

Modellierung und Simulation von Getränkeabfüll- und Verpackungsanlagen unter Berücksichtigung von Energie- und Medienverbräuchen

Modelling and Simulation of Filling and Packaging Lines under Consideration of Energy and Media Consumption

Theo Forster, Krones AG, Neutraubling (Germany), theo.forster@krones.com

Abstract: This article presents a discrete event simulation approach, to model filling and packaging lines with their quasi-continuous material flow realistically. The benefit of the solution lies on the one hand in the fast and flexible simulation framework, which can be also used by non-simulation experts on basis of an easy to use software frontend and pre-configured models of well-known line structures. On the other hand detailed modelling of control philosophies with the integration of real operating data is also possible and allows in depth analysis and optimization. Based on this, requirements and a modelling approach for energy and media consumption in material-flow simulation models will be presented. First results show a good approximation to real world behaviour. Industry related use cases show the potential applications.

1 Einleitung

Wirtschaftliche Anforderungen, sowohl von Hersteller- als auch von Betreiberseite, machen es erforderlich, Abfüll- und Verpackungsanlagen für die Getränkeindustrie, vergleichbar zu vielen anderen Produktionsanlagen, möglichst schlank und trotzdem hinreichend leistungsfähig zu gestalten. In diesem, von Produktion und Logistik geprägten Umfeld, stand bisher mehrheitlich die Bewertung leistungstechnischer Kenngrößen (z. B. Wirkungsgrad, Durchsatz und Puffergröße) während der Auslegung einer Anlage im Vordergrund.

Ohne die bisherigen Ziele zu vernachlässigen, stellen sich in Zukunft vermehrt die Fragen nach der Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit einer solchen Produktionsanlage. Das heißt, das Verhältnis zwischen eingesetzten Ressourcen wie Strom, Wasser oder Betriebsstoffe und dem erzielbaren produktionstechnischen sowie wirtschaftlichen Nutzen, rückt in den Blickpunkt. Gründe hierfür sind besonders bei den steigenden Energiepreisen und folglich auch bei den zukünftigen Betriebskosten zu sehen. Die möglichst exakte Bestimmung von Energie- und Medienverbräuchen,

unter dem Aspekt der zeitlichen und zustandsbasierten Dynamik, stellt in der Auslegungsphase eine weitere wichtige Planungsgröße dar und ist Grundlage für den späteren ressourceneffizienten Betrieb. Aufbauend auf diesen Betrachtungen ergeben sich mehrere Anforderungen. Zum einen muss eine praxisnah nutzbare Datenbasis hinsichtlich realer Verbrauchswerte der Maschinen gebildet werden. Zum anderen müssen geeignete Simulationsmodelle erweitert oder neu entwickelt werden, um neben der klassischen Nutzung auch die Modellierung und Analyse von Energie- und Medienverbräuchen zu ermöglichen.

2 Stand der Technik

Der Einsatz der Simulation als Hilfsmittel für die Planung und Analyse sowie Optimierung von Systemen im Bereich der Produktion und Logistik hat sich seit langem bewährt und durchgesetzt (Banks et al. 2010). In Anlehnung an Eley (2012) kann an dieser Stelle festgehalten werden, dass der Einsatz der Simulation für die Planung und Optimierung von produktionstechnischen und logistischen Systemen eine Vielzahl von Vorteilen bietet.

Auch im Bereich der Getränkeindustrie ist die Simulation mit dem Ziel der Planung und Optimierung von kompletten Abfüll- und Verpackungsanlagen seit über 15 Jahren etabliert. Recht umfassend beschreibt Rädler (1999) die Modellierung und Simulation von Abfüllanlagen sowie die Erhebung von Betriebsdaten. Auch die Arbeiten von Günthner und Kadachi (2001) sowie von Voigt (2004) sind in diesem Kontext angesiedelt und konzentrieren sich auf die Abbildung und Simulation von Getränkeabfüllanlagen sowie den Einsatz von informationstechnischen Methoden bei der Planung und Analyse. Aus Sicht der Hersteller von Abfüll- und Verpackungsanlagen sind, einhergehend mit dem Standardisierungsgedanken der digitalen Fabrik, die vollständig planungsbegleitende, schnelle Modellgenerierung und -parametrierung ebenfalls wichtige Aspekte (Bernhard und Kahe 2008).

