabteilung
Wann	Während des Berechnens der geplanten Produktivität
Wo	Die Grundproduktion
Warum	Pflegen der Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens Erreichen täglicher Produktionsziele (Qualitativ und Quantitativ) Produktion erhöhen, um neue Aufträge zu erfüllen
Wie	Untersuchung von den Prozessabläufen Festlegung von den Produktionsparametern Entwicklung von Maßnahmenplan folgend der DMAIC Ansatz

Im Folgenden sind die Antworten ausführlich erläutert:

Was: Die Grundproduktion ist das Kernstück des Produktionsstandortortes der Marke „Pfanni“. Dort erfolgen die Schritte von der Vorbereitung der Rohstoffe für die Verarbeitung bis zur Verarbeitung zu Kartoffelflocken. Die Produktivität in dieser Abteilung wird sehr beeinflusst von der Qualität des Rohstoffes, die Prozessparameter und der Arbeitskraft. In den vergangenen Jahren ist die Produktivität von dieser Abteilung leicht gesunken. In Folge wurden die Produktionsziele nicht stabil erreicht.

Wer: Die zuerst betroffenen Abteilungen sind die Produktionsabteilung, Engineering-Abteilung und die Qualitätsabteilung.

Wann: Die Produktivitätsprobleme sind während des Berechnens der produzierten Mengen und während der Produktionsplanung eingetroffen.

Wo: In der Grundproduktion

Warum: Die Lebensmittelindustrie entwickelt sich weiter und der Markt ist immer anspruchsvoller in Bezug nachhaltiger Entwicklung und Kundenanforderungen. Deswegen ist es dringend, neue Maßnahmen zu ergreifen, um die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens zu pflegen und neue Aufträge zu erfüllen.

Wie: Anhand des DMAIC Ansatzes werden die Prozessabläufe in der Grundproduktion untersucht und Kontrollmaßnahmen getroffen.

3.1.2 Process Mapping

Das Prozess-Mapping ist eine Methode zur Optimierung der Prozesse. Dabei werden die Abläufe im IST-Zustand zunächst visuell dargestellt mittels Fluss-Diagramm.

Dabei werden die gesammelten Informationen über Prozesse und die Abläufe bei der Kartoffelflockenherstellung erfasst. Dann erfolgt die Analyse im Hinblick auf Verschwendung durch Schleifen, Wartezeiten, Redundanz, Doppelarbeit etc. Ziel ist es eine komplette und detaillierte Übersicht von der Kartoffelflockenherstellung im Werk „Pfanni“ zu entwickeln.

In unserem Fall wird das detaillierte Fluss-Diagramm mit einer Tabelle, die aus 7 Spalten besteht, vervollständigt. In dieser Tabelle befinden sich Informationen über: die Prozessschritte, Prozessbeschreibung, Ausstattung, die Lieferanten, die Anzahl der Mitarbeiter und Beschreibungen deren Tätigkeiten.

Diese Informationen sind wie folgend im Anhang für alle Produktionsbereiche dargestellt.

Unter Prozessschritt werden die einzelnen Prozessschritte von der Kartoffelverarbeitung eingefügt.

Unter Prozessbeschreibung werden die Prozessschritte kurz beschrieben

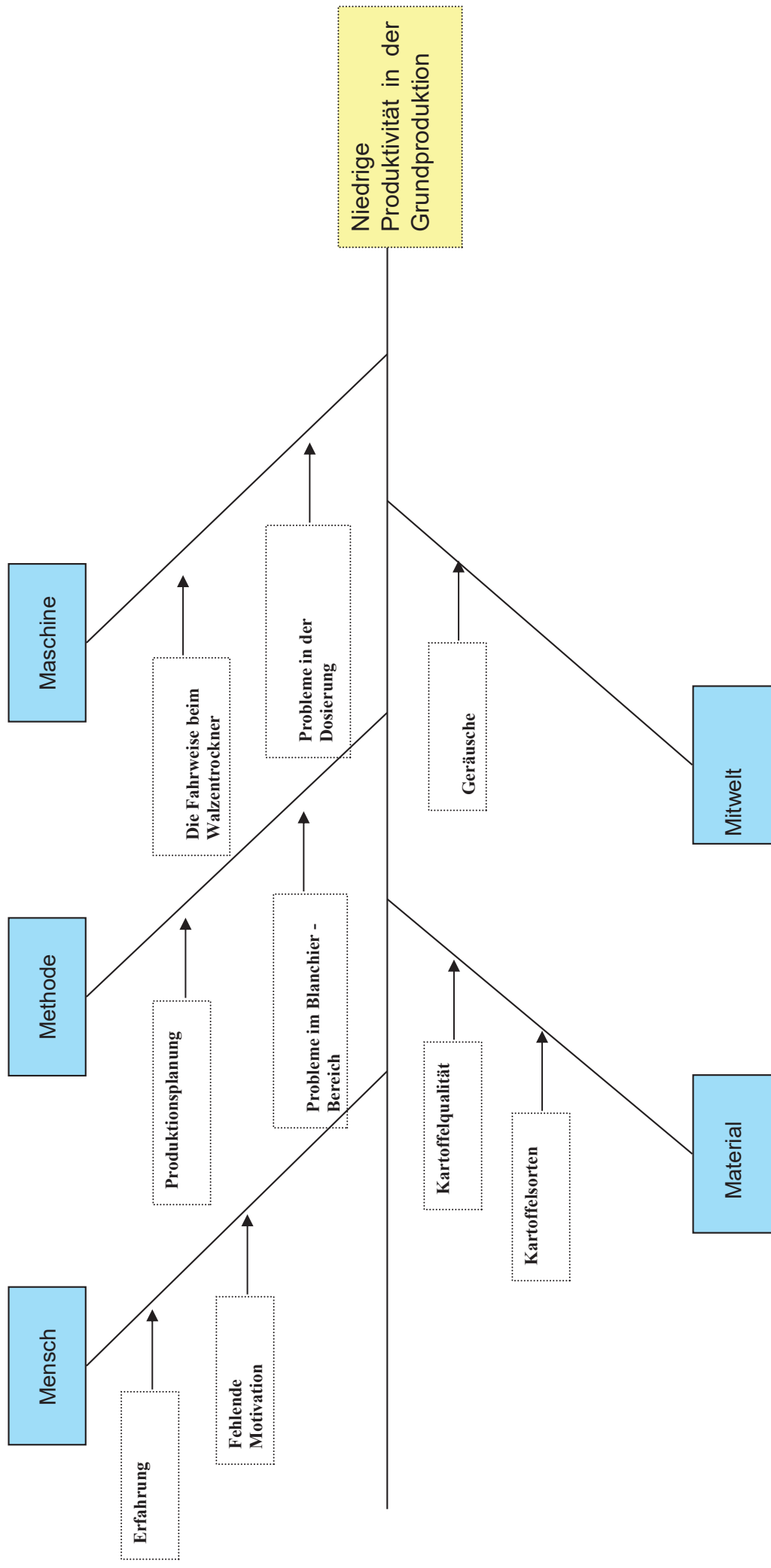
Unter Ausstattung werden die Ausstattungen der Anlagen in diesem Prozessschritt eingetragen.

Unter Anzahl der Mitarbeiter wird die Besetzung der Arbeitsplätze in jedem Bereich festgestellt, zusätzlich werden deren Tätigkeiten beschrieben.

3.1.3 Ishikawa-Diagramm

Das Herstellverfahren der Kartoffelflocken ist stark abhängig von den verschiedenen Parametern wie Rohstoffqualität, Prozessparameter, Arbeitskräfte, u.v.m. (und vieles mehr).

Da die Ursachenanalysemethode Ishikawa-Diagramm häufig in Verbindung mit der „5 Why“ Methode eingesetzt wird, werden die Einflüsse mit Hilfe der „5-Why“-Methode in das Diagramm eingetragen.



Folgend werden die grundsätzlichen Einflüsse von dem Ishikawa-Diagramm erläutert:

Unter „Mensch“-Störgröße spielt die Erfahrung von den Mitarbeitern eine große Rolle. Die Reaktionszeit und -Art von Mitarbeitern auf Systemänderungen bei der Kartoffelflockenherstellung ist sehr unterschiedlich. Je nach Erfahrung der Mitarbeiter wurden die verschiedenen Maßnahmen getroffen.

Unter „Material“-Störgröße spielen die Kartoffelqualität und die Kartoffelsorten eine entscheidende Rolle auf die produzierte Menge und auf die Qualität des Endprodukts. Für die im Werk „Pfanni“ hergestellten Kartoffelflocken, eignen sich als Rohstoff eher mehligkochende Kartoffelsorten, die einen Stärkegehalt von 16,5 und 17,5 aufweisen. Da die Qualität der Kartoffel sehr von der Witterung, der Bodenbeschaffenheit und der saisonalen Verfügbarkeit abhängig ist, ist es schwierig eine kontinuierliche Kartoffelqualität zu produzieren. Außerdem haben die auf einmal verarbeiteten Kartoffelsorten einen großen Einfluss auf die Qualität und die produzierten Mengen. Tatsächlich treten bei der Verarbeitung von unterschiedlichen Kartoffelsorten einige Schwierigkeiten bei der Herstellung von Kartoffelflocken auf, wie beispielsweise unterschiedliche Garzeiten.

Wichtig unter der „Maschinen“-Störgröße ist die Fahrweise der Walzentrockner. Das Verhältnis des Kartoffelbreis auf dem Walzentrockner und die Umstellparameter sind unterschiedlich interpretiert. Als Folge werden die Walzentrockner unterschiedlich gefahren, obwohl der Kartoffelbrei und die Wasserdampfversorgung gleich sind und obwohl, die Walzentrockner quasi gleich gebaut sind. Dies könnte auch verursacht worden sein, durch die Instabilität der Dosierpumpen. Die Dosierpumpen sorgen dafür, dass die gekochten Kartoffeln eine bestimmte Menge an Emulgatoren und anderen Zusatzstoffen bekommen. Da manche Dosierpumpen instabile Leistungen haben, bekommt der gekochte Kartoffelbrei unterschiedliche Dosiermengen, was das Verhalten des Kartoffelbreis auf den Walzentrocknern beeinflusst.

Unter „Methode“-Störgröße hat die Verteilung der Kartoffelscheiben in den Scheibenbehältern einen direkten Einfluss auf die Stillstände. Eine ungleichmäßige Verteilung der Kartoffelscheiben in den Scheibenbehältern stört die Versorgung des Kochers mit Kartoffelscheiben. Dies führt zu einem Mangel an Kartoffelbrei auf den

Walzen und verursacht Stillstände von mind. 25 Minuten und verlangsamt den Herstellungsprozess im Walzentrocknerbereich.

3.2 Phase 2 „Measure“

3.2.1 Erstellung der monatlichen Übersicht Tabellen

In diesem Abschnitt wurde die Diagnostik und die Messungen auf den Walzentrocknerbereich fokussiert. Grund dafür ist der Einsatz einer hohen Anzahl von Prozessparametern in diesem Schritt und die Komplexität derer Kombinationen. Manche Prozessparameter sind von der Produktionsperiode abhängig, besonders die Kartoffelsorten, die Kartoffelstärke, Anzahl der verarbeiteten Kartoffelsorten, während anderen Prozessparameter von Anlagen und deren Fahrweise abhängig sind.

In der folgenden Tabelle werden die Prozessparameter im Walzentrocknerbereich erläutert.

Tabelle 4: Erläuterung und Beschreibung der Prozessparameter im Walzentrocknerbereich

Prozessparameter	Beschreibung
Kartoffelsorten	Sind die verarbeiteten Kartoffelsorten bei der Herstellung von Kartoffelflocken. Die Anzahl ist sehr variabel und sehr abhängig von der Verfügbarkeit der Kartoffeln auf dem Markt. Die meist verwendeten Kartoffelsorten im Werk „Pfanni“ sind : Horizon, Rumba, Karlana, Fasane, Agria, Opal, Fontane, Eldena.
Kartoffelstärke	Wurde durch die Kartoffelwirtschaftsabteilung alle zwei Stunden gemessen.
Restfeuchte	Ist die Restfeuchte der Kartoffelflocken, nach dem Trocknungsprozess. Die Werte werden durch ein Nahinfrarot-Spektrometer während der Produktion bestimmt.

Konsistenz	Die Konsistenz des Kartoffelpürees wurde mittels eines Bostwick-Konsistometers im Qualitätslabor gemessen.
Dosierschnecke Drehzahl [U/s]	Die Dosierschnecke steuert die Mengen an Kartoffeln, die im Kocher gekocht werden. Mit einer höheren Drehzahl werden mehr Kartoffeln im Kocher aufgefahren.
Walzentrockner Drehzahl [U/s]	Ist ein signifikanter Parameter im Trocknungsprozess. Mit einer hohen Drehzahl gelangt der Kartoffelmuß in weniger Zeit auf die Walzen und umgekehrt. Wichtig zu wissen ist, dass dieser Parameter stark mit der Restfeuchte der Kartoffelflocken verbunden ist. Wenn die Restfeuchte steigt muss die Drehzahl manuell gesenkt werden und umgekehrt.
Die Banddichte [g/5dm ²]	Ist die Messung der Banddichte des produzierten Kartoffelfilms. Dafür werden bei jedem Walzentrockner fünf Kartoffelfilme mit einer Fläche von 5 dm ² gewogen.
Wasser Zugabe pro Stunde [L]	Ist die zugegebene Wassermenge im Kartoffelmuß nach dem Kochen pro Stunde
Leistung pro Stunde [Kg]	Ist die Stundenleistung der Walzentrockner in Kg. Die Messungen erfolgen im Produktstrom durch die Prallplattenwaagen.
Gerechnete Leistung pro Stunde [Kg]	Ist eine gerechnete Leistung pro Stunde der Walzentrockner durch eine entwickelte Rechenformel. Anhand der Messungen der Banddichte des Kartoffelfilms und der Drehzahl der Walzentrockner wurden die Leistungen berechnet.
Produkt	Sind die produzierten Produkte laut Produktionsplan. Häufig werden Abkürzungen verwendet wie z.B : MPB, CPC, Helles, Argentinien, Ungarn, EM,Discount, MM, Italien...

Anhand der Tabellen werden monatliche Übersichten erstellt. Die monatlichen Übersichtstabellen werden mit der Mittelwertberechnung, den Varianzen und den Standardabweichungen vervollständigt.

