

Einflussfaktoren und Ausrichtung von Produktionsstrukturen in der Prozessindustrie

Friemann Felix, Gram Markus, Schönsleben Paul, Biedermann Hubert

Abstract – Produktionssysteme der Prozessindustrie sind für das Produktionsmanagement eine Besonderheit und stellen den Methodeneinsatz zur Optimierung derselben vor große Herausforderungen. In diesem Beitrag werden die Charakteristika der Prozessindustrie, wie sie in der Literatur beschrieben sind, veranschaulicht. Anhand der Ergebnisse einer durchgeführten Studie wird gezeigt, wie sich die Ausprägungen der Produktionssysteme der Eisen- und Stahlindustrie und übrigen Metallindustrie verändert haben und welche Einflüsse auf diese wirken. Im Anschluss wird auf die Pharmaindustrie eingegangen. Dies vervollständigt die Untersuchung, da die Pharmaindustrie, obwohl auch zur Prozessindustrie gehörend, durch andere Charakteristika wie globale Supply Chains, hohe Warenwerte und strenge Regularien geprägt ist.

Der Artikel basiert auf Literaturrecherche und Untersuchungen, die im Rahmen von zwei Forschungsprojekten an der Montanuniversität Leoben und an der ETH Zürich durchgeführt wurden.

Index Terms — Einflussfaktoren, Produktionsnetzwerk, Prozessindustrie, pharmazeutische Industrie.

I. EINFÜHRUNG

Die Herstellung von Gütern erfordert heutzutage andere Produktionsstrukturen als jene, die in jüngster Vergangenheit ausreichend waren. Dies zeigt sich besonders bei Produktionssystemen in der Prozessindustrie, deren Strukturen durch unterschiedliche Einflüsse maßgeblich verändert worden sind. Dieser Anpassungsprozess ist nicht abgeschlossen und stellt das Produktionsmanagement laufend vor neue Herausforderungen.

Im Folgenden werden die Charakteristika von Produktionssystemen in der Prozessindustrie, wie sie in der Literatur beschrieben sind, erörtert und von anderen Herstellungsindustrien abgegrenzt. Mithilfe von empirisch erhobenen Daten werden die aktuell vorherrschenden Ausprägungen und Veränderungen bei den Studienteilnehmern der Eisen- und Stahlindustrie sowie der übrigen Metallindustrie erörtert. Des Weiteren wird auf die einwirkenden Einflüsse auf diese Produktionssysteme näher eingegangen.

Um das breite Spektrum unterschiedlicher Unternehmen der Prozessindustrie zu berücksichtigen wird zudem anhand der pharmazeutischen Industrie ein globales Produktionsnetzwerk untersucht und die unterschiedlich wirkenden Einflüsse beschrieben.

II. CHARAKTERISIERUNG DER PROZESSINDUSTRIE

Die Prozessindustrie stellt durch ihre besonderen Charakteristika eine Sonderform der Erzeugung von Gütern dar. Besonders für das Produktionsmanagement ist die Anwendung von Optimierungsmethoden, die in der Fertigungsindustrie eingesetzt werden, äußerst schwierig [1], [2]. Die folgenden Ausführungen und die Abgrenzungen zu anderen Industrien zeigen die Besonderheiten der Produktionsstrukturen der Prozessindustrie. Nach SCHÖNSLEBEN ist die Prozessindustrie wie folgt einzugrenzen: „Die Prozessindustrie (auch grundstoffverarbeitende Industrie genannt) umfasst die Hersteller, die mit einer sogenannten Prozessherstellung produzieren. Prozessherstellung ist eine Produktion, die die Wertschöpfung durch Mixen, Separieren, Umformen oder chemische Reaktion erzielt.“ [3, Seite 403]

Zudem geht SCHÖNSLEBEN auf Prozessor-orientierte Konzepte ein, die darauf ausgerichtet sind eine hochvolumige Linienproduktion (im Sinne von großen Auftragslosen) oder die

kontinuierliche Produktion mit teurer Produktionsinfrastruktur zu beherrschen, wobei insbesondere eine hohe Auslastung der Kapazitäten wichtig ist.

GRUNOW, GÜNTHER und YANG wie auch REKLAITIS zeigen die wesentlichen Unterschiede der Prozessindustrie zur stückgutorientierten Produktion. Die folgende Auflistung zeigt die Charakteristika der Prozessindustrie gemäß:

- „Vernetzte, teilweise zyklische Materialflüsse,
- Mehrstufige Produktion unter Einsatz variabel konfigurierbarer Mehrzweckanlagen (Vielstoffanlagen),
- Kuppelproduktion sowie Mischprozesse mit starren bzw. flexiblen Mengenverhältnissen,
- Lagerung von Zwischenprodukten in produktspezifischen Tanks, Silos o.ä. mit beschränktem Fassungsvermögen,
- Begrenzte Haltbarkeit von Zwischenprodukten sowie nicht-unterbrechbare Produktionsvorgänge,
- Sowohl kontinuierliche als auch chargenweise Produktion (Batchproduktion), die oftmals in Kampagnenfahrweise betrieben wird,
- Minimale bzw. maximale Batchgröße mit konstanten (d.h. von der Batchgröße unabhängigen) Laufzeiten,
- Reihenfolge- bzw. einsatzdauerabhängige Reinigungsprozesse“ [4], [5]

Tabelle 1 veranschaulicht nach FRANSOO und RUTTEN die Gegenüberstellung der Charakteristiken der Prozess- und Fließfertigung sowie der Chargen- und Kampagnenfertigung. Beide Fertigungsausprägungen sind der Prozessindustrie zuzuordnen.