Besonders Forschungs- und Anwendungsgebiete hinsichtlich der Ressourceneffizienz zeichnen sich in jüngerer Vergangenheit unter den Prämissen der sich ankündigenden Energiewende ab.

Aus Sicht der Abfüll- und Verpackungsanlagen sind vor allem Ansätze von Interesse, die ihren Schwerpunkt in der Betrachtung von Energie- und Medienverbräuchen haben und zugleich den Einfluss von Maschinenbetriebsverhalten untersuchen. Darauf aufbauend ist die programmtechnische Integration oder Kopplung in bestehende Simulationsmodelle, welche bisher primär den Materialfluss als Fokus hatten, von großer Bedeutung (Junge 2007).

Praxisrelevante Verwendung finden in erster Linie Ansätze, die sich oftmals auf spezifische Maschinentypen (z. B. Verpackungsmaschinen) konzentrieren (Schult 2011). Erste wissenschaftliche Ansätze für eine ganzheitliche Betrachtung einer kompletten Getränkeabfüllanlage zeichnen sich zwar ab, diese legen aber momentan den Fokus ihrer Betrachtung auf einzelne Verbrauchswerte, wie z. B. den Verbrauch von elektrischer Energie (Osterroth 2012).

3 Simulation von Abfüll- und Verpackungsanlagen

3.1 Anlagenstruktur

Abfüll- und Verpackungsanlagen können in Anlehnung an die DIN 8782 (1984) als „eine Gesamtheit der im Verbund zusammenwirkenden, einzelnen Aggregate zum Abfüllen von Getränken, einschließlich der vor- und nachgeschalteten Maschinen – in der Regel von der Eingabe des gepackten und gegebenenfalls palettierten Leergutes bis zur Abgabe des gepackten und gegebenenfalls palettierten Vollgutes“ definiert werden. Die typische Grundstruktur einer Anlage zum Verarbeiten von Einweg-PET Behältern (Abb. 1) beginnt mit der Streckblasmaschine, in welcher die Flaschen aus temperierten Vorformlingen, sogenannten Preforms in einem Streckblasprozess hergestellt werden. Anschließend werden diese im Füller bzw. Verschließer mit Produkt befüllt und verschlossen. Im nächsten Prozessschritt werden die Behälter an der Etikettiermaschine mit Etiketten ausgestattet. Die einzelnen Behälter werden anschließend in einer Verpackungsmaschine zu Gebinden verarbeitet, die beispielsweise aus einem Tray aus Karton mit einer darüber geschrumpften Folie bestehen können. Im abschließenden Verarbeitungsschritt werden Gebinde am Palletierer auf Paletten gestapelt und können dann entweder automatisiert über ein Materialflusssystem oder mit Hilfe eines Staplers in ein Lager verbracht oder direkt auf Lastwägen verladen werden. Dabei sind Abfüllanlagen geprägt durch teils sehr hohe Leistungen. Aktuell können diese bei Einweg-PET Anlagen bis zu 81.000 Fl./h betragen.

Die einzelnen Maschinen sind entweder direkt oder mit Transportsystemen miteinander verbunden, welche sowohl die Aufgabe des reinen Transports als auch der Pufferung bei Produktionsunterbrechungen erfüllen. Aus steuerungstechnischer Sicht bildet die sogenannte Leitmaschine (zumeist der Füller oder die Streckblasmaschine) das zentrale Aggregat in der Anlage. Die Leistung der vor- und nachgelagerten Maschinen sowie Bandgeschwindigkeiten der Transporteure werden über die Belegung der Transporteure mittels Sensoren und der Maschinenzustände gesteuert.