Erfassung der Prozessparameter März

Tabelle 5: Erfassung der Prozessparameter auf der Produktionslinie 1

Linie 1																	
Produkt	Anzahl der Produktion Stunden	Wasser Zugabe [L]	Wasserzugabe pro Std [L]					Leistung pro Std [Kg]					Kartoffel Stärke				
			Min	Max	Mittelwert	Varianz	St.Abw	Min	Max	Mittelwert	Varianz	St.Abw	Min	Max	Mittelwert	Varianz	St.Abw
MPB	228	98900	50	170	108,5	372,7	19,2	1100	2250	1635,2	18758,4	136,6	15,1	19,9	17,1	0,3	0,5
Arg	209	47080	0	120	57,1	962,9	31,0	900	1850	1679,1	21260,0	145,8					
Italien	134	25800	0	120	48,3	837,4	28,9	450	1900	1648,8	24904,0	157,8					
MM	48	14600	0	100	74,4	254,0	15,9	1200	1850	1691,6	13971,0	118,2					
Hu	33	10800	50	120	81,8	584,0	24,1	1600	1900	1686,3	6292,6	79,32					
Gelb	24	3650	0	50	35,6	334,0	18,2	900	1900	1684,0	36816,6	191,8					
Hell	15	2280	0	50	38,0	317,1	17,2	1600	1850	1706,6	7809,5	88,3					
Disc	11	1320	0	50	30,0	300,0	17,3	1250	1750	1631,8	19136,3	138,3					
CPC	11	3040	50	100	69,0	529,0	23,0	1650	1800	1772,7	2681,8	51,7					
Summe	713	207470															

Tabelle 6: Erfassung der Prozessparameter auf der Produktionslinie 2

Linie 2																	
Produkt	Anzahl der Produktion Stunden	Wasser Zugabe [L]	Wasserezugabe pro Std [L]					Leistung pro Std [Kg]					Kartoffel Stärke				
			Min	Max	Mittelwert	Varianz	St.Abw	Min	Max	Mittelwert	Varianz	St.Abw	Min	Max	Mittelwert	Varianz	St.Abw
MPB	215	104800	0	180	121,8	938,3	30,6	600	1850	1647,6	22774,9	150,9	15,1	19,9	17,1	0,3	0,5
Arg	170	52660	0	120	77,4	461,9	21,4	550	1950	1768,8	17927,0	133,8					
Italien	102	27580	0	120	64,6	803,6	28,3	1200	1900	1700,9	10246,0	101,2					
MM	7	2800	100	100	100,0	0,0	0,0	1400	1700	1600,0	12500,0	111,8					
Hu	19	6360	50	100	83,6	313,4	17,7	1550	1900	1781,5	8114,3	90,07					
Gelb	102	1920	0	120	73,0	563,4	23,7	1000	2000	1718,3	13586,1	116,5					
Hell	7	1920	80	80	80,0	0,0	0,0	1750	1850	1821,4	1547,6	39,3					
Disc	51	13660	0	100	66,9	489,0	22,3	1150	1900	1657,8	16337,2	127,8					
CPC	11	4400	50	120	100,0	660,0	25,6	1700	1900	1818,1	2636,3	51,3					
EM	21	2260	0	80	26,9	918,6	30,3	1500	1800	1642,5	7440,7	86,2					
Summe	705	218360															

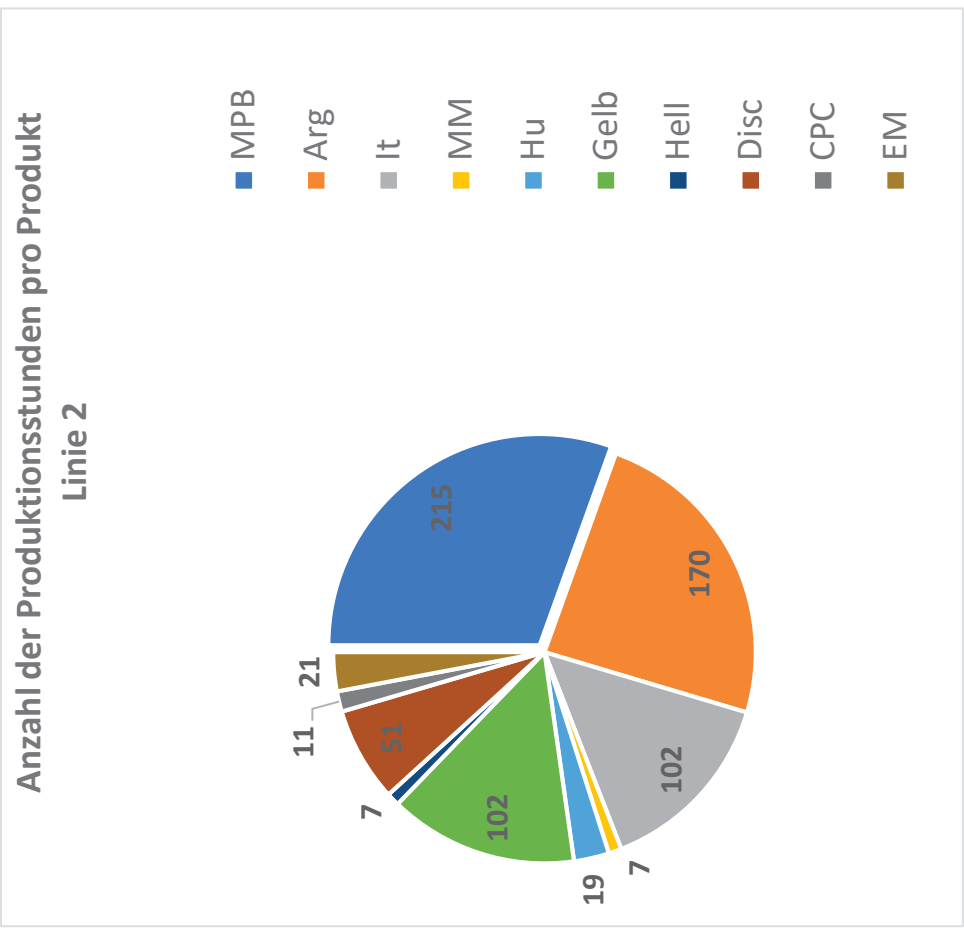
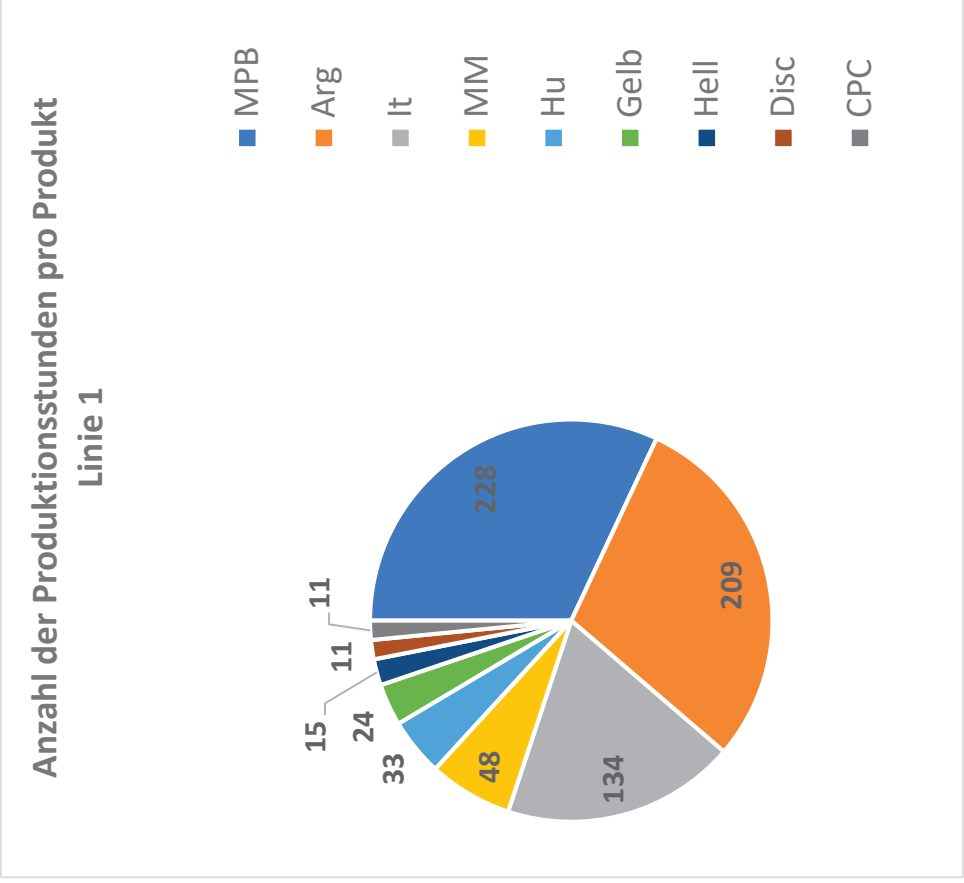
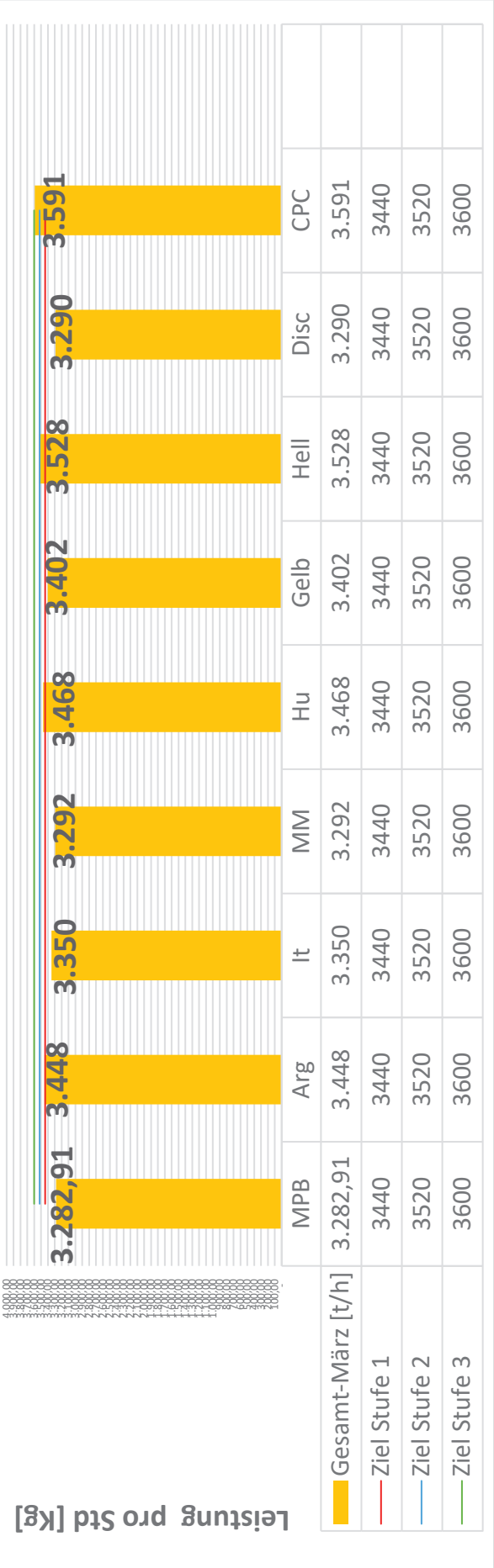


Abbildung 16 und 17: Grafische Darstellung der Anzahl an Produktionsstunden pro Produkt auf den Linien 1 und 2

Tabelle 7: Vergleich der Produktivität zwischen Linie 1 und Linie 2

	Anzahl der Produktion Stunden [Std]	Summe der WZ [L]	Produktion [Kg]	Anzahl der Produzierten Produkten	Anzahl der Umstellungen	Sperware [Kg]	Prozent Anteil vom gesamt Produktion	Anzahl Verarbeitete Kartoffelsorten	Verarbeitete Kartoffelsorten pro Tag				
									Min	Max	Mittelwert	Varianz	St.Abw
Linie 1	713	207470	1180850	9	26	38550	3,26%	7	2	7	3,6	1,3	1,1
Linie 2	705	218360	1200950	10	31	54600	4,54%						

Übersicht März [t/Std]



3.2.2 Untersuchung der Zusammenhänge zwischen den Prozessparametern

Um die Zusammenhänge zwischen den Prozessparametern im Walzentrocknerbereich tiefer zu analysieren und zu erläutern, werden die Prozessparameter bei den Produktionslinien 1 und 2 während der zwei Wochen im Mai erfasst. Dafür werden innerhalb von diesem Zeitraum die Produktionsdaten täglich für acht Stunden verfolgt. Die Anlagenfahrer der Linie 1 und Linie 2 wurden acht Stunden täglich begleitet. Die Banddichten der Linien 1 und 2 wurden stündlich gemessen, insgesamt acht Messungen pro Stunde. Die Daten werden anschließend in Tabellen dargestellt (Tabelle.7).

Um das Verhältnis und die Entwicklung der Prozessparameter im Zeitverlauf zu analysieren und zu erläutern, werden die Daten in einem Diagramm erfasst (Abbildung.15).

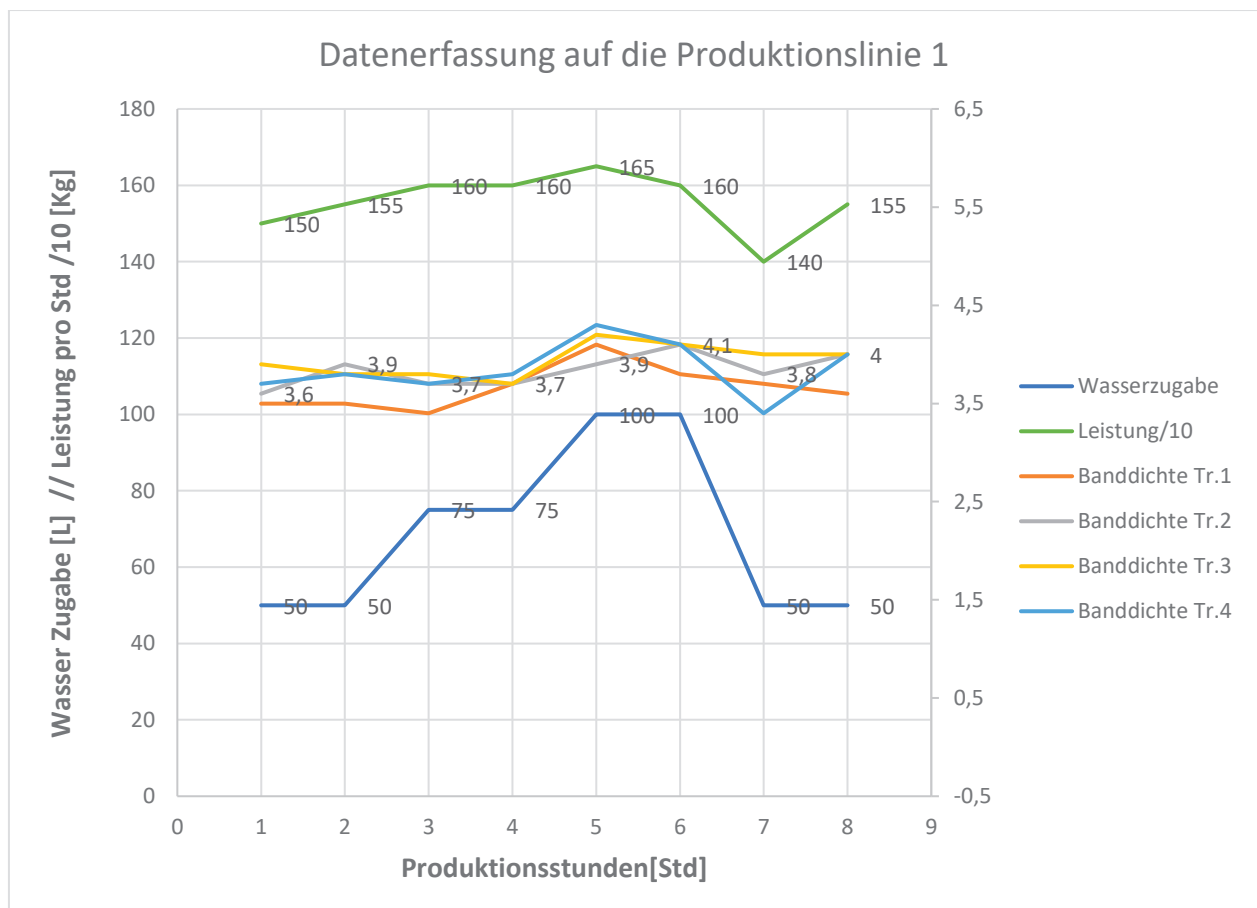


Abbildung.18: Daten Erfassung von der Prozess Parameter auf die Produktionslinie.1