Tabelle 1 Charakteristiken von Fertigungsarten in der Prozessindustrie [6]

Prozess-, Fließfertigung (Process/Flow)	Chargen- und Kampagnenfertigung (Batch/Mix)
Hohe Produktionsgeschwindigkeit und kurze Durchlauf- u. Durchsatzzeiten	Hohe Durchlaufzeit, Hohe Bestände
Kapazitätsrestriktionen, ein Ablauf für alle Produkte, keine Volumensflexibilität	Keine fixe Bestimmung der Kapazität (unterschiedliche Konfigurationen, komplexe Abläufe)
Geringe Produktkomplexität	Komplexere Produkte
Geringer Wertzuwachs	Hoher Wertzuwachs
Höhere Rüstzeiten	Geringe Rüstzeiten
Wenig Produktionsschritte	Große Anzahl an Produktionsschritten
Geringe Anzahl von Produkten	Hohe Anzahl an Produkten

VAHRENKAMP vergleicht die Prozessindustrie mit der mechanischen Fertigung. Die Durchführung von qualitätssichernden Maßnahmen, die Fertigungsdauer, die Unterbrechung des Fertigungsprozesses, die Produktfolge und die Anlagenkosten sind in der Prozessindustrie von dem eingesetzten Fertigungsprozess abhängig [7].

Die unterschiedlichen Branchen der Prozessindustrie werden von KRENN nach GÜNTHER in einem Portfolio eingeordnet. Diese sind die pharmazeutische Industrie, Reinigungsmittelindustrie, Kunststoffindustrie, Nahrungsmittelindustrie, Feuerfestindustrie, Stahlindustrie, Papierindustrie, Getränkeindustrie, Düngemittelindustrie und die Erdölindustrie. Abbildung 1 zeigt das Portfolio, in dem die Industriezweige nach Ausprägungen Aggregaten, Variantenzahl, Materialfluss und Auftragsvolumen (Größe der Auftragslose) eingeordnet wurden.

Paper was accepted on 03/12/2014 by Siegfried Vössner. The paper was revised once.
Felix Friemann arbeitet an der ETH Zürich und ist unter ffriemann@ethz.ch erreichbar.

SCHIEFER zeigt die Unterschiede zwischen der Fertigungsindustrie und der Prozessindustrie auf. In der Prozessindustrie kommen stoffumformende und stoffumwandelnde Herstellungsprozesse zur Gütererzeugung zum Einsatz. Die Stoffumwandlung erfolgt entweder physikalisch, chemisch oder biologisch. Anhand eines Fallbeispiels in der Stahlindustrie wird das Vorhandensein von kontinuierlichen und diskreten Herstellungsprozessen in einem Produktionssystem erörtert und auf den ungenauen Übergangspunkt zwischen Stoffumwandlung und Stoffumformung hingewiesen [26].

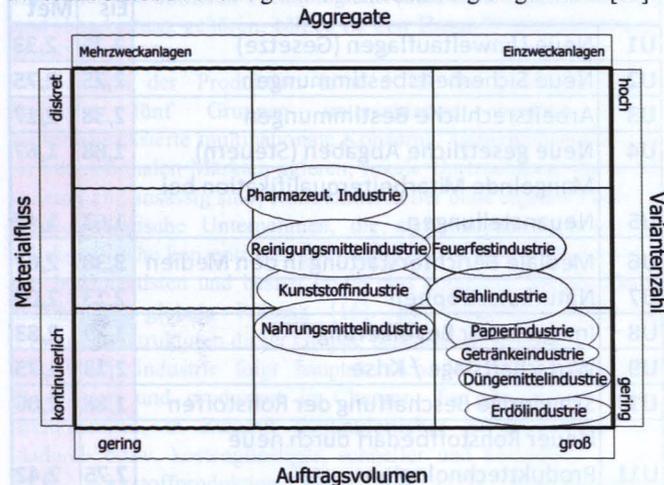


Abbildung 1 Klassifizierung der Branchen nach Prozesstypen [8], [9]

Die aus der Literatur gewonnenen Charakteristiken zeigen die Besonderheiten der Produktionssysteme der Prozessindustrie. Der folgende Abschnitt erörtert anhand von Ergebnissen einer Studie die aktuellen Ausprägungen der Produktionssysteme innerhalb der Eisen- und Stahl- sowie der restlichen Metallindustrie. Es werden zusätzlich Veränderungen gegenüber den gezeigten Charakteristiken angeführt. Auf die pharmazeutische Industrie, welche schon in Abbildung 1 einen Extrempunkt darstellt, wird vergleichend im darauf folgenden Kapitel eingegangen, um ein besseres Verständnis über die Unterschiede in der Prozessindustrie als Ganzes zu erhalten.

III. EINFLUSSFAKTOREN UND AUSRICHTUNG IN EISEN- UND ÜBRIGER METALLVERARBEITENDER INDUSTRIE

Im Rahmen der Studie sind die Strukturen von Produktionssystemen erhoben worden. Die Basis der durchgeführten Abfrage ist die generische Struktur eines Produktionssystems (Abbildung 2). Die möglichen Ausprägungen der einzelnen Elemente (Anlagen), Verbindungen (Materialfluss), organisatorischen Gegebenheiten, Markt und Kundenbeziehungen sowie einwirkende Einflussfaktoren des Produktionssystems wurden durch eine Fallstudie und aus Beschreibungen in der Literatur festgelegt [1].