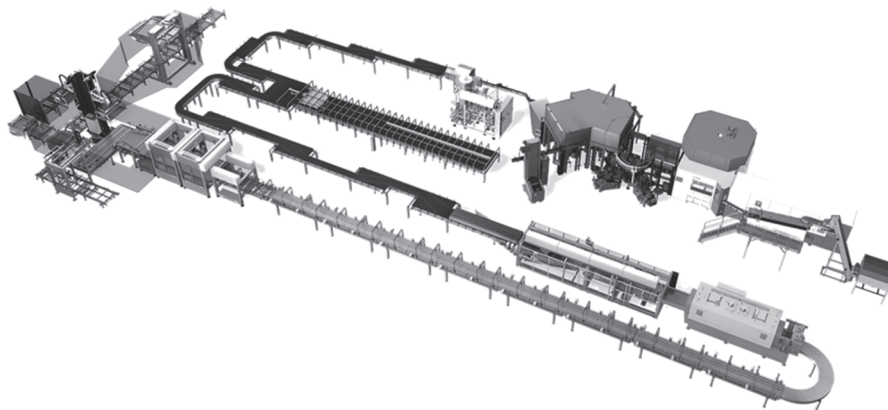


Abbildung 1: 3D-Darstellung einer Einweg-PET Abfüll- und Verpackungsanlage

3.2 Modellkonzept

Die sehr hohen Anlagenausbringungen als auch teils äußerst komplexe Anlagenstrukturen im Mehrwegbereich liefern bereits erste Hinweise darauf, dass neben den bekannten Grundsätzen der Modellierung (Altiok und Melamed 2007) erweiterte Anforderungen hinsichtlich der ereignisdiskreten Modellierung von Getränkeabfüllanlagen beachtet werden müssen. Die Anzahl an gleichzeitig bewegten Entitäten, z. B. Flaschen, Gebinde und Paletten würde in einem Modell leicht 100.000 und mehr betragen, was zu einer Reduktion der Rechenperformance führen würde.

Die Krones AG nutzt dazu, aufbauend auf den Standardbausteinen von *Plant Simulation*, eine eigens entwickelte branchenspezifische Simulationsbibliothek mit Animation (Abb. 2), welche diesen quasikontinuierlichen Materialfluss performant abbilden kann. Der Vorteil an dieser Simulationslösung liegt darin, dass der eigentlich diskrete Materialfluss als Stoffstrom abgebildet wird, das materialflusstechnische Verhalten aller Objekte z. B. auf den Transporteuren oder in den Maschinen, aber ereignisdiskret interpretiert wird.