Tabelle 8: Datenerfassung der Prozessparameter auf der Produktionslinie 1

Linie 1												
		Dosierschneke gesch [U/Sek]	Feuchte	Drehzahl [U/Sek]	Banddichte [g/dm²]	Wasser Zugabe [L]	Leistung pro Std [kg]	Gerechnete Leistung pro Std [kg]	Kartoffelsorten	Stärke	Produkt	Bemerkungen
06:00-07:00	Trockner 1	11	7-7,4	16,1	3,5	50	1500	376,1		16,3		
	Trockner 2	9,9		16,4	3,6	50		379,8				
	Trockner 3	10,5		15,9	3,9	100		424,4				
	Trockner 4	9,5		15,8	3,7	50		405,2				
07:00-08:00	Trockner 1	10,5	7-7,4	15,5	3,5	50	1550	390,7				
	Trockner 2	9,4		15,3	3,9	50		441,0				
	Trockner 3	10,5		15,5	3,8	100		424,2				
	Trockner 4	9,1		15,5	3,6	50		401,9				
08:00-09:00	Trockner 1	10,5	7,2-7,6	15,5	3,4	75	1600	379,5		16,1		
	Trockner 2	9,4		15,3	3,7	100		418,4				
	Trockner 3	10,5		15,5	3,8	100		424,2				
	Trockner 4	9,1		15,5	3,7	75		413,0				
09:00-10:00	Trockner 1	10,5	7-7,3	15,5	3,7	75	1600	413,0			MPB	
	Trockner 2	9,4		15,3	3,7	75		418,4				
	Trockner 3	10,5		15,5	3,7	100		413,0				
	Trockner 4	9,1		15,5	3,8	100		424,2				
10:00-11:00	Trockner 1	10,5	7,2-7,6	17,1	4,1	100	1650	414,8				
	Trockner 2	9,4		17	3,9	100		396,9				
	Trockner 3	10,5		16,9	4,2	100		430,0				
	Trockner 4	9,1		16,9	4,33	100		443,3				
11:00-12:00	Trockner 1	10,5	7-7,5	17,4	3,8	100	1600	377,9		16,2		
	Trockner 2	9,4		17,8	4,1	100		398,5				
	Trockner 3	10,5		18,3	4,1	100		387,6				
	Trockner 4	9,1		17,5	4,1	100		405,4				
12:00-13:00	Trockner 1	10,5	7-7,2	16	3,7	50	1400	400,1				
	Trockner 2	9,4		15,9	3,8	50		413,5				
	Trockner 3	10,5		16,4	4	50		422,0				
	Trockner 4	9,1		16,2	3,4	50		363,1				
13:00-14:00	Trockner 1	10,5	7-7,3	16	3,6	50	1550	389,3		15,9		
	Trockner 2	9,4		16	4	50		432,6				
	Trockner 3	10,5		16,3	4	50		424,6				
	Trockner 4	9,1		16,2	4	50		427,2				

17.05.2018

3.2.3 Value Stream Mapping

Die Wertstromanalyse unterteilt sich in dieser Studie in die:

- Auswahl einer repräsentativen Produktfamilie
- Prozessanalyse
- Erfassung und grafische Darstellung des Ist-Zustandes

Die Wertstromanalyse basiert auf einer Kundenanfrage, in Höhe von 10t Fertigprodukt.

Auswahl einer repräsentativen Produktfamilie

Die Wertstromanalyse beschäftigt sich in dieser Studie mit der Herstellung der Kartoffelflocken. Diese Produktfamilie umfasst zahlreiche Produkte, die mit ähnlichen Prozessschritten hergestellt werden. In diesem Fall basiert die Wertstromanalyse auf einer Kundenanfrage in Höhe von 10t Fertigprodukt.

Prozessanalyse

Dieser Schritt umfasst eine gründliche Analyse vom Versand zum Wareneingang (flussabwärts) sowie das Sammeln von Daten und Zeiten. Dafür werden Befragungen und Zeitmessungen der Zykluszeiten vom Erhalt des Kundenauftrages bis zur Lieferung an den Kunden durchgeführt.

Für die Herstellung von 10 Tonnen Fertigprodukt werden 50 Tonnen Kartoffeln benötigt. Die Kartoffeln müssen durch die Kartoffelwirtschaftsabteilung mindestens vier Tage vorher bestellt worden sein. Erst nach der Warenannahme erfolgt eine Qualitätskontrolle der Kartoffeln, anschließend werden sie in den Bunkern (Lagern) eingelagert. Die benötigte Zeit für die Qualitätskontrolle und die Entleerung der LKW beträgt insgesamt ca. 74 bis 104 Minuten.

Bei der Kartoffelverarbeitung sind einige Zykluszeiten bekannt und werden manuell durch die Anlagenfahrer eingegeben, während die Anderen durch die Produktionsprotokolle ermittelt werden wie z.B.:

Der Blanchierzeit: 25 Minuten außer bei dem Produkt CPC: 15 Minuten

Der Abkühlzeit: 25 Minuten

Der Kochzeit: 25 Minuten außer bei dem Produkt CPC: 23 Minuten

Der Mischzeit: Zwischen 34 und 600 Min/ 10t je nach Anlage

Der Abfullzeit: Zwischen 3,3 und 84 Stunden/ 10t je nach Anlage und Verpackungsgewichte

Die Anderen Zykluszeiten werden wie folgt ermittelt.

Ermittlung der Zykluszeiten im Schälbereich:

Ermittlung der Vorwaschzeit:

Erstmal wurde der Dampfschäler ausgeschalten und der Vorsatzbehälter entleert. Dann wurde mittels einer Stoppuhr die Waschzeit der Kartoffeln gemessen bis der Vorsatzbehälter voll war. Der Vorsatzbehälter hat eine Kapazität von 10 Tonnen.

Der Vorwaschzeit von 10 Tonnen Kartoffeln beträgt 23 Minuten.

Die vorgewaschenen Kartoffeln werden mittels einer Schrägschnecke zu dem Dampfschäler geführt.

Der Dampfschäler kann nur 550 kg Kartoffeln bearbeiten. Deswegen wurde das System mit einer Waage (Bruttowaage) ausgestattet, welche automatisch die Schrägschnecke ausschaltet, sobald 550 kg Kartoffeln vorhanden sind.

Ermittlung der Schälzeit:

Der Schälzeit ist stark abhängig von der Kartoffelqualität, der Schalendicke und der Augentiefe. Diese Parameter sind für den Anlagefahrer entscheidend für die Eingabe der Prozessparameter beim Dampfschäler. Beispielsweise bei Kartoffeln mit einer dicken Schale kann die Dampfzeit erhöht oder der Wasserdampfdruck erhöht werden. Unter den normalen Arbeitsbedingungen beträgt der Schälzykluszeit: 1,2 Minuten

Ermittlung der Produktivität im Blanchier-Bereich:

Im Blanchier-Bereich werden die Kartoffelscheiben blanchiert und abgekühlt. Die Messung der Produktivität dieses Bereichs ermöglicht uns die Ermittlung der benötigten Zeit, um 50 Tonnen Kartoffeln zu bearbeiten. Dafür werden die Kartoffelflüsse (Blanchiert und Abgekühlt), beim Auslass vom Kühler, in einem Eimer gesammelt und die Zeiten zwischen dem Kartoffelfluss gemessen. Die Daten sind wie folgt in die Tabellen erfasst

Tabelle 9: Messungen der Gewichte der Kartoffelflüsse im Blanchier-Bereich

Messungen	Kartoffelfluss Gewicht [kg/15 Sek]	Min [kg]	Max [kg]	Mittelwert [kg]	St. Abw	Varianz
Messung 1	19,5	19,50	27,50	22,57	2,66	7,61
Messung 2	20					
Messung 3	27,5					
Messung 4	20,5					
Messung 5	20					
Messung 6	22					
Messung 7	20					
Messung 8	21					
Messung 9	24					
Messung 10	27					
Messung 11	21,5					
Messung 12	26					
Messung 13	22,5					
Messung 14	24,5					

Tabelle 10: Messungen der Zeitintervalle zwischen den Kartoffelflüssen im Blanchier-Bereich

Messungen	Zeit Intervall [Sek]	Min [Sek]	Max [Sek]	Mittelwert [Sek]	St. Abw	Varianz
Messung 1	14,99	12,13	18,72	15,16	1,38	1,95
Messung 2	15,11					
Messung 3	13,5					
Messung 4	14,32					
Messung 5	17,83					
Messung 6	15,85					
Messung 7	14,48					
Messung 8	15,19					
Messung 9	12,13					
Messung 10	15,19					
Messung 11	15,8					
Messung 12	15,9					
Messung 13	14,17					
Messung 14	15,74					
Messung 15	16,09					
Messung 16	15,4					
Messung 17	12,9					
Messung 18	16,6					
Messung 19	15,1					
Messung 20	16,2					
Messung 21	18,72					
Messung 22	14,21					
Messung 23	16,98					
Messung 24	14,19					
Messung 25	15,49					
Messung 26	15,02					
Messung 27	15,29					
Messung 28	15,44					

Messungen	Zeit Intervall [Sek]	Min [Sek]	Max [Sek]	Mittelwert [Sek]	St. Abw	Varianz
Messung 29	12,36					
Messung 30	16,65					
Messung 31	14,84					
Messung 32	15,21					
Messung 33	14,56					
Messung 34	12,53					
Messung 35	13,92					
Messung 36	15,38					
Messung 37	16,39					
Messung 38	16,36					

Anhand der Messungen im Blanchier-Bereich beträgt die Produktivität: 21,5 t/Std

Ermittlung der Trocknungszeit:

Die Trocknungszeit ist die benötigte Zeit, um das Kartoffelmus auf den Walzentrocknern zu trocknen. Basierend auf den Produktionsprotokollen, die an beiden Linien geführt werden, wird die Stundenleistung (1500-1800 kg/h) erfasst. Das bedeutet, um 10 Tonnen Kartoffelflocken herzustellen werden zwischen 333 und 400 Minuten pro Linie benötigt. Beide Produktionslinien werden parallel eingesetzt, weshalb die tatsächliche Herstellzeit von 10 Tonnen Kartoffelflocken zwischen 166,5 und 200 Minuten beträgt.

Ermittlung der Vermahlungszeit:

Der Vermahlungszeit ist die benötigte Zeit, um die Kartoffelflocken nach Kundenspezifikationen zu vermahlen. Hier werden verschiedene Mühlen verwendet, wie die Hammermühle und die Comitrolmühle. Je nach gewünschtem Schuttgewicht

werden die Mühlen eingesetzt. Für feinere Partikelgrößen wird im Anschluss an den Mahlvorgang das Produkt über ein Taumelsieb gefahren.

Um die Vermahlungszeiten zu ermitteln, werden die Zeiten der verschiedenen Vermahlungsarten bei den verschiedenen unterschiedlichen Produkten gemessen. Hierbei wird die stündliche Produktion in Silos zwischengelagert und anschließend vermahlt. Dabei werden zur Ermittlung die Zeiten gemessen.

In nachfolgender Tabelle sind diese Daten erfasst.

Tabelle 11: Messungen der Vermahlungszeiten von Kartoffelflocken

	Produkt	Vermahlungsart	Zeit [Min]	Min [Min]	Max [Min]	Mittelwert [Min]	St. Abw	Varianz
Messung 1	MPB	CM	29,53	29,53	41,60	33,32	2,69	7,24
Messung 2	MPB	CM	31,2					
Messung 3	MPB	CM	31,05					
Messung 4	MPB	CM	30,4					
Messung 5	MM	HM	32,4					
Messung 6	MM	HM	31,1					
Messung 7	MM	HM	35					
Messung 8	MM	HM	34,2					
Messung 9	MM	HM	33,1					
Messung 10	MM	HM	32,6					
Messung 11	MM	HM	31,2					
Messung 12	MM	HM	35					
Messung 13	Arg	TS+HM	35,2					
Messung 14	Arg	TS+HM	41,6					
Messung 15	Arg	TS+HM	35,8					
Messung 16	Arg	TS+HM	34					
Messung 17	Arg	TS+HM	33					
Messung 18	Arg	TS+HM	34,3					
Messung 19	Arg	TS+HM	32,4					

Legende:

CM: Comitrolmühle, HM: Hammermühle, TS+HM: Taumelsieb plus Hammermühle

Ermittlung der Ausschussrate im Schälbereich:

Im Schälbereich werden aus der Vorwäsche entfernte Steine gesammelt und gewogen. Im Monat Mai beträgt die Menge der entfernten Steine durchschnittlich 5,21% der gesamten verarbeiteten Kartoffelmenge.

Beim Dampfschälen verlieren die Kartoffeln ihre Schale. Diese Verluste werden durch zwei Waagen gemessen. Eine Waage wiegt die Kartoffeln vor dem Dampfschälprozess (Brutto Waage) und die andere wiegt die geschälten, gewaschenen und aussortierten Kartoffeln (Netto Waage). Diese Daten werden täglich in den Produktionsprotokollen erfasst.

Diese Schälverluste betragen zwischen 7,03% und 17,4% der täglich verarbeiteten Kartoffeln. Die Schälverluste beinhalten ebenfalls die aussortierten Kartoffeln am Verleseband (beschädigte / grüne Kartoffeln).