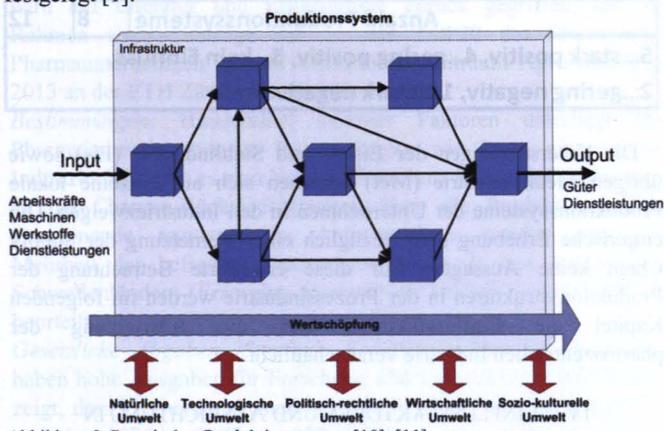


Abbildung 2 Generisches Produktionssystem [10], [11]

veröffentlicht worden (<http://produktion2013.co.nr/>). Die folgenden Darstellungen zeigen einen Ausschnitt der Ergebnisse der Umfrage. Hierbei werden vor allem die Ist-Situation und Veränderungen der Produktionssysteme gezeigt.

Die Resultate sind nach den Industriezweigen Eisen- und Stahlindustrie (Eis) und übrige Metallindustrie (Met) eingeteilt. Die in Abbildung 3 und Abbildung 4 dargestellten Portfolios zeigen die Ergebnisse der Studie zu den in Abbildung 1 veranschaulichten Ausprägungen. Abhängig vom Ausfüllungsgrad des Fragebogens sind Daten von 17 (Struktur), 22 (Engpass) und 20 (Einflüsse) Produktionssystemen analysiert worden. Aus den Portfolios wird die Strukturausprägung der einzelnen Produktionssysteme ersichtlich.

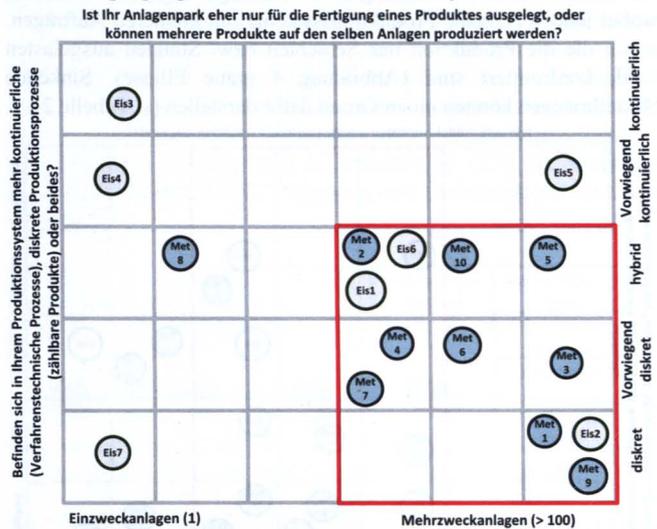


Abbildung 3 Portfolio Aggregate, Materialfluss

Die Unterscheidung von Einzweck- und Mehrzweckanlagen kann durch die Fähigkeit, mehrere Produkte zu fertigen, getroffen werden. Einzweckanlagen sind für die Produktion eines Produktes in großer Menge konzipiert. Eine Umstellung auf einen anderen Produkttypus ist mit einem hohen Aufwand verbunden. Bei Mehrzweckanlagen ist dieser Aufwand weniger hoch und abhängig von der Produktionsreihenfolge der Produkte [12].

Die Aggregate sind in den befragten Unternehmen überwiegend als Mehrzweckanlagen ausgeführt (rotes Quadrat). In der Literatur ist dieser Einsatz von Mehrzweckanlagen bereits beschrieben [4]. Jedoch wird in vielen Publikationen von einem vermehrten Einsatz von Einzweckanlagen ausgegangen ([8], [9] Abbildung 1). SCHÖNSLEBEN beschreibt, dass bspw. in der chemischen Produktion lange Zeit sogenannte Monoanlagen üblich waren, jedoch im Zuge des flexibleren Anpassens der Kapazitäten an die Belastungssituation und insbesondere zur Realisierung von Produktwechslern immer mehr Mehrzweckanlagen eingesetzt werden [3]. Dies spiegelt sich auch bei den befragten Unternehmen wieder. In Abbildung 3 ist auch erkennbar, dass in einigen Produktionssystemen der Eisen- und Stahlindustrie (Eis) weiterhin Einzweckanlagen eingesetzt werden.

Der Materialfluss der Prozessindustrie wird in der Literatur sehr unterschiedlich eingeordnet. Beide Ausprägungen (diskret, kontinuierlich) können bedingt durch den Herstellungsprozess auftreten ([3], [4]). Diese Einteilung wird durch die empirischen Daten bestätigt (Abbildung 3). Es zeigt sich, dass der Materialfluss innerhalb der Produktionssysteme häufig diskrete Anteile (Erzeugung von zählbaren Produkten) aufweist (rotes Quadrat). Diese Produktionssysteme werden hier als Hybride (kontinuierliche und diskontinuierliche Anteile) bezeichnet und stellen das Produktionsmanagement vor große Herausforderungen. Einerseits liegt die Priorität auf der Auslastung der starren Anlagen des kontinuierlichen Teils (verfahrenstechnischer Prozess) und andererseits wird eine Erhöhung der Flexibilität des diskreten Teils verlangt. Diese letztgenannte Veränderung wird durch die

Alle Ergebnisse der Studie sind in einem Forschungsbericht

steigenden Kundenwünsche (z.B. kleinere Lose, unregelmäßige Bestellungen, höhere Variantenzahl, u.a.) verstärkt.