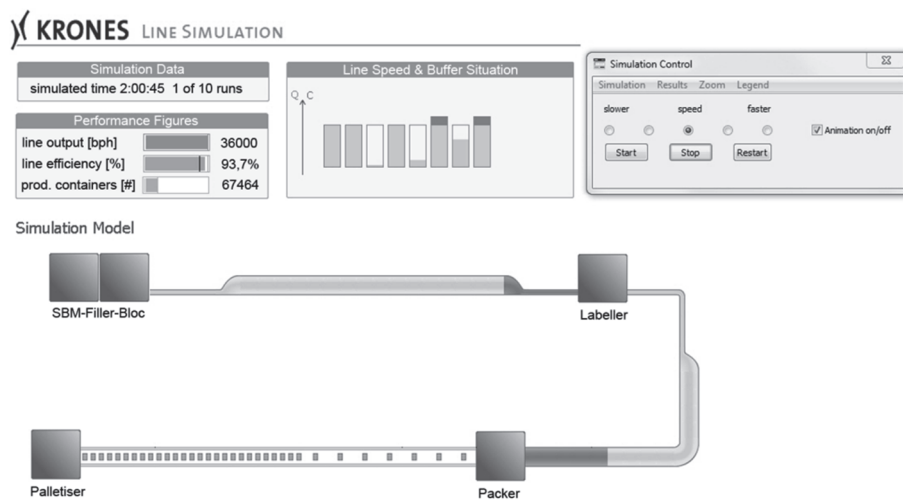


Abbildung 2: Simulationsmodell einer Einweg-PET Anlage mit Steuerungsdialog

Somit ist es realisierbar, den höchst möglichen Detaillierungsgrad (einzelne Behälter) aus materialflusstechnischer Sicht zu gewährleisten, ohne Performance Einschränkungen befürchten zu müssen. Ein weiterer Vorteil, der sich auf Basis dieses Modellierungskonzepts ergibt, ist, dass auch die in der Realität kontinuierlichen Stoffströme wie sie in Abfüllbetrieben bei prozesstechnischen Einheiten oder Tanks vorkommen modelliert werden können.

Die Vielzahl von branchentypischen Maschinen und Transportsystemen, mit ihren teils sehr unterschiedlichen Prozessverhalten, werden jeweils über spezialisierte Bausteine abgebildet, die einer validierten, bedarfsgerechten Detaillierung genügen. Aggregattypisches Betriebsverhalten, beispielsweise bei der Streckblasmaschine aufgrund der thermischen Prozesse, findet ebenso Berücksichtigung wie individuelles Ausfallverhalten der Aggregate auf Basis statistischer Verteilungen. Die Aufgaben,

die in der realen Anlage Stauschalter und Lichtschranken übernehmen, werden im Simulationsmodell über eigene Sensorbausteine abgebildet, um so, analog zur Wirklichkeit und angelehnt an reale Steuerungsmöglichkeiten durch die Speicherprogrammierbare Steuerung, einen harmonischen Betrieb ohne Stop-and-Go Verhalten auch im Modell umzusetzen.

3.3 Einsatzfelder

Die Anwendungsmöglichkeiten und Einsatzfelder der Krones Anlagensimulation orientieren sich am Lebenszyklus einer Getränkeabfüllanlage. In jeder einzelnen Phase zeigt sich, dass die digitale Absicherung der Planung mittels Simulation eine Schlüsseleigenschaft ist, um die Wettbewerbsfähigkeit der Betreiber einer solchen Anlage bestmöglich zu unterstützen.

3.3.1 Anwendungsfall 1 – Angebotsphase

Während der Neuplanung einer Einweg-PET Anlage für karbonisierte Softdrinks sowie stillem Wasser mit einer Leistung von 54.000 FL/h soll analysiert werden, welche der diskutierten Konzeptalternativen die gesetzten Zielstellungen am besten erfüllen. Gemäß den initialen Kundenspezifikationen sollte die Anlage mit relativ hohen Leistungsreserven vor allem im Verpackungsteil, sowie mit entsprechend dimensionierten Pufferstrecken zwischen den Maschinen, ausgelegt werden. Dem gegenüber stand eine Variante mit angepassten Leistungsreserven, die den Vorteil auf sich vereinte, eine kompaktere Anlagenaufstellung durch den Einsatz kleinerer Maschinen zu ermöglichen.

Die konkrete Fragestellung bei der planungsbegleitenden Simulationsstudie war: Ergeben sich im Variantenvergleich Leistungseinschränkungen bei der Anlage? Untersuchungsgrößen waren der Anlagenwirkungsgrad als zentrale Leistungskennzahl, sowie die Rückstauhäufigkeit in Richtung Leitmaschine (Streckblasmaschine) und die Pufferbelegung für unterschiedliche Störszenarien während der Produktion. Nach Konzeption und Implementierung zeigten die Simulationsergebnisse für genannte Untersuchungsgrößen, dass keine leistungsreduzierenden Auswirkungen innerhalb der gesetzten Rahmenbedingungen prognostiziert werden konnten und so das alternative Konzept umgesetzt wurde.