Ermittlung der Ausschussrate im Walzentrocknerbereich:

Beim Trocknen des Kartoffelmuses wird das Wasser verdampft. Ein Teil wird als Kartoffelfilm umgewandelt und der andere Teil gelangt auf die Abfallschnecken. Dieser Abfall wird gesammelt und durch die Förderschnecken in das Futterhaus gefördert. Die Abfälle werden als Tierfutter verwendet. Die Mengen werden täglich gewogen und in den Produktionsprotokollen erfasst. In der folgenden Tabelle sind die Daten dargestellt

Tabelle 12: Datenerfassung der täglichen Abfallmengen im Walzentrocknerbereich

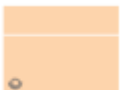
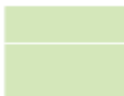
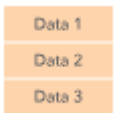
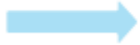
Datum	Verarbeitete Kartoffelmenge netto [Kg]	Kartoffelflocken Produzierte Menge [Kg]	Abfall [Kg]	Abfall %	Min	Max	Mittelwert	St.Abw	Varianz
30.04.2018	364000	83300	16732	4,60	3,38	9,05	5,18	1,13	1,27
01.05.2018	376000	79450	18195	4,84					
02.05.2018	363000	78150	13118	3,61					
03.05.2018	365000	83100	22874	6,27					
04.05.2018	354000	79250	17164	4,85					
05.05.2018	366000	82000	17669	4,83					
06.05.2018	241000	72950	21800	9,05					
07.05.2018	176000	27900	5950	3,38					
08.05.2018	361000	82900	15534	4,30					
09.05.2018	363000	81750	18888	5,20					
10.05.2018	361000	82950	15080	4,18					
11.05.2018	334000	78200	16700	5,00					
12.05.2018	222000	25800	14853	6,69					
13.05.2018	359000	78600	14188	3,95					
14.05.2018	362000	80700	18370	5,07					
15.05.2018	361000	78400	19665	5,45					
16.05.2018	353000	78850	16598	4,70					
17.05.2018	361000	78550	15071	4,17					
18.05.2018	281000	62100	16761	5,96					
19.05.2018	370000	79550	15907	4,30					
20.05.2018	311000	67800	17700	5,69					
21.05.2018	311000	63900	20762	6,68					
22.05.2018	360000	76400	15293	4,25					
23.05.2018	360000	80100	19257	5,35					
24.05.2018	354000	73700	18417	5,20					
25.05.2018	362000	74000	18983	5,24					
26.05.2018	359000	72450	19402	5,40					
27.05.2018	314000	71950	20566	6,55					
28.05.2018	179000	27850	7882	4,40					
29.05.2018	319000	70400	20116	6,31					

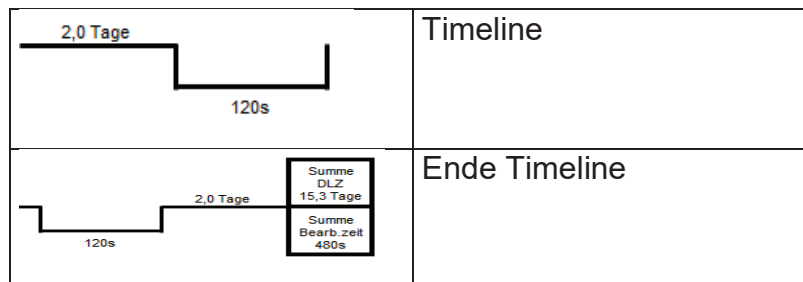
Erfassung und grafische Darstellung des Ist-Zustandes:

In dieser Phase werden die gesammelten Daten der gemessenen Zykluszeiten und der Ausschussrate in das Schema eingetragen. Darauf basierend wird die Wertstromanalyse dargestellt.

In der folgenden Tabelle werden die verwendeten Symbole der Wertstromanalyse erläutert.

Tabelle 13 : Value Stream Mapping Symbole

Symbol	Name
	Kunde/Lieferant
	Dedizierter Prozessstrom
	Produktionssteuerung
	Datenbox
	Externe Lieferung
	Lieferungen
	Push-Pfeil
	Manuelle Information
	Elektronische Information
	Operator



3.2.4 Vorversuch laut der Der „Plan, Do, Check, Act“ Ansatz

In dieser Phase wird in dem Walzentrockner-Bereich untersucht, ob die Walzentrockner mit dem verfügbaren Wasserdampfdruck ihre optimalen Leistungen bereitstellen können. Dafür wird ein Plan entwickelt und Messungen getätigt, um die Hypothese zu beweisen.

Phase 1: Plan

Ziel:

Prüfen ob die Walzentrockner 1 bis 8 mit der verfügbaren Menge Dampf ihre optimalen Leistungen bereitstellen können. Da die Linie 2 in der ersten Produktionsstunde nicht eingesetzt war, fand kein Wärmeaustausch zwischen dieser Walze und dem Produkt auf der Linie 2 statt. Das bedeutet in der ersten Produktionsstunde wurde auf der Linie 2 weniger Wasserdampfdruck verbraucht. Als die Linie 2 zum Einsatz kam, hat sich der Wasserdampfverbrauch erhöht. Dabei wurde geprüft, ob diese Veränderung der Leistung einen Einfluss auf die Leistung der Linie 1 hat.

Phase 2: Do

Versuchsbeschreibung:

In der ersten Produktionsstunde nach der Reinigung, wurde das Produkt EM auf der Linie 1 produziert. Die Banddichte und die Prozessparameter Dampfdruck, Wasserzugabe, Restfeuchte, Drehzahl für die Linie 1 wurden ermittelt. In der Zweiten Produktionsstunde kommt die Linie 2 zum Einsatz. Die Banddichte für die beiden Linien wurde ermittelt und die Prozessparameter in den Tabellen dargestellt. Da die

Linie 2 in der ersten Produktionsstunde nicht eingesetzt wurde, hat es kein Wärmeaustausch zwischen der Walze und dem Produkt auf die Linie 2 geben. Das bedeutet, in der ersten Produktionsstunde wurde auf der Linie 2 weniger Dampfdruck verbraucht. Als die Linie 2 zum Einsatz kam, hatte sich der Dampfverbrauch erhöht. Dabei wurde geprüft, ob diese Veränderung ein Einfluss auf die Leistung von der Linie 1 hat.

Versuchsparameter:

Kartoffelsorte: Privilege, Eldena, Rumba, Agria, Royal, Karlena

Stärke: 16,4

Produzierte Produkte:

Linie1: EM

Linie2: Italien

Versuch Ablauf:

- 16: Schäler Vorheizen (der Schälzeit wurde auf 24 Sek erhöht werden wegen ein Problem von Entsorgung von Dampfdruck der Zwischen 11,2 bar und 11,8 bar während des Versuchs lag)
- 16:15 Beginn der Kartoffelverarbeitung, erster Zyklus
- 18:15 Beginn der Produktion Linie 1
- 18:25 Ermittlung der Banddichte Linie 1
- 19:10 Ermittlung der Banddichte Line 1
- 19:15 Beginn der Produktion Linie 2
- 19:30 Ermittlung der Banddichte Linie 1 und 2
- 19:50 Uhr Ermittlung der Banddichte Linie 1 und 2
- 20:10 Uhr Ermittlung der Banddichte Linie 1 und 2
- 20:30 Ermittlung der Banddichte Linie 1 und Linie 2

Die anderen Prozessparameter, wie Drehzahl, Restfeuchte, Wasserzugabe und Dampfdruck werden wie folgte in die Tabellen dargestellt.

Phase 3: Check

In dieser Phase sind die geplanten Messungen erfolgt. Die Daten sind in nachfolgenden Tabellen erfasst.

Erfassung der Prozessparameter Produktionslinie 1, während des Vorversuchs:

Tabelle 14: Wasserdampfdruck der Linie 1 im Lauf des Versuchs

	W.Trockner 1		W.Trockner 2		W.Trockner 3		W.Trockner 4	
	Dampfdruck		Dampfdruck		Dampfdruck		Dampfdruck	
	[bar]		[bar]		[bar]		[bar]	
t=0 min	8,5	8,8	8,0	8,7	8,5	8,7	8,4	8,5
t=30 min	8,0	8,0	7,7	8,4	8,1	8,3	8,3	8,3
t=60 min	7,7	8,0	8,3	7,7	8,2	8,4	8,1	8,3
t=90 min	7,5	7,7	7,5	8,0	8,0	8,0	7,8	8,0
t=120 min	7,5	7,8	7,4	8,0	8,0	8,2	8,0	8,0

Tabelle 15: Datenerfassung der Prozessparameter der Linie 1 während des Versuchs

	Drehzahl [Sek/U]				Restfeuchte		Wasser Zugabe [L]			
	WT1	WT2	WT3	WT4	WT1, WT2	WT3, WT4	WT1	WT2	WT3	WT4
t=60 min	14,1	13,9	14,2	14,2	6,9- 7,1	6,9- 7,1	50	50	50	50
t=120 min	14,1	13,9	14,1	14,1	6,9- 7,1	6,9-7,1	50	50	50	50

Erfassung der Prozessparameter Produktionslinie 2, während des Vorversuchs:

Tabelle 16: Wasserdampf Druck der Linie 2 während des Versuchs

	W.Trockner 5 Dampfdruck [bar]		W.Trockner 6 Dampfdruck [bar]		W.Trockner 7 Dampfdruck [bar]		W.Trockner 8 Dampfdruck [bar]	
t=0 min	8,5	8,5	8,7	8,7	8,6	8,7	8,0	8,6
t=30 min	8,0	8,1	7,5	7,3	8,2	8,3	8,3	8,0
t=60 min	7,7	8,0	8,3	7,7	8,2	8,4	8,1	8,3

Tabelle 17: Datenerfassung der Prozessparameter der Linie 2 während des Versuchs

	Drehzahl [Sek/U]				Restfeuchte		Wasser Zugabe [L]			
	WT5	WT6	WT7	WT8	WT5, WT6	WT7, WT8	WT1	WT2	WT3	WT4
t=60 min	19,4	19,2	19,2	19,1	5,8- 6,4	5,8- 6,4	0	0	0	0
t=120 min	17,9	17,9	18,4	18	5,8- 6,4	5,8- 6,4	0	0	0	50

Tabelle 18: Datenerfassung der Stundenleistungen Produktionslinien 1 und 2:

	Leistung pro Std [Kg]			Berechnete Leistung pro Std [Kg]		
	18:00-19:00	19:00-20:00	20:00-21:00	18:00-19:00	19:00-20:00	20:00-21:00
Linie 1	1000	1650	1700	1127*	1691	1697
Linie2	-	1000	1400	-	1090*	1635

Datenerfassung zur Banddichte Produktionslinien 1 und 2:

Tabelle 19: Datenerfassung zur Messung der Banddichte Linie 1 und 2 während der Zeit

	Banddichte [g/5dm²]							
Uhrzeit	WT1	WT2	WT3	WT4				
18:25	3,3	3,9	3,6	3,6				
18:50	3,2	3,4	3,4	3,6	Banddichte [g/5dm²]			
19:10	3,9	3,3	3,8	3,5	WT5	WT6	WT7	WT8
19:30	3,8	3,2	3,4	3,4	4,2	4,4	4,4	4,4
19:50	3,3	3,4	3,5	3,3	4,2	4,4	4,4	4,6
20:10	3,3	3,5	3,3	3,4	4,1	4,2	4,1	4,2
20:30	3,2	3,4	3,4	3,3	4,1	4,3	4,2	4,3

Phase 4: Act

Die Ergebnisse dieser Phase wurden im Kapitel 5. Ergebnisse unter „Ergebnisbeurteilung“ des Vorversuchs anhand des „PDCA“ Ansatzes beurteilt.

3.3 Phase 3 „Analyse“

In diesem Teil der Arbeit sind die Ergebnisse der Beziehungen zwischen den erhobenen Untersuchungsbefunden auf vorhandene Abhängigkeiten untersucht, sofern die Zusammenhänge grundsätzlich einen Sinn ergeben.

3.3.1 Korrelationsanalyse zwischen den Prozessparametern

Anhand der durchgeführten Messungen und Datenerfassungen der Prozessparameter auf den Produktionslinien 1 und 2 im Walzentrocknerbereich im Monat Mai werden Korrelationsanalysen zwischen den Prozessparametern ermittelt.

Die Zusammenhänge zwischen den Prozessparametern werden danach in Diagrammen dargestellt.

Im folgenden Diagramm wird ein Beispiel genannt. Der Rest wird im Anhang eingefügt.

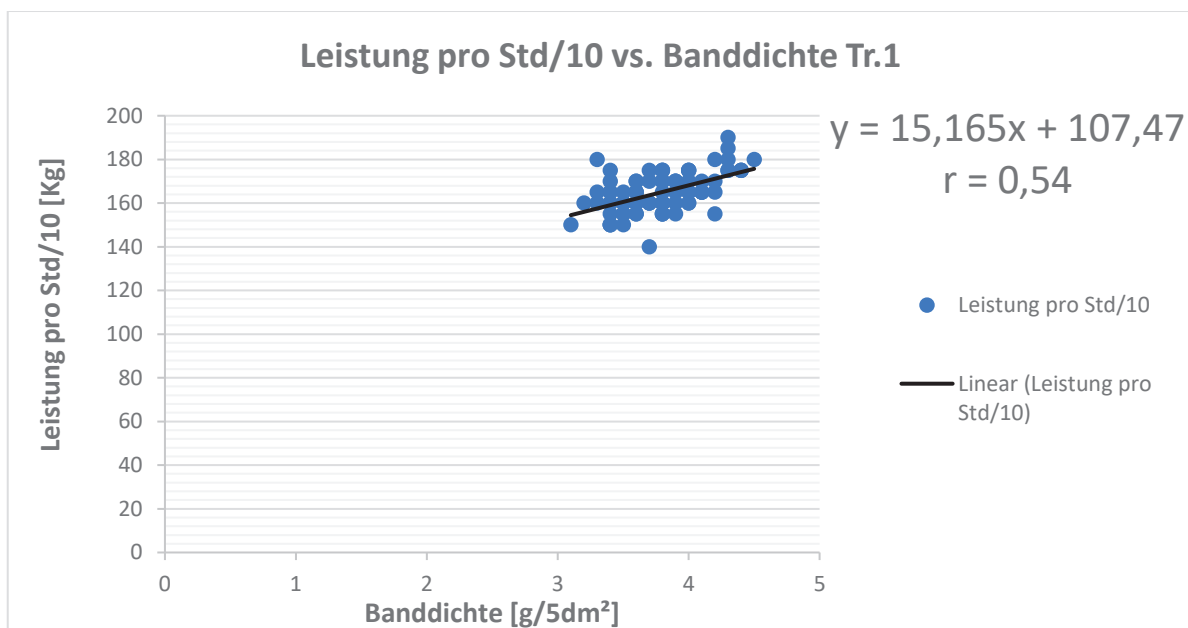


Abbildung 19: Zusammenhang zwischen der Leistung pro Stunde und der Banddichte auf der Linie1, Walzentrockner1

3.4 Phase 4 „Improve“

In diesem Teil wird unter Berücksichtigung der bewiesenen Zusammenhänge zwischen den Prozessparametern in der Phase.3 „Analyse“, ein Plan entwickelt, um die Lücken in unserem System zu vermeiden und die Produktivität der Produktionslinie1 und 2 zu verbessern.

3.4.1 Hauptversuch Planung

Ziel:

Feststellung der optimalen Fahrweise beim Walzentrockner, um die Produktivität zu stabilisieren.

Versuchsbeschreibung:

Anhand der Ergebnisse aus der Diagnostik der Prozessparameter im Walzentrocknerbereich in den Monaten März, April, und Mai, und der durchgeführten Korrelationsanalyse, wurden bestimmte Produktionsparameter festgelegt. Dazu zählen die Kartoffelstärke, die Kartoffelsorten, die Wasserzugabe und die Dosierschneckengeschwindigkeit. Der Versuch dient zur Stabilisierung der Produktivität Linie1 und der Linie2 durch Stabilisierung der Umstellparameter.