Die Variantenanzahl der produzierten Produkte wird als mittel bzw. gering eingestuft (Abbildung 1). Aus Abbildung 4 schließen wir jedoch, dass die Variantenanzahl in den befragten Unternehmen als eher mittel bis groß bezeichnet werden kann (rotes Rechteck). Auch dies kann eine Antwort auf gestiegene Kundenanforderungen sein.

Das Auftragsvolumen in den Industriezweigen der Prozessindustrie ist, wie in Abbildung 1 ersichtlich, als mittel bis groß eingestuft. Dieser Sachverhalt findet sich in den Ergebnissen der Studie wieder (Auslastung durch Aufträge Tage und Wochen), wobei jedoch einzelne Produktionssysteme mit kleineren Aufträgen, durch die die Produktion nur Schichten bzw. Stunden ausgelastet wird, konfrontiert sind (Abbildung 4 graue Ellipse). Sinkende Bestellmengen können einen Grund dafür darstellen (s. Tabelle 2).

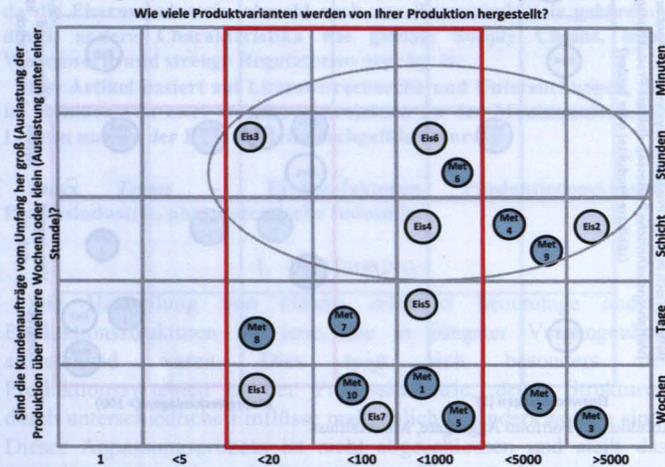


Abbildung 4 Portfolio Variantenanzahl, Auftragsvolumen

Eine weitere Schwierigkeit innerhalb der heutigen Produktionssysteme der untersuchten Unternehmen zeigt sich im Verhalten des Engpasses. Abbildung 5 veranschaulicht dies für die untersuchten Industriezweige. Es ist ersichtlich, dass in den meisten Produktionssystemen ein Engpass vorhanden ist. Besondere Herausforderungen für das Produktionsmanagement entstehen jedoch durch die wechselnden Engpässe, die durch das Produktspektrum und Kapazitätsschwankungen innerhalb des Systems auftreten [13].

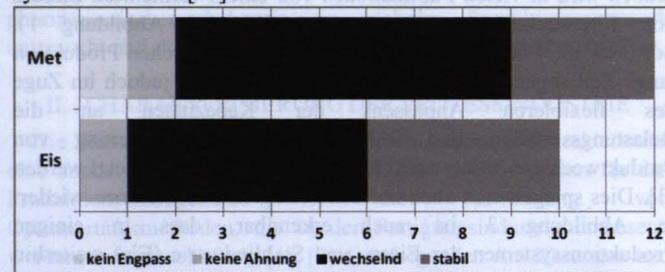


Abbildung 5 Verhalten des Engpasses in den Produktionssystemen

Neben den internen Charakteristiken sind auch extern wirkende Faktoren auf die Produktionssysteme erhoben worden.

Tabelle 2 zeigt eine Auflistung der Einflüsse, die sowohl soziale, politisch-rechtliche und wirtschaftliche Einflüsse (U) beinhaltet [11]. Des Weiteren sind Einflüsse der erzeugten Produkte (PR) auf das Produktionssystem angeführt. Die eingetragenen Werte zeigen die durchschnittliche Bewertung der einzelnen Faktoren der beiden Industriezweige. Die Beurteilung erfolgte nach der im unteren Teil der Tabelle angegebenen Skalierung.

Aus den Ergebnissen ist ersichtlich, dass neue gesetzliche Abgaben (Steuern), mangelnde Mitarbeiterqualifikation bei Neuanstellungen, sinkendes Preisniveau und die Konkurrenz aus Europa und Asien als

externe Einflussfaktoren stark negativ (1-2) auf die Produktionssysteme beider Industriezweige wirken. Auf Seiten der erzeugten Produkte wirken die schwankende Nachfrage und die sinkenden Bestellmengen stark negativ auf die Effizienz der Produktionssysteme. Die übrigen angegebenen Einflussfaktoren (Extern & Produkt) wirken weniger stark bzw. neutral auf die Produktionssysteme der beiden Industriezweige.