Angestoßen durch häufig ähnlich gelagerte Fragestellungen sowie vergleichbaren Anlagenstrukturen, ist das Ziel verfolgt worden, bekannte, wiederkehrende Strukturen systematisch in teils vorparametrierte Anlagenmodelle zu überführen. Auf diese Weise kann ein schneller Konzeptvergleich für eine Vielzahl an unterschiedlichen Anlagenvarianten realisiert werden, um den zeitlichen Anforderungen in der Angebotsphase zu genügen. Die Nutzbarkeit dieser Standardmodelle erhöht sich weiter und erschließt sich auch einem breiteren Kreis von Nicht-Simulationsexperten, da ein eigenes Software-Frontend auf VB.NET Basis entwickelt wurde. Dies lässt eine bedienerfreundliche, schnelle Parametrierung und Durchführung von Simulationsexperimenten zu.

In Anbetracht der erwartet vielfältigen Einsatzhäufigkeit, wurde neben der bereits dargestellten Vorgehensweise ein weiterer Lösungsweg identifiziert, der auf die teilautomatisierte Modellgenerierung abzielt. Aufgrund eines einheitlichen Prozesses ist es möglich eine SAP Transaktion zu nutzen, mit Hilfe derer alle simulationsrelevanten Maschinen- und Anlagendaten aus dem bestehenden SAP Angebot exportiert

und über einen Zwischenschritt in die modellinterne Datenstruktur übertragen werden. Mit Hilfe eines integrierten Software-Moduls im Anwendungs-Frontend können dann Modelle für Einweg- oder Mehrweg-Anlagen automatisch generiert und anschließend simulativ bewertet werden.

3.3.2 Anwendungsfall 2 – Betriebsphase

Ein zweiter Anwendungsfall orientiert sich an den Anforderungen bei einem Restrukturierungsprojekt für eine bestehende Anlage. Der Kunde, eine große Brauerei mit mehreren, teils miteinander verbundenen Anlagen plante an einem Standort eine Modernisierung einer der bestehenden Anlagen. Hauptaugenmerk lag auf dem Bereich nach dem Füller, wo aktuell drei Etikettiermaschinen mit jeweils einem Drittel der nominalen Anlagenausbringung die Behälter verarbeiten. Häufig auftretende Produktionsunterbrechungen, die sich auf den Anlagenwirkungsgrad auswirkten sowie die Forderung nach neuen Ausstattungsmöglichkeiten der Flasche, machten eine Neustrukturierung notwendig.

Als Lösungsansatz erster Wahl wurde eine neue Hochgeschwindigkeits-Etikettiermaschine für die Anlage geplant, welche die bestehenden drei ersetzen sollte. Dem gegenüber stand die Befürchtung, dass der Verlust der teilweise vorhandenen Redundanz nicht vollständig durch den deutlich höheren Maschinenwirkungsgrad einer einzelnen Maschine ausgeglichen werden kann.

Um eine belastbare Entscheidungsgrundlage zu schaffen, hat man sich dazu entschieden, den Ist-Stand der kompletten Anlage abzubilden. Dazu wurde ein sehr fein granulierter Modellansatz gewählt, der für alle Maschinen die individuellen Ist-Leistungskennzahlen berücksichtigt bzw. kundenspezifisch implementierte Steuerungsstrategien nicht außer Acht lässt. Anhand eines konzeptionellen Simulationsmodells wurde der Ist-Stand der Anlage abgebildet und in ersten Experimenten Simulationsergebnisse mit den Kennzahlen, welche im Betriebsdatenerfassungssystem ermittelt worden sind, verglichen. Während einer ersten Bewertung zeigte sich, dass es bei bestimmten Produktionsprogrammen zu möglichen Einschränkungen hinsichtlich des harmonischen Materialflusses kommen kann. Als Ursache hierfür konnte die noch bestehende Steuerungslogik in diesem Anlagenbereich identifiziert werden, die ein zu spätes Einsetzen der Leistungsregelung der neuen Maschine auslöste. Durch Optimierung der lokalen Anlagensteuerung und Anpassung der zuführenden Transportsysteme war es aber möglich darzustellen, dass auch unter schwankenden Produktionsrahmenbedingungen ein gleichbleibend hoher Anlagenwirkungsgrad realisiert werden kann.