Versuchsablauf:

- Versuchsunterweisung der Teamer und Anlagenfahrer
- Die benötigte Kartoffelmenge wurde bestellt und getrennt gelagert
- Nachjustierung der Prallplattenwaagen Linie 1 und Linie 2
- Um 4:00 wurden die Kartoffeln vom Bunker PP1 und PP9 gezogen
- Um 05:30 wurden die 8 Walzentrockner auf die angegebenen Parameter umgestellt.
- Die Prozessparameter wurden während 8 Stunden kontinuierlich erfasst.
- Von 6:30 bis 13:30 stündliche Messung der Banddichte für die 8 Walzentrockner

Prozessparameter:

- Produzierte Produkte: Linie 1: Argentinien und Helles
Linie 2: MPB
- Kartoffelsorten:
 - 19.06.2018: Horizon, Rumba (Bunker 1 und 9)
 - 20.06.2018: Horizon, Fasan, Agria, Rumba (Bunker 1 und 5, Bunker 2 und 5, Bunker 2 und 4)

- Stärke:

Tabelle 20: Übersicht Kartoffelstärken

	Kartoffelstärke			
Datum	06:00	08:00	10:00	12:00
19.06.2018	17	17,2	17,5	17,6
20.06.2018	17,3	16,3	16,5	18,1

- Produktionszeit: 19.06.2018: 7 Stunden für Linie1 und Linie 2
20.06.2018: 8 Stunden für Linie1 und Linie 2

Prozessparameter:

- Schäler: Zykluszeit: 70 – 73 Sek
Wartezeit: max. 22 Sek
- Förderschneckendrehzahl (Nettowaage): 60 U/ Min
- Blancheure: Blanchierzeit: 25 min
Abkühlzeit: 24 min
- Kocher: Kochzeit: 25 min
- Walzentrockner:
- Wasserzugabe pro Std: 100 l (120l für das Produkt MPB)
- Dosierschneckengeschwindigkeit: zwischen 9 und 10 s/U

Unter Berücksichtigung der Restfeuchtespezifikation werden die Walzentrockner möglichst schnell gefahren.

3.5 Phase 5 „Control“

Das Ziel dieser Phase ist die Wirksamkeit der ergriffenen Maßnahmen zu überprüfen und eine dauerhafte Lösung des Problems sicherstellen zu können.

Dafür wurden Teamleiter, Mitarbeiter und die Anlagenfahrer auf die neuen Umstellparameter und auf die neue Fahrweise geschult.

Während dieser Schulung sind die Zusammenhänge zwischen den Produktionsparameter und der optimalen Fahrweise der Anlagen einfach erklärt worden. (Präsentation: „Die Optimale Fahrweise beim Walzentrockner“ im Anhang).

Die gewählten Kennzahlen und Stellgrößen wurden überprüft und dokumentiert. Ziel war es, zu wissen, ob die Umsetzung des DMAIC Ansatzes zu der gewünschten Stabilität der Ergebnisse geführt hat.

Wichtig zu erwähnen für diese Phase ist, dass der Versuch für 5 Arbeitsschichten geplant war (40 Produktionsstunden) und verkürzt wurde auf 2 Arbeitsschichten (16 Produktionsstunden), auf Grund der mangelhaften Verfügbarkeit der gewünschten Kartoffelqualitäten in dieser Jahreszeit.

4. Ergebnisse

4.1 Ergebnisbeurteilung vom Vorversuch laut „PDCA“ Ansatz

Einfluss auf die Produktivität der Produktionslinie 1

Anhand der Produktionsdaten, hatte der Einsatz der Linie 2 um 19:00 keinen nennenswerten Einfluss auf die Stundenleistung der Linie 1. Nach dem Einsatz der Linie 2 lag die Stundenleistung der Linie 1 des Produkts EM zwischen 1600 Kg und 1700 Kg. Im Monat März, unter normalen Arbeitsbedingungen, lag der Mittelwert der Stundenleistung des Produkts EM bei 1642 Kg. Das bedeutet, dass der Einsatz der Linie 2 in der zweiten Produktionsstunde keinen nennenswerten Einfluss auf die Produktivität der Linie 1 hat.

Die Produktionsdaten des Produkts EM im Monat März sind in die folgende Tabelle dargestellt.

Tabelle 21: Produktivität der Produkt EM im März

Produkt	Leistung pro Std [Kg]				
	Min	Max	Mittelwert	Varianz	St.Abw
EM	1500	1800	1642,5	7440,78	86,27

Einfluss auf den Dampfverbrauch der Produktionslinie 1

Zum Einsatz der Produktionslinie 2 um 19:00 Uhr, hat sich der Dampfverbrauch auf der Produktionslinie 2 deutlich erhöht. Da beide Produktionslinien über die gleiche Leitung mit Wasserdampf versorgt werden, wird der Einfluss des Wasserdampfverbrauchs auf Veränderung in der Produktionslinie 1 untersucht. Das Verhältnis vom Wasserdampfverbrauch im Laufe der Zeit auf die Linie.1 und Linie.2 ist in den Diagrammen 17 und 18 dargestellt.

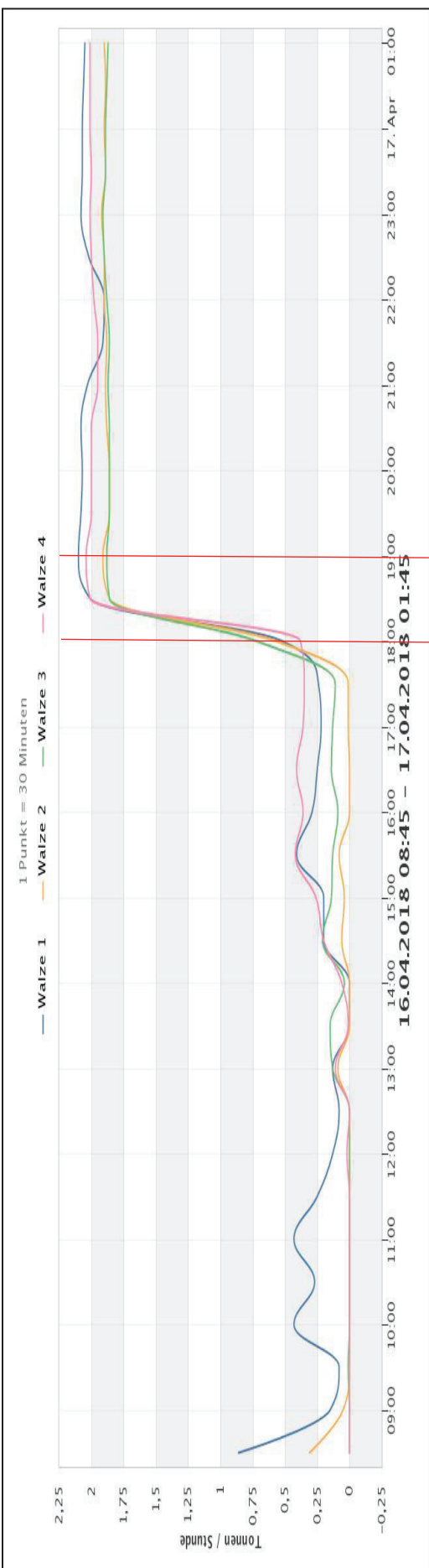


Abbildung 20: Wasserdampfverbrauch der Produktionslinie.1 während des Vorversuches

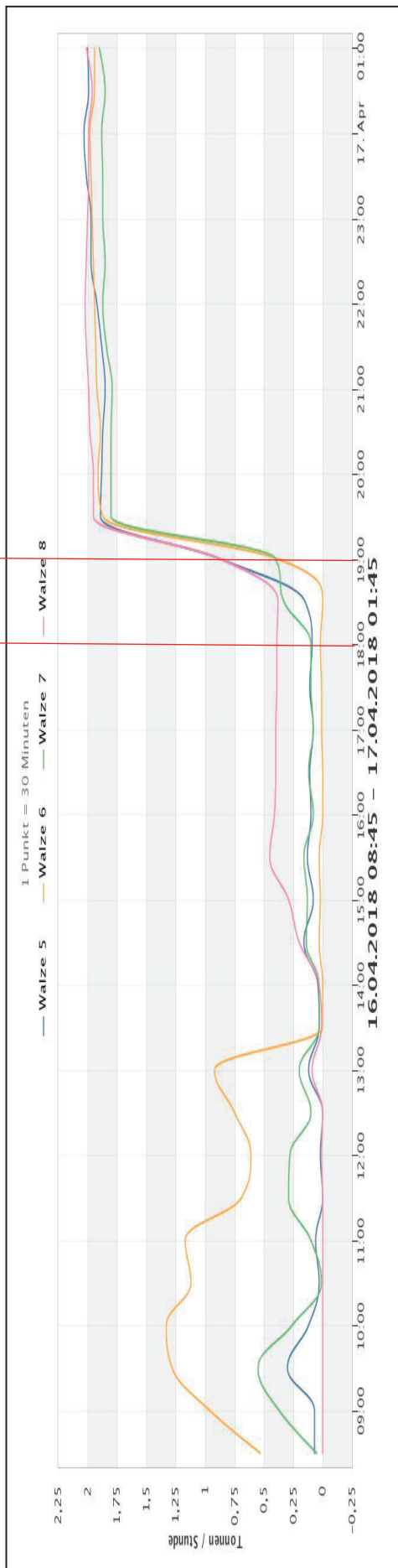


Abbildung 21: Wasserdampfverbrauch der Produktionslinie.2 während des Vorversuches

Die Dampfverbrauchsdiagramme zeigen, dass die Erhöhung des Wasserdampfverbrauchs bei der Linie 2 um 19:00 kaum den Wasserdampfverbrauch der Linie 1 beeinflusst hat. Anhand der Diagramme ist zu erkennen, dass der Einsatz der Linie 2 in der zweiten Produktionsstunde am Wasserdampfverbrauch der Linie 1 nichts veränderte. Somit behinderte der Einsatz der Linie 2 nicht die Produktivität der Linie 1

Die Ergebnisse des Wasserdampfverbrauchs stimmen überein mit den Ergebnissen der Produktivität von Linie.1.

4.2 Ergebnisbeurteilung der Korrelationsanalyse zwischen den Prozessparametern

Um eine komplette Übersicht auf die untersuchten Zusammenhänge, die zwischen den Prozessparametern stattfinden, zu haben, werden die Ergebnisse von der Produktionslinie 1 und 2 in einer Tabelle erfasst.

Die angewendeten Farben zeigen die Stärke der Zusammenhänge zwischen den Prozessparametern laut der Cohens Einteilung der Pearson-Korrelationen:

Die gelbe Farbe bezeichnet einen schwachen linearen Zusammenhang

Die orange Farbe bezeichnet einen mittleren linearen Zusammenhang

Die grüne Farbe bezeichnet einen starken linearen Zusammenhang

Tabelle 22: Übersicht der Zusammenhänge zwischen den untersuchten Prozessparametern der Produktionslinie 1

	Kartoffelstärke			Wasserzugabe [L]			Banddichte [g/5dm²]			Leistung pro Stunde [Kg]		
	schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Kartoffelstärke				X					X			X
Wasserzugabe [L]	X						X					
Banddichte [g/5dm²]			X	X								X
Leistung pro Stunde [Kg]			X						X			

Tabelle 23: Übersicht der Zusammenhänge zwischen den untersuchten Prozessparametern der Produktionslinie 2

	Kartoffelstärke			Wasserzugabe [L]			Banddichte [g/5dm²]			Leistung pro Stunde [Kg]		
	schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Kartoffelstärke						X			X	X		
Wasserzugabe [L]			X				X					
Banddichte [g/5dm²]			X	X						X		
Leistung pro Stunde [Kg]	X						X					

Anhand der Ergebnisse war zu erkennen, dass bei der Produktionslinie 1 ein positiv starker linearer Zusammenhang zwischen der Kartoffelstärke und der Stundenleistung, zwischen der Kartoffelstärke und der Banddichte des Kartoffelfilms und zwischen der Banddichte des Kartoffelfilms und der Stundenleistung besteht. Weiterhin wurde festgestellt, dass zwischen der Wasserzugabe und der Kartoffelstärke sowie zwischen der Wasserzugabe und der Banddichte des Kartoffelfilms ein schwacher linearer Zusammenhang besteht.

Anhand der Ergebnisse von Tabelle 21 war zu erkennen, dass ein starker linearer Zusammenhang zwischen Kartoffelstärke und Banddichte des Kartoffelfilms sowie zwischen Wasserzugabe und der Kartoffelstärke besteht. Weiterhin wurde festgestellt, dass zwischen Kartoffelstärke und Stundenleistung, zwischen Banddichte des Kartoffelfilms und Stundenleistung und zwischen Wasserzugabe und Banddichte des Kartoffelfilms ein schwacher linearer Zusammenhang besteht.

Die Ergebnisse der Tabelle 20 und 21 erlauben uns zu bestimmen, dass der Stärkegehalt der verarbeiteten Kartoffelsorten sehr entscheidend auf die Produktivität der Produktionslinien 1 und 2 ist. Der Stärkegehalt hat einen direkten Einfluss auf die Banddichte des Kartoffelfilms, demzufolge auch einen direkten Einfluss auf die Produktivität bzw. Stundenleistung.

Beim Vergleich der Korrelation zwischen Wasserzugabe und Kartoffelstärke auf den Produktionslinien 1 und 2, bemerkt man einen großen Unterschied zwischen den Verhältnissen der Anlagenfahrer, obwohl die beiden Produktionslinien mit den gleichen Kartoffeln beschickt sind. Auf der Produktionslinie 2 verursacht eine Erhöhung des Stärkegehalts einen erhöhten Einsatz von Wasser während der Produktion. Bei der Produktionslinie 1 sind die Anlagenfahrer weniger auffällig bei einer Erhöhung des Stärkegehaltes und der Zugabe von Wasser als Reaktion darauf.

4.3 Darstellung und Auswertung der Ergebnisse des Hauptversuchs

4.3.1 Darstellung der Ergebnisse

In den folgenden Tabellen sind die Produktionsparameter der Produktionslinie 1 und 2 erfasst und die Untersuchungsbefunde aus dem Produktionsversuch im Werk Stavenhagen dargestellt. Wichtig zu erwähnen ist dabei, dass es bei den

Produktionslinien ein Stillstand von 75 Minuten gab und alle Walzentrockner angehalten wurden. Grund dafür war ein Mangel an Kartoffeln im Blanchier-Bereich. Dieser Stillstand hat die Kontinuität und die Stabilität der Produktivität von insgesamt zwei Produktionsstunden gestört.

Bei der Produktionslinie 1 wurde das Produkt Argentinien innerhalb von acht Stunden hergestellt und das Produkt während acht Stunden hergestellt, wobei auf der Produktionslinie 2 kontinuierlich das Produkt MPB hergestellt wurde.