Tabelle 2 Einflüsse auf die Produktionssysteme

		Eis	Met
U1	Neue Umweltauflagen (Gesetze)	2,25	2,33
U2	Neue Sicherheitsbestimmungen	2,25	2,75
U3	Arbeitsrechtliche Bestimmungen	2,38	2,17
U4	Neue gesetzliche Abgaben (Steuern)	1,88	1,67
U5	Mangelnde Mitarbeiterqualifikation bei Neuanstellungen	1,63	1,42
U6	Mediale Berichterstattung in den Medien	3,38	2,67
U7	Naturkatastrophen	2,13	2,00
U8	Image in der Bevölkerung	3,75	2,83
U9	Wirtschaftslage / Krise	2,13	1,75
U10	Schwierige Beschaffung der Rohstoffen	1,88	2,00
U11	Neuer Rohstoffbedarf durch neue Produkttechnologien	2,75	2,42
U12	Energiepreise	2,38	2,00
U13	Rohstoffpreise	2,13	1,92
U14	Märkte Europa	2,00	2,75
U15	Märkte Asien	2,38	3,00
U16	Konkurrenzprodukte am Markt	2,00	2,00
U17	Sinkendes Preisniveau	1,50	1,75
U18	Konkurrenz Europa	1,38	1,58
U19	Konkurrenz Asien	1,75	1,75
U20	Absatz gesamt	1,88	2,67
PR1	Neue Produkte und Varianten	2,75	3,08
PR2	Kürzer werdende Produktlebenszyklen	2,25	3,08
PR3	Sonderanfertigungen	2,25	3,00
PR4	Aufwändigere Produkte (z.B. Produktionsschritte,...)	2,38	2,25
PR5	Kürzere Lieferzeiten	2,50	2,75
PR6	Schwankende Nachfrage	1,75	1,67
PR7	Breite Produktpalette	3,00	2,33
PR8	Sinkende Bestellmengen	1,38	1,67
PR9	Neue Serviceangebote	3,25	2,67
Anzahl Produktionssysteme		8	12
5...stark positiv, 4...gering positiv, 3...kein Einfluss, 2...gering negativ, 1...stark negativ			

Die Untersuchungen der Eisen- und Stahlindustrie (Eis) sowie übrigen Metallindustrie (Met) beziehen sich auf einzelne lokale Produktionssysteme der Unternehmen in den Industriezweigen. Die empirische Erhebung trifft bezüglich einer Vernetzung der Supply Chain keine Aussagen. Für diese erweiterte Betrachtung der Produktionsstrukturen in der Prozessindustrie werden im folgenden Kapitel die Einflussfaktoren und die Ausrichtung der pharmazeutischen Industrie veranschaulicht.

IV. EINFLUSSFAKTOREN UND AUSRICHTUNG IN PHARMAZEUTISCHER INDUSTRIE

In Kapitel II wurde darauf eingegangen, dass es innerhalb der

Prozessindustrie zu unterschiedlichen Ausprägungen kommen kann. Beispielsweise hängt die Struktur bereits grundlegend davon ab, ob ein Unternehmen in Fließ- oder Batchproduktion produziert (s. Tabelle 1). In diesem Kapitel sollen die Strukturen eines global verteilten Produktionssystems der Prozessindustrie beleuchtet werden. Als Untersuchungsobjekt wurde die pharmazeutische Industrie gewählt. Die pharmazeutische Industrie gehört zu den Spitzentechnologie-Sektoren (vgl. [14]). Spitzentechnologie und Industrien des mittleren Technologieniveaus, wozu Metallherzeugung und -bearbeitung gehören, zählen zu den Haupt-Wachstumstreibern der EU27 ([15]).

Hinsichtlich der Produktion können in der pharmazeutischen Industrie fünf Gruppen unterschieden werden: Große, forschungsbasierte multinationale Konzerne; Generikahersteller, die in internationalen Märkten agieren; lokale Unternehmen, die in nur einem Land ansässig sind; Kontraherhersteller ohne eigenes Portfolio; biotechnologische Unternehmen, die sich hauptsächlich auf die Wirkstoffsuche konzentrieren [16]. Die erste Gruppe ist ökonomisch am bedeutendsten und besitzt große und komplexe Supply Chains durch ihre globale Präsenz [16]. Im Folgenden sollen die Produktionsstrukturen dieser Gruppe beschrieben werden.

Die Pharmaindustrie folgt hauptsächlich der diskontinuierlichen Produktion und produziert in Chargen. Es gibt immer wieder Bemühungen, in Zukunft kontinuierlicher zu produzieren und dadurch bspw. kostengünstiger, schneller und kompakter zu sein (z.B. Wirkstoffproduktion Bayer AG [17]). Pharmazeutische Produkte können gegliedert werden in verschreibungspflichtige (Rx) und rezeptfreie (OTC) Produkte sowie in Biotechnologie oder konventionelle Produkte. In den Anlagen in der Pharmaindustrie können i.d.R. mehrere Produkte produziert werden. Jedoch kann es in der Wirkstoffproduktion durchaus vorkommen, dass über das gesamte Jahr derselbe Wirkstoff auf einer Produktionslinie produziert wird. Hier sorgen insbesondere auch die hohen Prozessanforderungen (Good Manufacturing Practices GMPs) für Flexibilitätseinschränkungen und lange Umrüstzeiten. Die ersten Stufen der Medikamentenherstellung sind chemisch, gefolgt von pharmazeutischen Stufen. Auf den chemischen Stufen gibt es i.d.R. eine divergierende Produktstruktur und eine konvergierende auf den pharmazeutischen Stufen [3]. Die Variantenanzahl in der pharmazeutischen Industrie hängt von der Produktionsstufe ab. Durchlaufzeiten waren in einer Untersuchung der ETH Zürich mit durchschnittlich 200 Tagen angegeben – hier werden in der Literatur auch Durchlaufzeiten von bis zu 1000 Tagen genannt [25]. Daher wird die Produktion (mindestens auf den ersten Stufen) i.d.R. vorhersagebasiert und nicht nach Kundenauftrag gesteuert, um eine kurze Lieferzeit zum Kunden und hohen Servicelevel zu ermöglichen.

Auch für die pharmazeutische Industrie soll im Folgenden auf eine Auswahl der extern wirkenden Faktoren eingegangen werden. Dabei wird auf Literatur und Erkenntnisse zurück gegriffen, die im Rahmen einer Umfrage mit 11 der TOP20 der forschenden Pharmaunternehmen (gemäß Umsatz) im Zeitraum April und Mai 2013 an der ETH Zürich durchgeführt wurde:

Bestimmungen: Hinsichtlich externer Faktoren unterliegt die Pharmaindustrie strengen Regularierungen wie kaum eine andere Industrie. Hier gibt es zum Verbraucherschutz strikte Anforderungen an die Chargen-Rückverfolgbarkeit über alle Produktionsstufen. Zunehmende regulatorische Anforderungen werden von der Mehrheit der befragten Unternehmen auch in den wachsenden Schwellenländern (Emerging Markets) als kritisch bis sehr kritisch beurteilt.