4 Simulation von Energie- und Medienverbräuchen in Abfüll- und Verpackungsanlagen

Die bereits formulierten Anforderungen bezüglich Ressourceneffizienz in Produktionsanlagen sowie das gewachsene Bewusstsein für Nachhaltigkeit, auch im industriellen Sektor, weisen aus Sicht der Krones AG auf einen technologischen Beitrag hin, der es Betreibern einer Abfüllanlage ermöglicht, diesen Herausforderungen gewachsen zu sein. Ausgehend von diesen Prinzipien, hat Krones 2008 das vom unabhängigen Gutachter TÜV SÜD zertifizierte Programm *enviro* mit dem strategischen Ziel gestartet, einen Industriestandard für die Energie- und Medieneffizienz sowie Umweltverträglichkeit zu schaffen. Geleitet entsprechend

dieser Entwicklung und unter Einschätzung zukünftiger Einsatzgebiete, entstand die Idee, die bestehende Simulationslösung um eine energetische und medientechnische Sichtweise zu ergänzen. Zentraler Kern dieser neuen Aufgabenstellung ist der Entwurf und die Umsetzung einer Bibliothekserweiterung in einem Simulationsmodell zur Abbildung von Energie- und Medienverbräuchen in Abfüll- und Verpackungsanlagen. Der Nutzen dieser Entwicklung liegt in der Bewertungsmöglichkeit von Energie- und Medienverbräuchen unter zeitlich dynamischen Rahmenbedingungen.

Die Anforderungen an die Simulationslösung lassen sich wie folgt beschreiben:

- Abbildung aller wesentlichen Komponenten einer Abfüll- und Verpackungsanlage mit ihrem energetisch und medientechnisch prägenden Verhalten
- Skalierbarer Modellierungs- und Parametrierungsansatz unter Berücksichtigung von Datenverfügbarkeit und -granularität
- Erweiterbarer und modularer Modellaufbau in Hinblick auf das Anwendungsgebiet (Auslegungs- oder Betriebsphase, Analyse oder Optimierung)

4.1 Systemanalyse und Systemgrenzen

Anhand der Systemanalyse einer Einweg-PET Anlage sollen für diesen Beitrag die wichtigsten Komponenten sowie ihre inhaltlichen Abhängigkeiten dargestellt werden. Die Systemgrenzen bilden dabei die Streckblasmaschine sowie der Palettierbereich. Die planmäßige Beschreibung aller technisch in Betracht kommenden Verbräuche je Systemelement stand an erster Stelle. Zu den relevanten Größen zählen beispielsweise elektrische Energie, Druckluft, Wasser, Dampf, Säuren und Laugen sowie Gase wie etwa Stickstoff. Die weitere Analyse ergab, dass es aus Sicht von Energie- und Medienverbräuchen erforderlich ist, aufbauend auf den bekannten Materialflusszuständen, weitere Zustände sowie die dazugehörigen zeitabhängigen Zustandsübergänge zu bestimmen. Notwendig machte dies die Tatsache, dass Systemelemente bei gleichbleibendem Materialflusszustand unterschiedliche energetische Zustände einnehmen können. Auch beeinflusst die Abfolge der Materialflusszustände das energetische Zustandsverhalten.

So muss beispielsweise der Ofen der Streckblasmaschine nach längerem Stillstand wieder aufgeheizt werden. Der Bedarf an elektrischer Energie ist hier aber abhängig wie lange der Stillstand andauerte bzw. welcher Materialflusszustand (z. B. Wartend oder Produktion) zeitlich davor lag.