Tabelle 24: Datenerfassung von der Prozessparameter auf die Produktionslinie.1

Linie 1												
		Dosierschnecke Gesch. [U/Sek]	Feuchte	Feuchte Labor	Konsistenz	Drehzahl [U/Sek]	Banddichte [g/dm²]	Wasser Zugabe [L]	Leistung pro Std [kg]	Gerechnete Leistung pro Std [kg]	Kartoffelsorten	Stärke
												Produkt
19.06.2018	06:00-07:00	Trockner 1	11,5	7,5	6	14,8	3,7	100	432,6	1771,4	Horizon Rumba	17
		Trockner 2	10			14,7	3,4	100	400,2			
		Trockner 3	10,6			14,8	3,9	100	455,9			
		Trockner 4	9,5			14,7	4,1	100	482,6			
19.06.2018	07:00-08:00	Trockner 1	12	7,5	5	15,4	-	100	#WERT!	#WERT!	Horizon Rumba	17,2
		Trockner 2	10			15,4	-	100	750			
		Trockner 3	10,5			15,4	-	100	#WERT!			
		Trockner 4	9,4			15,4	-	100	#WERT!			
19.06.2018	08:00-09:00	Trockner 1	12	7,5	5	15,7	4	100	440,8	1840,6	Horizon Rumba	17,5
		Trockner 2	10			15,7	4,2	100	462,9			
		Trockner 3	10,6			15,7	4,2	100	462,9			
		Trockner 4	9,5			15,7	4,3	100	473,9			
19.06.2018	09:00-10:00	Trockner 1	12	7,5	5	15,9	3,8	100	413,5	1665,7	Horizon Rumba	17,6
		Trockner 2	10			15,9	4	100	435,3			
		Trockner 3	10,6			16,1	3,9	100	419,1			
		Trockner 4	9,5			16,1	3,7	100	397,6			
19.06.2018	10:00-11:00	Trockner 1	12	7,5	6	14,5	3,9	100	465,2	1861,6	Horizon Rumba	17,6
		Trockner 2	10			14,5	3,8	100	453,4			
		Trockner 3	10,6			14,5	3,8	100	453,4			
		Trockner 4	9,5			14,5	4,1	100	489,2			
19.06.2018	11:00-12:00	Trockner 1	10,5	6,7	6	15,1	3,9	100	446,9	1858,6	Horizon Rumba	17,6
		Trockner 2	9,5			14,8	4	100	467,6			
		Trockner 3	10			14,7	4,1	100	482,6			
		Trockner 4	8,5			15	4	100	461,4			
19.06.2018	12:00-13:00	Trockner 1	9,9	6,7	5	15	3,8	100	438,3	1829,4	Horizon Rumba	17,6
		Trockner 2	9,5			15,2	3,9	100	443,9			
		Trockner 3	9,6			14,8	4	100	467,6			
		Trockner 4	8,5			14,8	4,1	100	479,3			
19.06.2018	13:00-14:00	Trockner 1	9,9	7,3-7,6	5	15	3,8	100	438,3	1891,9	Horizon Rumba	17,6
		Trockner 2	10			15	4,1	100	472,9			
		Trockner 3	10			15	4,2	100	484,5			
		Trockner 4	9			15	4,3	100	496,0			

Tabelle 25: Datenerfassung von der Prozessparameter auf die Produktionslinie. 2

Linie 2														
	Dosierschneke Gesch. [U/Sek]	Feuchte	Feuchte Labor	Konsistenz	Drehzahl [U/Sek]	Banddichte [g/dm²]	Wasser Zugabe [L]	Leistung pro Std [Kg]	Gerechnete Leistung pro Std [Kg]	Kartoffelsorten	Stärke	Produkt	Bemerkungen	
06:00-07:00	Trockner 5	8,8	7,3	6	18	4,5	120	1700	432,6	Horizon Rumba	17,2	MPB	7:10- 8:25 die walzentrockner angehalten wegen mangelnde Kartoffeln im Blancheurbereich	
	Trockner 6	9,6			18	4,5	120		432,6					
	Trockner 7	9,9			18	4,2	120		403,7					
	Trockner 8	9,9			18	4,9	120		471,0					
07:00-08:00	Trockner 5	8,5	7,3	5	18,5	-	120	800	#WERT!	Horizon Rumba	17,6	MPB	7:10- 8:25 die walzentrockner angehalten wegen mangelnde Kartoffeln im Blancheurbereich	
	Trockner 6	9,1			18,5	-	120		#WERT!					
	Trockner 7	9,9			18,5	-	120		#WERT!					
	Trockner 8	9,8			18,5	-	120		#WERT!					
08:00-09:00	Trockner 5	8,5	7,3	5	18,5	4,3	120	1500	402,2	Horizon Rumba	17,2	MPB	7:10- 8:25 die walzentrockner angehalten wegen mangelnde Kartoffeln im Blancheurbereich	
	Trockner 6	9,1			18,5	5,3	120		495,7					
	Trockner 7	9,9			18,5	5,3	120		495,7					
	Trockner 8	9,8			18,5	5,1	120		477,0					
09:00-10:00	Trockner 5	8,5	7,3	5	17,5	4,7	120	1700	464,7	Horizon Rumba	17,5	MPB	7:10- 8:25 die walzentrockner angehalten wegen mangelnde Kartoffeln im Blancheurbereich	
	Trockner 6	9			17,4	4,8	120		477,3					
	Trockner 7	9,9			17,9	4,8	120		464,0					
	Trockner 8	10,1			17,4	4,5	120		447,5					
10:00-11:00	Trockner 5	8,5	7,3	6	17	4,4	120	1700	447,8	Horizon Rumba	17,5	MPB	7:10- 8:25 die walzentrockner angehalten wegen mangelnde Kartoffeln im Blancheurbereich	
	Trockner 6	9			17	4,7	120		478,4					
	Trockner 7	9,9			17	4,5	120		458,0					
	Trockner 8	10,1			17	4,3	120		437,6					
11:00-12:00	Trockner 5	8,5	7,3	6	17,1	4,7	120	1700	475,6	Horizon Rumba	17,5	MPB	7:10- 8:25 die walzentrockner angehalten wegen mangelnde Kartoffeln im Blancheurbereich	
	Trockner 6	9,1			17	4,7	120		478,4					
	Trockner 7	10,6			17,2	4,4	120		442,6					
	Trockner 8	10,6			17	4,4	120		447,8					
12:00-13:00	Trockner 5	8,5	7,3	6	17,2	4,7	120	1700	472,8	Horizon Rumba	17,6	MPB	7:10- 8:25 die walzentrockner angehalten wegen mangelnde Kartoffeln im Blancheurbereich	
	Trockner 6	9,1			17,2	4,7	120		472,8					
	Trockner 7	10,1			17,2	4,7	120		472,8					
	Trockner 8	10,6			17,2	4,6	120		462,7					
13:00-14:00	Trockner 5	8,5	7,3	6	17,3	4,7	120	1700	470,1	Horizon Rumba	17,6	MPB	7:10- 8:25 die walzentrockner angehalten wegen mangelnde Kartoffeln im Blancheurbereich	
	Trockner 6	9,1			17,6	4,5	120		442,4					
	Trockner 7	10,1			17,4	4,6	120		457,4					
	Trockner 8	10,6			17,3	4,6	120		460,1					

Tabelle 26: Datenerfassung der Prozessparameter Produktionslinie.1

Linie 1														
		Dosierschneke Gesch. [U/Sek]	Feuchte	Feuchte Labor	Konsistenz	Drehzahl [U/Sek]	Banddichte [g/dm ²]	Wasser Zugabe [l]	Leistung pro Std [Kg]	Gerechnete Leistung pro Std [Kg]	Kartoffelsorten	Stärke	Produkt	Bemerkungen
20.06.2018	06:00-07:00	Trockner 1	10,3	7	6	15,23	3,6	100	1700	409,0	Horizon Fasane	17,3	Helles	
		Trockner 2	10			16	3,8	100		410,9				
		Trockner 3	9,4			15,7	4	100		440,8				
		Trockner 4	8,9			15,8	3,7	100		405,2				
	07:00-08:00	Trockner 1	11	7	6	14,5	3,4	100	1741	405,7	Horizon Fasane	17,3	Helles	
		Trockner 2	10			14,5	3,7	100		441,5				
		Trockner 3	9			14,5	4,1	100		489,2				
		Trockner 4	9,4			14,5	3,8	100		453,4				
	08:00-09:00	Trockner 1	11	7	6	14,5	3,5	100	1717	417,6	Horizon Fasane Agria	16,3	Helles	
		Trockner 2	10,1			14,7	3,5	100		412,0				
		Trockner 3	9			14,5	4	100		477,3				
		Trockner 4	9,4			14,3	3,6	100		435,6				
	09:00-10:00	Trockner 1	11	7	6	14	3,1	100	1700	383,1	Horizon Fasane Agria	16,3	Helles	
		Trockner 2	10			14	3,1	100		383,1				
		Trockner 3	9			14	3,9	100		482,0				
		Trockner 4	8,9			14	3,6	100		444,9				
	10:00-11:00	Trockner 1	11	7,2	6	14,2	3,3	100	1700	402,1	Horizon Fasane Agria	16,5	Helles	
		Trockner 2	10			14,2	3,2	100		389,9				
		Trockner 3	9			14,2	4	100		487,4				
		Trockner 4	8,9			14,2	3,7	100		450,8				
	11:00-12:00	Trockner 1	11	7,2	6	14,2	3,4	100	1700	414,3	Horizon Fasane Rumba	18,1	Helles	
		Trockner 2	10			14,3	3,3	100		399,3				
		Trockner 3	9			14,3	4	100		484,0				
		Trockner 4	8,9			14,2	3,8	100		463,0				
	12:00-13:00	Trockner 1	11	7,2	6	14	3,3	100	1700	407,8	Horizon Fasane Rumba	18,1	Helles	
		Trockner 2	10			14	3,3	100		407,8				
		Trockner 3	9			14	3,8	100		469,6				
		Trockner 4	9			14	3,6	100		444,9				
	13:00-14:00	Trockner 1	11	7,2	6	16,7	4,1	100	1800	424,8	Horizon Fasane Rumba	18,1	Helles	
		Trockner 2	10			16,5	4,3	100		450,9				
		Trockner 3	9			16,6	4,6	100		479,5				
		Trockner 4	9			16,6	4,3	100		448,2				

Tabelle 27: Datenerfassung der Prozessparameter Produktionslinie. 2

Linie 2														
	Dosierschneke gesch [U/Sek]	Feuchte	Feuchte Labor	Konsistenz	Drehzahl [U/Sek]	Banddicthe [g/dm²]	Wasser Zugabe [L]	Leistung pro Std [kg]	Gerechnete Leistung pro Std [kg]	Kartoffelsorten	Stärke	Produkt	Bemerkungen	
20.06.2018	06:00-07:00	Trockner 5	7,5	6	16,8	4,5	120		463,5	Horizon Fasane	17,3	MPB		
		Trockner 6	8,5		16,8	4,3	120	1750	442,9					
		Trockner 7	9,6		16,9	4,5	120		460,7					
		Trockner 8	9,8		16,8	4,3	120		442,9					
	07:00-08:00	Trockner 5	11		7,1	17	4,5	120			458,0			1811,8
		Trockner 6	10			17	4,4	120	1750		447,8			
		Trockner 7	9			17	4,4	120			447,8			
		Trockner 8	9,4			17	4,5	120			458,0			
	08:00-09:00	Trockner 5	11	6		16,5	4,2	120		440,4	1788,3			16,3
		Trockner 6	10			16,5	4,4	120	1700	461,4				
		Trockner 7	9			16,5	4,1	120		429,9				
		Trockner 8	9,4			16,3	4,3	120		456,4				
09:00-10:00	Trockner 5	7,5	7,3		16,5	4,4	120		461,4	1856,2	Horizon Fasane Agria			
	Trockner 6	9			16,5	4,4	120	1700	461,4					
	Trockner 7	10,1			16,5	4,6	120		482,4					
	Trockner 8	9,8			16,5	4,3	120		450,9					
10:00-11:00	Trockner 5	7,5		6	16,9	4,4	120		450,5	1821,9		16,5		
	Trockner 6	9			17	4,5	120	1700	447,8					
	Trockner 7	10,1			17,1	4,4	120		455,3					
	Trockner 8	9,8			17	4,6	120		468,2					
11:00-12:00	Trockner 5	7,5	7,3		16,9	4,6	120		470,9	1771,3			Horizon Fasane Rumba	
	Trockner 6	9			16,9	4,2	120	1700	430,0					
	Trockner 7	10,1			16,9	4,1	120		419,8					
	Trockner 8	9,8			16,9	4,4	120		450,5					
12:00-13:00	Trockner 5	7,5		6	16,3	4,4	120		467,1	1767,3	18,1			
	Trockner 6	9			16,3	3,7	120	1700	392,7					
	Trockner 7	10,1			16,3	4,3	120		456,4					
	Trockner 8	9,8			16,5	4,3	120		450,9					
13:00-14:00	Trockner 5	11			17,7	4,5	120		439,9	1867,2				
	Trockner 6	10			17,7	5	120	1700	488,8					
	Trockner 7	9			17,7	4,8	120		469,2					
	Trockner 8	9			17,7	4,8	120		469,2					

Für eine komplette Übersicht der Ergebnisse des Hauptversuches sind die Daten in den folgenden Diagrammen dargestellt.

Da die Produktionslinien 1 und 2 einen Stillstand von 75 Minuten während des Hauptversuch gehabt hatten, wurde der Schichtproduktivitätsdurchschnitt auf acht Produktionsstunden über das Produktionsprotokoll hochgerechnet. Dafür wurde die durchschnittliche Stundenleistung [Kg] mit 8 multipliziert. Das Produktionsprotokoll der 25. Kalenderwoche ist im Anhang zu finden.