Gesetzliche Abgaben (Steuern): Forschende Pharmaunternehmen haben hohe Ausgaben für Forschung und Entwicklung. Eine Studie zeigt, dass Produktionskosten bei forschenden Pharmaunternehmen zwischen 1975 bis 2007 von 43% der Sales auf ca. 23% der Sales in den 2000ern gesunken sind, während Forschungs- und Entwicklungskosten von 5% auf 17% und Verkaufs-, allgemeine

und administrative Kosten von 32 auf 39 % gestiegen sind [18]. Aufgrund des eher geringen Anteils der Herstell- und Logistikkosten sind bei der Ausrichtung der pharmazeutischen Supply Chain auch Steuern und gesetzliche Anforderungen von hoher Bedeutung.

Image in der Bevölkerung: Bedenken hinsichtlich der Sicherheit und Wirksamkeit von Medikamenten haben zu einer Schädigung des Images in der Branche geführt, was eine vermehrte regulatorische Kontrolle zur Folge hatte (vgl. [19], [20], [21]). Das Image in der Bevölkerung ist allerdings je nach Pharmaunternehmen unterschiedlich. So zeigt eine Studie des Institutes für Demoskopie Allensbach, dass das Image der forschenden Pharmaunternehmen in Deutschland mit 56% ‚sehr gut‘ bis ‚eher gut‘ besser ist als jenes der Hersteller, die selbst keine neuen Medikamente entwickeln, wie bspw. Generikahersteller (34% ‚sehr gut‘ bis ‚eher gut‘) [22].

Was ergibt sich aus diesen Faktoren für die Produktionsstrukturen? Generell können die Produktionsstufen aufgeteilt werden nach Active Pharmaceutical Ingredient API (Wirkstoffproduktion), Formulierung und Verpackung (s. Abbildung 6, [23]). Im Anschluss findet die Distribution statt, vorgängig sind Forschung und klinische Studien.

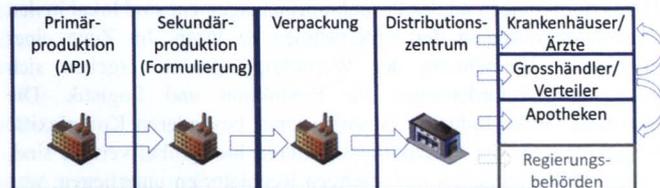


Abbildung 6: Pharmazeutische Supply Chain Struktur (Materialfluss) [24]

Die Produktionsstufen sind bei den großen, forschungsbasierten, multinationalen Konzernen global verteilt. Das heißt die Wirkstoffproduktion kann an einem Standort (bspw. in den USA) stattfinden, um den weltweiten Bedarf zu erfüllen. Von dort wird der Wirkstoff zur Formulierung an den nächsten Produktionsstandort (bspw. in der EU) verschickt, von wo aus er nach Fertigstellung an den Verpackungsstandort weiter versendet wird (bspw. wieder in den USA). Obwohl dies logistisch auf den ersten Blick nicht sinnvoll erscheint, ist es jedoch unter Berücksichtigung der vorher erläuterten Einflussfaktoren zu erklären: Logistikkosten machen nur einen geringen Prozentsatz des Verkaufspreises aus, regulatorische Anforderungen und Steueroptimierung sowie regionale Märkte gewinnen so an Bedeutung. Dies führt zu einer langen Durchlaufzeit und erhöhten Lagerbeständen. Der gesamte Herstellungsprozess ist relativ inflexibel, da er von den zuständigen Regulierungsbehörden abgenommen werden muss. Er kann im Anschluss nicht mehr ohne erneuten Aufwand vom Unternehmen geändert werden. Dies kann soweit reichen, dass selbst die Erweiterung eines Lagers am gleichen Produktionsstandort nicht genutzt werden kann, ohne dass dieses vorher von der Behörde abgenommen wurde. Auch politische Anforderungen können die Ausrichtung beeinflussen. So wurde von einigen Partnern erwähnt, dass z.B. in den Emerging Markets zum Teil lokale Produktion gefordert wird. In diesem Fall beginnen Unternehmen damit, die letzten Stufen (bspw. Verpackung) lokal auszuführen und sich je nach Anforderung immer weiter aufwärts der Supply Chain zu bewegen. Der Anteil der Wirkstoffproduktion, die bereits lokal in den Emerging Markets stattfindet, war bei den Umfrageteilnehmern von allen Supply Chain Stufen am geringsten.

Aufgrund der zukünftigen Entwicklungen bleibt es spannend zu beobachten, wie sich die beschriebenen globalen Produktionsstrukturen in der Pharmaindustrie in Zukunft an die neuen Herausforderungen anpassen werden. Insbesondere die Erhöhung der Variantenvielfalt, welche bereits für andere Industrien in Kapitel III beschrieben wurde, kann die Strukturen der Pharmaindustrie weiter beeinflussen. Hier ist insbesondere ein vielfach beschriebener Trend hin zu ‚personalized medicine‘ und weg von sogenannten Blockbuster-Medikamenten zu erwähnen, die

in weitaus größeren Mengen produziert werden könnten.