4.2 Datenerhebung und Aufbereitung

Die Datenbeschaffung und Aufbereitung ist ein maßgeblicher Bestandteil eines jeden Simulationsprojekts. Die für die Weiterentwicklung und den prototypischen Einsatz benötigten Verbrauchswerte von Maschinen und Prozesseinheiten waren zum Entwicklungszeitpunkt bereits in hinreichender Datenqualität vorhanden. Diese Informationsbasis entstand unter den Rahmenbedingungen des *enviro* Programms sowie weiterer Projekte, in welchen Energie- und Medienverbräuche im Produktionsbetrieb zustandsbasiert vermessen und nach Niveau und Verlauf analysiert wurden. Dank dieser Grundlagen, war eine Vergleichsbasis für den Verifikations- und Validierungsprozess geschaffen.

4.3 Modellkonzept

Das Modellkonzept, das auf Erkenntnissen aus Vorprojekten bzw. einer Abschlussarbeit von Feige (2012) basiert, folgt zwei wesentlichen Aspekten. Zum einen ist die Erweiterungsbibliothek vollständig in die bestehende Objektstruktur integriert worden. Dieser Ansatz stellt sicher, dass, angelehnt an das objektorientierte Modellkonzept, auf sämtliche gekapselte Funktion innerhalb der spezialisierten Bausteine strukturiert zugegriffen werden kann. So ist es möglich, jedes Element ob Maschine, Aggregat oder Transportsystem innerhalb der definierten Systemgrenzen abzubilden. Der zweite Aspekt behandelt die Abbildung der Energie- und Medienverbräuche in Verbindung mit den Materialflusszuständen. Zum Zeitpunkt der Entwicklung bestand keine Möglichkeit innerhalb von Plant Simulation auf bereits vorgegebene Strukturen für die Abbildung für Verbrauchswerte zurückzugreifen. Analog zur bestehenden Bibliothek ist deshalb wieder ein anwendungsspezifischer Ansatz verfolgt worden. Dieser ist möglichst abstrakt gestaltet und bietet einen eher generischen Ansatz, der es ermöglicht beliebige Stoffströme bzw. Stoffverbräuche unabhängig vom physikalischen Medium zu modellieren. Umgesetzt wurde dies mit Hilfe von Zustandsmodellen, welche mit der implementierten Steuerungsstruktur das Verbindungselement zwischen Materialfluss und Verbräuchen darstellen. Mit dieser Struktur können entweder sehr detailliert Verbräuche abgebildet werden, abhängig vom entsprechenden Zustandsverhalten oder es lässt sich mit Hilfe von mittleren Verbrauchswerten eine ausreichend flexible und schnelle Modellierung durchführen.

4.4 Verifikation und Validierung

Den bekannten Techniken sowie Vorgehensmodellen für Verifikation und Validierung (V&V) folgend (Rabe et al. 2008), wurde versucht, die V&V während des ganzen Simulationsprojekts entwicklungsbegleitend einzusetzen, um die jeweiligen Phasenergebnisse zu bewerten. In den frühen Phasen war z. B. das strukturierte Durchgehen eine praktikable Lösung, um Erkenntnisse über die Machbarkeit, Vollständigkeit und Konsistenz zu gewinnen. Nach den positiven Testergebnissen innerhalb der vereinbarten Standards und der gezogenen Systemgrenze, bildete der Vergleich mit aufgezeichneten Daten einen Schwerpunkt bei der V&V des ausführbaren Modellprototypen (Abb. 3).