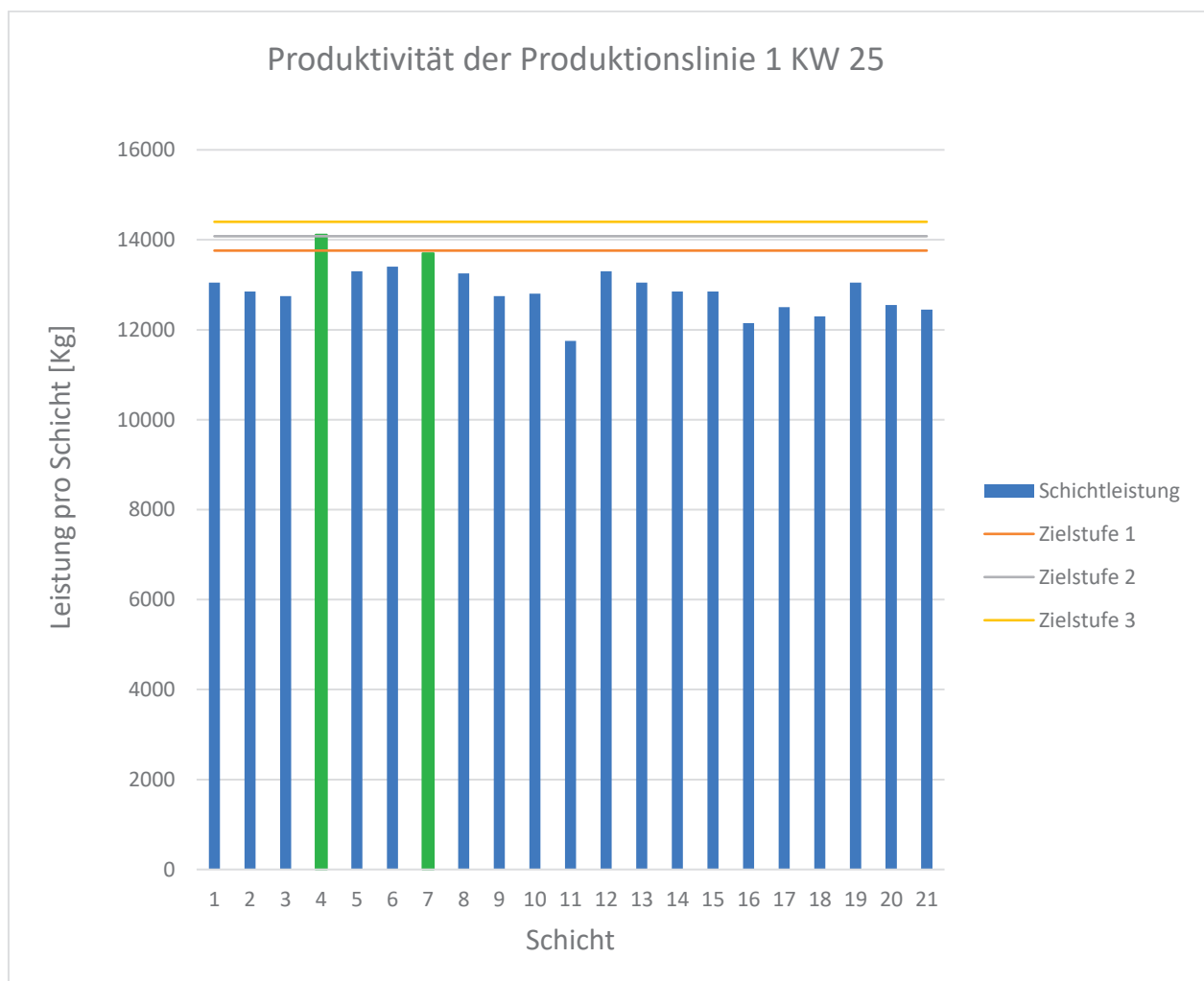


Abbildung 22: Produktivität der Produktionslinie.1 in die Kalenderwoche. 25

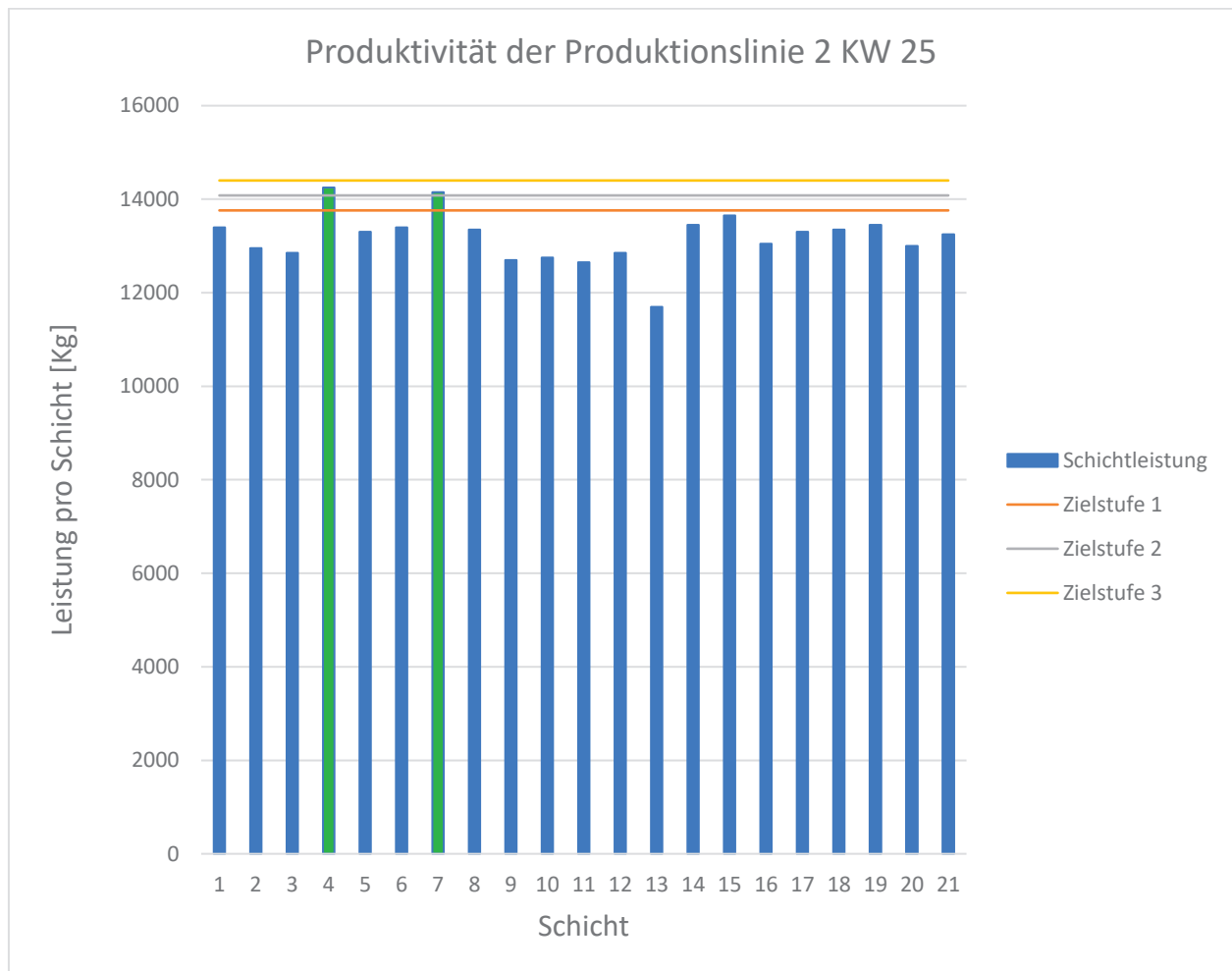


Diagramm 23: Produktivität der Produktionslinie.2 in die Kalenderwoche. 25

4.3.2 Auswertung der Ergebnisse

Die Diagramme 19 und 20 liefern Informationen über die Schichtleistung der Produktionslinien 1 und 2 innerhalb der 25. Kalenderwoche.

Auf der x-Achse sind die Produktionsschichten angegeben und auf der y-Achse die Schichtleistungen in Kg. Die Diagramme zeigen die Evolution der Produktivität der Produktionslinien 1 und 2 im Laufe der Zeit.

Anhand der Diagramme ist festzustellen, dass die Produktivität der Produktionslinien während des Hauptversuchs gestiegen ist.

Auf der Produktionslinie 1 hat die Produktivität in der 4. und 7. Schicht 14080 Kg und 13760 Kg erreicht. Diese Produktivität auf der Linie 1 entspricht der Zielstufe 2 in der

4. Schicht und der Zielstufe 1 in der 7. Schicht. Anhand der Ergebnisse war auch zu erkennen, dass bei der Produktionslinie 1 die Produktionsziele nur während des Hauptversuchs erreicht worden sind.

Auf der Produktionslinie 2 hat die Produktivität in der 4. und 7. Schicht 14250 Kg und 14150 Kg erreicht. Diese Produktivität auf der Linie 2 entspricht der Zielstufe 2 in beiden Schichten. Die Ergebnisse zeigen auch, dass innerhalb der 25. Kalenderwoche die Produktionsziele nur während des Hauptversuchs erreicht worden sind.

Außer beim Stillstand war die Produktivität der Produktionslinien 1 und 2 stabil, sodass die Produktionsziele durchgehend erreicht worden sind.

Die Versuchsergebnisse zeigen, dass die festgelegten Parameter und Fahrweise bei dem Versuch besser geeignet sind, um die Produktivität zu stabilisieren und zu optimieren, obwohl es bei der Produktionslinie 1 Minderleistungsprobleme gab. Dieser Ansatz hat ermöglicht auf der Linie 1 die Produktionszielstufen 2 und 3 mehrmals während des Versuchs zu erreichen.

5. Diskussion

Ziel der Arbeit war die Untersuchung und Identifizierung der Prozessparameter bei der Herstellung von Kartoffelflocken zur Optimierung und Steigerung der Produktivität. Betrachtet man die vorliegenden Ergebnisse, kommt man zur Feststellung, dass das Ziel erreicht wurde. Die Untersuchungen der gesamten Produktionslinie durch die Lean Manufacturing Tools, der Ansatz der Six-Sigma Methode, die erstellten Übersichtstabellen, und die Korrelationsanalyse zwischen den Prozessparametern, ermöglichten das gesamte System besser zu verstehen und Schwachstellen zu identifizieren. Die Fahrweise der Anlagen, die Umstellparameter während der Produktion und die Qualität der Rohstoffe sind sehr entscheidend für die Produktivität im Werk Pfanni. Die optimale Kombination von diesen Faktoren wurde durch den Versuch nachgewiesen. In der anschließenden Diskussion werden die Ergebnisse ausgewertet, Probleme dargestellt und Vorschläge für das weitere Vorgehen gegeben.

Der Vorversuch diente zur Überprüfung, ob die Walzentrockner 1 bis 8 mit der verfügbaren Menge an Wasserdampfdruck ihre optimale Leistung bereitstellen können. Der Wasserdampfverbrauch der Produktionslinie 2 wurde immer als Ursache für die Minderleistung der Produktionslinie 1 genannt, da bautechnisch die Produktionslinie 2 und deren Walzentrockner zuerst mit Wasserdampfdruck versorgt werden. Erst danach wird der Wasserdampfdruck zur Versorgung der Produktionslinie 1 weitergeleitet. Es wurde vermutet, dass auf der Strecke Verluste des Wasserdampfdrucks entstehen und dadurch eine Unterversorgung der Produktionslinie 1 bewirkt wird. Diese Hypothese wird durch die Ergebnisse des Vorversuches nicht gestützt. Während des Vorversuchs hat der Einsatz der Produktionslinie 2 in der zweiten Produktionsstunde kaum den Wasserdampfverbrauch der Produktionslinie 1 gestört. Dies bestätigen die Diagramme zum Wasserdampfverbrauch über den Versuchszeitraum. Weiterhin bestätigen die Produktionsprotokolle der Stundenleistung, dass die Leistung der Produktionslinie 1 nicht gesunken ist, parallel zum Einsatz der Linie 2.

Parallel zur Untersuchung der Minderleistung der Produktionslinie 1 werden die monatlichen Übersichtstabellen vervollständigt und die Zusammenhänge zwischen den Prozessparametern im Walzentrocknerbereich näher untersucht. Es erfolgt die Datenerfassung in Tabellenform und Umwandlung in Diagramme. Die Zusammenhänge zwischen den Prozessparametern werden anhand der Korrelationsanalyse durchgeführt. Der Korrelationskoeffizient ist nach Richtlinien von Cohen (1988) interpretiert.

Die stark positiven linearen Zusammenhänge zwischen der Kartoffelstärke und der Stundenleistung, zwischen der Kartoffelstärke und der Banddichte des Kartoffelfilms und zwischen der Banddichte des Kartoffelfilms und der Stundenleistung zeigen, dass die Kartoffelqualität einen großen Einfluss auf die Produktivität hat. Die Kartoffelstärke ist ein Indikator für die Ausbeute der Kartoffeln. Bei Trockenprodukten bewirkt ein Anstieg von 1% im Trockensubstanzgehalt des Ausgangsmaterials eine Erhöhung der Ausbeute um 1Kg je 100 Kg geschälte Kartoffeln, bei gleichzeitigem sinken der Trocknungskosten da 1 Kg Wasser weniger zu verdampfen ist (Adler 1971). Die Banddichte erhöht sich bedeutend mit einer Erhöhung der Kartoffelstärke über 16,5 und umgekehrt.

Der stark positive lineare Zusammenhang auf der Produktionslinie 2 zwischen der Kartoffelstärke und der Wasserzugabe lässt Rückschlüsse auf die Fahrweise der Anlagenfahrer zu. Auf einen Anstieg des Trockensubstanzgehalts wird mit erhöhter Wasserzugabe durch die Anlagenfahrer reagiert. Laut Anlagenfahrer ist die Reaktion eine Maßnahme, um das Verhalten von dem Kartoffelbrei auf den Walzentrockner während des Trocknungsprozesses zu verbessern. Im Gegensatz dazu ist der Zusammenhang zwischen der Kartoffelstärke und der Wasserzugabe auf der Produktionslinie 1 schwach. Die unterschiedliche Fahrweise wird durch die Tabellenübersichten der Monate März und April bestätigt. Der Unterschied zwischen den zugegebenen Mengen an Wasser auf den Produktionslinien beträgt im Monat März 10.890 L und 111.920 L im Monat April.

Die Wasserzugabe bei der Herstellung von Kartoffelflocken ist bis zu einer bestimmten Grenze sehr vorteilhaft und ermöglicht ein besseres Verhalten des Kartoffelbreis auf der Walze (Cording et al. 1956) sowie eine erhöhte Wärmeübertragung zwischen der Walzentrockneroberfläche und dem Kartoffelbrei. Das ermöglicht einen verbesserten Trocknungsprozess und Trocknungseffekt (Miles, J. et al 1957). Anhand der gesammelten Prozessdaten auf Produktionslinie 1 und 2 wird ersichtlich, dass eine Überschreitung von 120L/Std Wasserzugabe zu einer dünneren Banddichte des Kartoffelfilms führt. Daraus resultiert ein Effizienzabfall während des Trocknungsprozesses, da der Kartoffelbrei diluiert. Andererseits bewirkt eine Senkung der Wasserzugabe auf bis zu 50 L/Std oder 25 L/Std ebenfalls eine dünnere Banddichte. Die Ursache dafür ist eine verringerte Wärmeübertragung durch die Senkung der Wasserzugabe, was letztendlich zu einem suboptimalen Verhalten des Kartoffelbreis auf den Walzen führt.

Ein weiterer Aspekt der durch die Anlagenfahrer während des Trocknungsprozesses falsch interpretiert wird, ist die Walzengeschwindigkeit. Die Anlagenfahrer sind der Meinung, das Fahren mit geringer Umdrehungsgeschwindigkeit vorteilhafter ist, da mehr Kartoffelbrei über die Zeit auf die Walze gelangt und dies zu einer erhöhten Banddichte führt, einschließlich einer verbesserten Produktivität. Gegen diese These spricht eindeutig, dass bei einer höheren Walzengeschwindigkeit, unter Berücksichtigung der Restfeuchtespezifikation, sich der Wärmeaustausch zwischen Kartoffelbrei und Walze verbessert. Dadurch steigt der Dampfverbrauch bei der Walzentrocknung und bewirkt einen optimalen Trocknungsprozess, einschließlich Produktivitätssteigerung.

Die Ergebnisse der Korrelationsanalyse werden anschließend als Basis für die Entwicklung der Versuchsplanung im Walzentrocknerbereich verwendet. Die Ergebnisse und die weitere Versuchsplanung werden mit den Anlagenfahrern und Teamleitern in Form einer detaillierten Schulung geteilt. Im Fokus stehen dabei die verschiedenen Aspekte des Versuchsablaufs und die neu ermittelten Umstellparameter.