V. SCHLUSSFOLGERUNG

Im aktuellen Beitrag sind die Ergebnisse einer Untersuchung verschiedener Branchen der Prozessindustrie vorgestellt worden. Mit der Auswahl der Eisen- und übrigen metallverarbeitenden Industrie sowie pharmazeutischen Industrie soll die Vielseitigkeit dieser spannenden Industrie wiedergespiegelt werden.

Es wurde eine allgemeine Einführung in die Charakteristika und Einflussfaktoren auf Produktionssysteme der Prozessindustrie gegeben und insbesondere auf Unterschiede zwischen drei ausgewählten Branchen dieser Industrie eingegangen. Dabei wurde festgestellt, dass insgesamt eine höhere Variantenanzahl der Produktionssysteme von den meisten befragten Managern indiziert wird, was den vermehrten Einsatz von Mehrzweckanlagen erklären könnte, der aus den Umfragen hervorgeht. Der vermehrte Einsatz von Mehrzweckanlagen verursacht ein zusätzliches Optimierungspotential (Losgröße, Rüstkosten, Anlagenauslastung, u.a.). Das Optimierungspotential wird durch wechselnde Engpässe und hybride Fertigungsstrukturen zusätzlich erschwert. Diese Herausforderungen an das Produktionsmanagement sind lokal in den Produktionssystemen der Unternehmen zu lösen. Im Zuge einer erweiterten Betrachtung der Wertschöpfungskette ergeben sich zusätzliche Anforderungen für Produktion und Logistik. Die pharmazeutische Industrie ist dabei einer besonderen Komplexität ausgeliefert, da die Produktionsstrukturen hier global verteilt sind, langen Durchlaufzeiten und strengen Regulatorien unterliegen, was die Flexibilität einschränkt. Stärker werdende Emerging Markets mit großen Potenzialen im Absatzmarkt verlangen zunehmend von den Pharmaunternehmen, dass Produktion auch lokal stattfindet. Wenn gleichzeitig die Absatzmengen pro Produkt geringer werden (Stichwort ‚personalized medicine‘) heißt das, dass die Pharmaindustrie weiter daran arbeiten muss in kleiner werdenden Chargen kosteneffizient zu produzieren. Während in der Eisen- und restlichen metallverarbeitenden Industrie das Volumen der produzierten Güter relativ hoch ist, ist es in der Pharmaindustrie gering. Die Zusatzausgaben eines global verteilten Supply-Chain Setups können sich so also auf andere Weise rechtfertigen.

LITERATUR

[1] Gram M., "Wandlungsfähigkeit und Flexibilität in der Grundstoffindustrie Neue Einflüsse am Beginn der Wertschöpfungskette," in *TBI '11, 14. Tage des Betriebs- und Systemingenieurs*, 2011.

[2] Gram M., "Wertstromanalyse als Potentialanalyse in der Prozessindustrie," *WING-Business*, vol. 2, 2011.

[3] Schönsleben P., *Integrales Logistikmanagement: Operations und Supply Chain Management innerhalb des Unternehmens und unternehmensübergreifend*, 6th ed. Springer, 2011.

[4] Grunow M., Günther H.-O., Yang G., "Entwicklung eines interaktiven Scheduling-Support-Systems für verfahrenstechnische Prozesse," in *Supply Chain Management und Logistik*, Springer, 2005, pp. 439–459.

[5] Reklaitis G. V., "Overview of Scheduling and Planning of Batch Process Operations," in *Batch Processing Systems Engineering*, G. V. Reklaitis, A. K. Sunol, D. W. T. Rippin, and Ö. Hortaçsu, Eds. Springer Berlin Heidelberg, 1996, pp. 660–705.

[6] Fransoo J. C., Rutten W. G. M. M., "A Typology of Production Control Situations in Process Industries," *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 14, no. 12, pp. 47–57, Dec. 1994.

[7] Vahrenkamp R., *Produktionsmanagement*. Oldenbourg Verlag, 2008.

[8] Krenn B., Bewertung von Komplexität in Materialflusssystemen der Prozessindustrie am Beispiel der

Stahl- und Feuerfestindustrie, Dissertation, Montanuniversität Leoben, 2008.

[9] Günther H.-O., "Produktionsplanung in der Prozessindustrie," *Wirtschaftswissenschaftliches Stud.*, vol. 33, no. 6, pp. 326–331, 2004.

[10] Dyckhoff H., *Produktionstheorie: Grundzüge industrieller Produktionswirtschaft*. Springer DE, 2006.

[11] Günther H.-O., Tempelmeier H., *Produktion und Logistik*. Springer DE, 2011.

[12] Neuhaus U., *Reaktive Planung in der chemischen Industrie: Verfahren zur operativen Plananpassung für Mehrzweckanlagen*. Springer-Verlag, 2008.

[13] Klein A., Schnell H., *Controlling in der Produktion: Instrumente, Strategien und Best-Practices*. Haufe-Lexware, 2013.

[14] "Glossar:Klassifikation des verarbeitenden Gewerbes nach der Technologieintensität." [Online]. Available: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Glossary:High-tech_classification_of_manufacturing_industries/de.

[15] Jaegers T., Lipp-Lingua C., Amil D., "High-technology versus low-technology manufacturing - High-technology and medium-high technology industries main drivers of EU-27's industrial growth," 2013 [Online]. Available: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/High-technology_versus_low-technology_manufacturing.

[16] Sousa R. T., Liu S., Papageorgiou L. G., Shah N., "Global supply chain planning for pharmaceuticals," *Chem. Eng. Res. Des.*, vol. 89, no. 11, pp. 2396–2409, Nov. 2011.

[17] Bayer AG, "Schneller zum Wirkstoff," *research - Bayer AG*, pp. 72–77, Jan-2011.