Die Versuchsergebnisse zeigen, dass die neu festgelegten Parameter zur Fahrweise der Walzentrocknung besser geeignet sind, um die Produktivität zu optimieren. Die Stabilisierung der Wasserzugabe auf beiden Produktionslinien zeigt ein besseres Verhalten des Kartoffelbreis auf den Walzentrocknern und eine höhere Banddichte des Kartoffelfilms, was zur Stabilisierung der Produktivität auf beiden Linien führt und eine kontinuierliche Erreichung der Produktionsziele gewährleistet.

Obwohl es auf der Produktionslinie 1 Effizienzprobleme (Minderleistung) gegenüber Produktionslinie 2 gibt, hat dieser Ansatz ermöglicht die Zielstufen 2 und 3 während des Versuchs zu erreichen. Weiterhin ist während des Versuchs auf Linie 2 die Zielstufe 1 dauerhaft erreicht worden.

Basierend auf den durchgeführten Untersuchungen sind weitere Optimierungsmöglichkeiten in anderen Prozessbereichen ermittelt.

Blanchier-Bereich

Im Blanchier-Bereich ist auf die Füllstände und Kartoffelverteilung in den Scheibenbehältern zu achten, um die kontinuierliche Kartoffelversorgung der Kocher und Walzentrockner sicherzustellen. In den Scheibenbehältern werden die blanchierten und gekühlten Kartoffeln gesammelt bevor sie über Pumpen zum Kochervorbehälter gefördert werden. Bei ungleichmäßiger Verteilung kann die automatisierte Prozesssteuerung über Leer – und Vollmelder nicht mehr gewährleistet werden, sodass eine Unterversorgung an Kartoffeln bei den nachgelagerten Prozessschritten eintritt. Um dies zu vermeiden, muss eine regelmäßige Kontrolle und ggf. manuelle Umverteilung durch die Mitarbeiter gewährleistet werden.

Das Problem von mangelnden Kartoffeln im Walzentrocknerbereich wurde 9-mal bei der Linie 1- und 5-mal bei der Linie 2 im Monat Juni festgestellt und verursachte

Stillstandzeiten von jeweils 10 bis 25 Minuten. Die Stillstände haben einen direkten Einfluss auf die Produktivität und die Stabilität der Kartoffelflockenproduktion.

- Regelmäßige Kontrolle der Scheibenbehälter
- Gleichmäßige Verteilung der Kartoffelscheiben in den Behältern durch manuelles Umwälzen

Dosier-Bereich

Die Dosierpumpen der Linien 1 und 2 sind instabil. D. h. es kommt zu Schwankungen der Fördermenge, sodass kein kontinuierlicher Volumenstrom erzeugt wird. Besonders die Pumpe N°7 auf der Linie 2 und die Pumpe N°2 auf der Linie 1 lassen sich schwer umstellen. Weiterhin wurde festgestellt, dass die Ist-Vorgabe Dosierung [g/min] höher ist als die Soll-Vorgabe Dosierung [g/min].

Bei einer Abweichung von 30% bei der Vitamindosierung pro Dosierpumpe beträgt der Verlust: 86,4 €/ Tag ➔ 2592,0 €/Monat ➔ 31104,0 €/Jahr

Neben den finanziellen Verlusten durch erhöhten Rohstoffverbrauch, beeinflusst die Dosierung auch die Qualität des Endprodukts. Die Vitamindosierung beinhaltet Farbstoffe und Emulgatoren, sodass eine Abweichung gegenüber der Spezifikation bezüglich Farbe und Textur zur Sperrung der Produktionscharge führt.

Walzentrocknerbereich

Der Trocknungsprozess des Kartoffelbreis beinhaltet ebenfalls Optimierungsmöglichkeiten, da die Trocknung z. B. auch in zwei Schritten erfolgen kann (Miles, J. et al 1957).

Miles. et al 1957 zitierte in seinem Patent, dass, unter einem Restfeuchtegehalt von 25%, der Kartoffelfilm als ein kontinuierlicher Monozellulärer-Film von der Walze abgestreift werden kann. Tatsächlich verbessert dieser Ansatz die Produktivität des Walzentrockners, auf Grund einer Erhöhung des Wärmeaustauschs und der Walzengeschwindigkeit.

Im Werk Pfanni wird der Trocknungsprozess durch die Restfeuchteanzeige kontinuierlich kontrolliert. Die Restfeuchte des Endprodukts muss immer unter 7,5% sein. Deswegen können die Anlagenfahrer nicht die Walzentrockner schneller fahren was zur Folge hat, dass die Restfeuchtespezifikation eine Limitierung für Produktivitätssteigerungen darstellt.

Dieses Problem kann mit der Prozessunterteilung in 2 Trocknungsschritte gelöst werden. Dabei wird eine Kombination aus einem Tunneltrockner und Walzentrockner eingesetzt, wodurch die Anlagenfahrer eine höhere Walzengeschwindigkeit fahren können. Im Anschluss werden die Kartoffelflocken durch den Tunneltrockner bis auf die gewünschte Restfeuchte getrocknet.

Dieser Ansatz kann die Produktivität verbessern und zur Erreichung der Produktionsziele führen, sodass die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens steigt.

6. Zusammenfassung

Das Ziel der Arbeit ist, die Prozessparameter und die Prozessabläufe der Kartoffelflockenproduktion zu untersuchen, um die Produktivität der Produktionslinien zu erhöhen. Hintergrund sind die wiederkehrenden Produktivitätsschwankungen bei der Kartoffelflockenherstellung.

Im Vorfeld werden die Prozesse und die Abläufe kennengelernt. Die Untersuchung und Identifizierung von Produktionsparametern beginnt mit der Analyse der Produktionsprotokolle in den verschiedenen Abteilungen sowie durch Mitarbeiterbefragungen. Die gesammelten Informationen werden anschließend in Übersichtstabellen erfasst. Der Herstellungsprozess der Kartoffelflocken ist detailliert im „Process-Mapping“ und im Vermahlungsdiagramm der Kartoffelflocken beschrieben. Auf der Grundlage der Lean Manufacturing Tools und der Six-Sigma Methode wurde der Prozess untersucht. In der ersten Phase wird die Problematik durch die „5 Why“ Methode und durch das Ishikawa-Diagramm strukturiert beschrieben. In der zweiten Phase sind die monatlichen Produktionskennzahlen in Übersichtstabellen dargestellt. Darauf basierend ist das „Value-Stream-Mapping“ erstellt. Für das „Value-Stream-Mapping“, werden die Zykluszeiten und die Ausschussrate in den verschiedenen Prozessschritten anhand der Versuchsplanung gemessen. Anschließend wurde durch den „PDCA“ Ansatz untersucht, ob die

Produktionslinien mit den verfügbaren Mengen an Wasserdampfdruck ihre optimale Leistung bereitstellen können. Die Ergebnisse von diesem Vorversuch zeigen, dass der Wasserdampfdruck ausreichend für die Produktionslinien ist und dass die Produktivität der Produktionslinien unabhängig voneinander ist. In einem weiteren Schritt werden die Zusammenhänge zwischen den Produktionsparametern mittels Korrelationsanalyse untersucht. Die Ergebnisse der Korrelationsanalyse dienen zur Entwicklung des Hauptversuchsplan. Die Ergebnisse der Analyse zeigen einen starken Zusammenhang zwischen der Kartoffelqualität und der Produktivität der Produktionslinien. Außerdem hat die Studie die unterschiedliche Fahrweise der Anlagenfahrer aufgezeigt. Die unterschiedliche Fahrweise führt zu Schwankungen in der Produktivität. Diese zwei Faktoren sind sehr entscheidend für die Produktivität der Kartoffelflocken. Die Mitarbeiter sind basierend auf den Versuchsergebnissen hinsichtlich neuer Umstellparameter und Fahrweise der Walzentrockner geschult. Der Hauptversuch erfolgt über zwei Schichten (16 Produktionsstunden). Während des Hauptversuchs werden die Anlagenfahrer begleitet und die Produktionsparameter in Tabellen erfasst. Die Ergebnisse zeigen, dass die festgelegten Parameter und Fahrweise bei dem Versuch besser geeignet sind, um die Produktivität zu stabilisieren und zu optimieren. Die Stabilisierung der Wasserzugabe auf beiden Produktionslinien ergibt ein besseres Verhältnis von Kartoffelbrei auf den Walzentrocknern und eine höhere Banddicke des Kartoffelfilms. Dies führt hauptsächlich zu einer Stabilisierung der Produktivität der Produktionslinien und zur kontinuierlichen Erreichung der festgelegten Produktionsziele während des Versuchs.

Obwohl es auf der Produktionslinie 1 Effizienzprobleme (Minderleistung) gegenüber Produktionslinie 2 gibt, hat dieser Ansatz ermöglicht die Zielstufen 2 und 3 während des Versuchs zu erreichen. Weiterhin ist während des Versuchs auf Linie 2 die Zielstufe 1 dauerhaft erreicht worden.

7. Literaturverzeichnis

Adler,G.: Kartoffel und Kartoffelerzeugnisse.1 Auflage. Berlin : Paul Parey, 1971

Cording, J. et al : Method for control of texture of dehydrated potatoes. USA, 1956

Cording,J. et al : Drum drying of cooked mashed potatoes. USA,1956

Cohen,J.: Statistical power analysis for the behavioral sciences. USA,1988

Escher, F.: Textur, Rheologie und Struktur in der Lebensmitteltechnologie: Eine Fallstudie an getrockneten Kartoffelprodukten. 1. Auflage. Zürich, 1986

Goerecki.P: Lean Management, 2 Auflage. München 2011

Henkel,S. :. Studienarbeit: Instrumentelle und sensorische Konsistenzbestimmung von Kartoffelpüree. Neubrandenburg,2008

Kluge,G. et al : Process for the preparation of potato puree in flake form and product thereof. Munich 1977

Miles, J. et al : Dehydration of cooked potato. USA, 1957

Speiser.W: Kartoffelmehl. Berlin,1911

Internetquellen

www.patent-de.com/20071018/DE60125772T2.html; Stand 22.06.2018

www.patents.google.com/patent/EP2142016A2/de ; Stand 18.07.2018

www.dingler.culture.hu-berlin.de/article/pj330/ar330034; Stand 19.07.2018

<https://statistik-forschungsmethoden/korrelationen/> ; Stand 01.10.2018

<http://www.pflanzenforschung.de/biosicherheit/basisinfo/261.chips-fritten-staerke-traditionellen-speisekartoffel.html>;Stand 17.7.2018

8.Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammensetzung der Kartoffelknolle bezogen auf die Frischsubstanz (Adler 1971)

Tabelle 2: Entwicklung des Pro-Kopf-Verzehrs von Speisekartoffeln und Veredelungszeugnisse in der Bundesrepublik Deutschland, zwischen 1954 und 1969

Tabelle 3: Ursachen Erkennung durch die „5 Why-Methode“

Tabelle 4: Erläuterung und Beschreibung der Prozessparameter im Walzentrocknerbereich

Tabelle 5: Erfassung der Prozessparameter auf der Produktionslinie 1

Tabelle 6: Erfassung der Prozessparameter auf der Produktionslinie 2

Tabelle 7: Vergleich der Produktivität zwischen Linie 1 und Linie 2

Tabelle 8: Datenerfassung der Prozessparameter auf der Produktionslinie 1

Tabelle 9: Messungen der Gewichte der Kartoffelflüsse im Blanchier-Bereich

Tabelle 10: Messungen der Zeitintervalle zwischen den Kartoffelfläßen im Blanchier-Bereich

Tabelle 11: Messungen der Vermahlungszeiten von Kartoffelflocken

Tabelle 12: Datenerfassung der täglichen Abfallmengen im Walzentrocknerbereich

Tabelle 13: Value Stream Mapping Symbole

Tabelle 14: Wasserdampfdruck der Linie 1 im Lauf des Versuchs

Tabelle 15: Datenerfassung der Prozessparameter der Linie 1 während des Versuchs

Tabelle 16: Wasserdampf Druck der Linie 2 während des Versuchs

Tabelle 17: Datenerfassung der Prozessparameter der Linie 2 während des Versuchs

Tabelle 18: Datenerfassung der Stundenleistungen Produktionslinien 1 und 2

Tabelle 19: Datenerfassung zur Messung der Banddichte Linie 1 und 2 während der Zeit

Tabelle 20: Übersicht Kartoffelstärken

Tabelle 21: Produktivität der Produkt EM im März

Tabelle 22: Übersicht der Zusammenhänge zwischen den untersuchten Prozessparametern der Produktionslinie 1

Tabelle 23: Übersicht der Zusammenhänge zwischen den untersuchten Prozessparametern der Produktionslinie 2

Tabelle 24: Datenerfassung der Prozessparameter auf die produktionslinie.1

Tabelle 25: Datenerfassung der Prozessparameter auf die produktionslinie.2

Tabelle 26: Datenerfassung der Prozessparameter auf die produktionslinie.1

Tabelle 27: Datenerfassung der Prozessparameter auf die produktionslinie.2

9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Längsschnitt eine Kartoffelknolle (Adler 1971, S. 21)

Abbildung 2: Elektronenmikroskopische Aufnahme von Zellverbänden mit Stärke-Körnern der Kartoffelknolle (Hartmut Kolbe, Einflussfaktoren auf Ertrag und Inhaltsstoffe der Kartoffel, Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie)

Abbildung 3: Schematische Darstellung der Stärkekörner, Lagerung der Amylose und Amylopektinstränge und der chemischen Struktur dieser Stärkekompenten der Kartoffel (Hartmut Kolbe, Einflussfaktoren auf Ertrag und Inhaltsstoffe der Kartoffel, Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie)

Abbildung 4: Prozess zur Herstellung von getrockneten Kartoffelflocken im Werk „Pfanni“

Abbildung 5: Zweiwalzentrockner (W. Speiser. 1984)

Abbildung 6: Einwalzentrockner (W. Speiser. 1913)

Abbildung 7: Längsschnitt ein Walzentrockner im Werk Pfanni 2018

Abbildung 8: Beispiel von eine Value Stream Mappe

Abbildung. 9: Schematische Darstellung eines Wertstroms

Abbildung. 10: Schematische Darstellung von der Durchlaufzeit

Abbildung 11: Schematische Darstellung von der PDCA Zyklus

Abbildung 12: Schematische Darstellung von der Ishikawa Diagramm allgemein

Abbildung 13: Streudiagramm

Abbildung 14: perfekter Zusammenhang

Abbildung 15: kein Zusammenhang

Abbildung 16 und 17: Grafische Darstellung der Anzahl an Produktionsstunden pro Produkt auf den Linien 1 und 2

Abbildung.18: Daten Erfassung von der Prozess Parameter auf die Produktionslinie.1

Abbildung 19: Zusammenhang zwischen der Leistung pro Stunde und der Banddicke auf der Linie1, Walzentrockner1

Abbildung 20: Wasserdampfverbrauch der Produktionslinie.1 während des Vorversuches

Abbildung 21: Wasserdampfverbrauch der Produktionslinie.1 während des Vorversuches

Abbildung 22: Produktivität der Produktionslinie.1 in die Kalenderwoche. 25

Abbildung 22: Produktivität der Produktionslinie.2 in die Kalenderwoche. 25

10.Anhang

Der Anhang wird auf ein CD beigelegt.