[18] Weiss D., Naik P., and Weiss R., "The 'big pharma' dilemma: develop new drugs or promote existing ones?," *Nat. Rev. Drug Discov.*, vol. 8, no. 7, pp. 533–4, Jul. 2009.

[19] Paul S. M., Mytelka D. S., Dunwiddie C. T., Persinger C. C., Munos B. H., Lindborg S. R., Schacht A. L., "How to improve R&D productivity: the pharmaceutical industry's grand challenge," *Nat. Rev. Drug Discov.*, vol. 9, no. 3, pp. 203–14, Mar. 2010.

[20] Angell M., *The Truth About the Drug Companies: How They Deceive Us and What to Do About It*. Random House; 1 edition (August 24, 2004), 2004, p. 336.

[21] Chertkow J., "Trends in pharmaceutical portfolio management: strategies to maintain profitability despite adversity," *Datamonitor [online]*, 2008.

[22] Institut für Demoskopie Allensbach, "Das Image der forschenden Pharmaunternehmen in der Bevölkerung," 2010.

[23] S. Verhasselt, G. W. Festel, and P. Schönsleben, "Supply chain structures and processes in the pharmaceutical industry/Current models and trends in a changing environment," *Pharm. Ind.*, vol. 74, no. 1, pp. 164–170, 2012.

[24] Friemann F., Schönsleben P., "Leistungskennzahlen im pharmazeutischen SCM," *Industriemanagement 06/2014*.

[25] Küppers S., Kuhn S., Bauernfeind D., "Supply Chain Event Management in the Pharmaceutical Industry—Status and Outlook," *Supply Chain Event Manag.*, p. 23, 2008.

[26] Schiefer, E., Wertschöpfungsorientierte Produktionsplanung und -steuerung in der Prozessindustrie: Ein Konzept zur Optimierung von logistischen Zielgrößen, Dissertation, Montanuniversität Leoben, 2009.



Dipl.-Logist. Felix Friemann, MSIE (USA), arbeitet seit November 2011 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Betriebswissenschaftlichen Zentrum (BWI) der ETH Zürich im Bereich Logistik-, Operations and Supply-Chain Management. Er studierte Diplom-Logistik an der Technischen Universität (TU) Dortmund und Industrial Engineering am Georgia Institute of Technology (GaTech) in Atlanta mit den Schwerpunkten Supply-Chain Management und Optimierungsmethoden/Simulation. Am BWI beschäftigt sich Herr Friemann schwerpunktmässig mit der Kapazitätsplanung in der Pharmaindustrie.



Dr. mont. Dipl.-Ing. Markus Gram ist seit Mai 2010 als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Schwerpunktbereich Anlagen- und Produktionsmanagement am Lehrstuhl für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften der Montanuniversität Leoben beschäftigt. Nach Abschluss der HTL für Elektrotechnik mit dem Schwerpunkt Energietechnik und Leistungselektronik in St. Pölten studierte er Industrielogistik mit dem Schwerpunkt Logistikmanagement an der Montanuniversität Leoben. Während des Studiums konnte er bereits Erfahrungen durch Praktika bei der AUDI AG und

Daimler AG als auch durch Abschlussarbeiten bei KNAPP AG und REHAU AG+CO sammeln. Seine Dissertation hat das Thema Systemische Erhöhung der Ressourceneffizienz von komplexen Produktionssystemen in der Prozessindustrie. Von April bis August 2014 war Herr Gram als guest researcher am BWI Betriebswissenschaftliches Zentrum im Bereich Logistik-, Operations und Supply Chain Management an der ETH Zürich tätig. Im Rahmen dieses Forschungsaufenthalts entstand diese Publikation.



Prof. Dr. Paul Schönsleben ist Professor für Betriebswissenschaften an der ETH Zürich. Er leitet das BWI der ETH Zürich. Seine Forschungs- und Lehrgebiete umfassen das Logistik-, Operations und Supply Chain Management bis hin zum Globalen Servicemanagement und zur Service-Innovation. Zu diesen Gebieten kommen das Informationsmanagement, sowie TQM und Prozessmanagement. Er ist Mitglied von mehreren Verwaltungs-, Stiftungs- und Beiräten. Prof. Schönsleben schrieb mehrere Bücher sowie zahlreiche wissenschaftliche und populärwissenschaftliche Artikel. Das wichtigste Buch, „Integriertes Logistikmanagement – Operations und Supply

Chain Management innerhalb des Unternehmens und unternehmensübergreifend“, wurde in Deutsch durch Springer, Berlin, 1998 veröffentlicht (6. Auflage 2011), und in Englisch im Jahr 2000 durch CRC / Taylor & Francis Group / Auerbach, (4. Auflage 2011).



o. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Hubert Biedermann, Jahrgang 1953, studierte an der Montanuniversität Leoben Metallurgie, Schwerpunkt Betriebs- und Energiewirtschaft. Anschließend war er bis 1990 Assistent am Institut für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften, bevor er drei Jahre als Leiter des kaufmännischen Bereiches eines Unternehmens der Nichteisenmetallbranche tätig war. 1993 bis 1995 Gastprofessur an der Universität Innsbruck und Lehrbeauftragter an der TU Wien. Seit 1995 ist H. Biedermann Professor für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften und Leiter des Departments

Wirtschafts- und Betriebswissenschaften der Montanuniversität Leoben mit den Forschungsschwerpunkten Anlagenwirtschaft, Produktionswirtschaft, Qualitäts- und Risikomanagement. Von 1996 bis 2000 und 2003 bis 2011 hatte er die Funktion des Vizerektors für Finanzen und Controlling an der Montanuniversität inne.