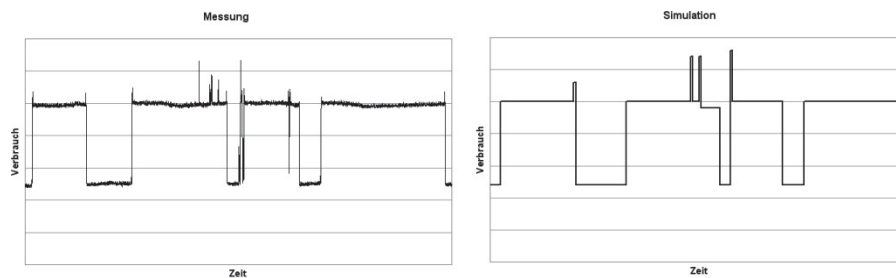


Abbildung 3: Gemessener und simulierter Verlauf des Verbrauchs von Druckluft einer Maschine in Abhängigkeit der Betriebszustände

In der Arbeit von Feige (2012) wurde dies exemplarisch anhand der Bedarfe von elektrischer Energie und Druckluft durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten, dass für das gewählte Untersuchungsobjekt die geforderte Genauigkeit und Plausibilität gegeben war und sowohl Verbrauchsniveau als auch spezifischer Verlauf aufgrund der Materialflusszustände eine gute Approximation zur Realität aufwiesen.

4.5 Anwendung

Für die Anwendung zeichnen sich zwei umfassende Einsatzgebiete mit jeweils eigenständigen Fragestellungen ab. Zum einen steht die erweiterte Analyse bezüglich Energie- und Medienverbräuchen während der Auslegungsphase im Blickpunkt. Hierbei kann mit Hilfe eines Simulationsmodells eine, ergänzend zur klassischen Berechnung, erweiterte Analyse bezüglich der Verbräuche bei Maschinen in der Anlage gemacht werden. Der Nutzen der Anwendung liegt, bezogen auf den zeitlichen Ablauf, in der feineren Betrachtungsweise. Zeitdynamische Effekte finden Berücksichtigung und es können so Gleichzeitigkeiten sowie Überlagerungen transparent gemacht werden können. Es zeigt sich aber, dass durch den Einsatz analytischer Methoden sowie durch das jahrelange Erfahrungswissen in diesem Gebiet bereits in hohem Maße eine adäquate Auslegung ohne Überdimensionierung der notwendigen Infrastruktur stattfindet.

Der zweite, vielschichtigere Anwendungsfall beschäftigt sich mit den Einflüssen der materialflusstechnisch geprägten Maschinen- und Anlagensteuerung auf die Energie- und Medienverbräuche. Unabhängig ob bei Neuplanung oder bestehender Anlage ist es möglich, für Teilbereiche oder für die gesamte Anlage die relevanten Steuerungsstrukturen unter dem Gesichtspunkt der Verbrauchsanalyse abzubilden. Dabei rückt neben der Analyse nun auch die Optimierung in den Blickpunkt. Unterschiedliche Steuerungsszenarien lassen sich anhand realer Vorbilder oder theoretischer Konzepte modellieren und testen, um so die wichtigsten Einflussgrößen zu identifizieren. Auf diese Weise können Betriebsszenarien in einer Anlage beschrieben werden, die einerseits zu einem harmonischen Produktionsverlauf und Materialfluss führen und andererseits verbesserte Bedingungen beim Energie- und Medienverbrauch hervorbringen, die zu einer Reduktion der Verbräuche führen. Der Nutzen liegt hier vor allem in der Möglichkeit transparent sich beeinflussende Leistungskennzahlen und ressourcenorientierte Kennzahlen gegenüberzustellen und so den optimalen Betriebspunkt zu identifizieren, bei dem ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Produktions- und Ressourceneffizienz hergestellt ist.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Mit der vorgestellten ereignisdiskreten Simulationslösung können Abfüll- und Verpackungsanlagen mit ihrem quasikontinuierlichen Materialfluss realitätsnah abgebildet werden. Der Nutzen der Simulationslösung liegt zum einen in der Möglichkeit äußerst schnell und flexibel bekannte Anlagenstrukturen mit Hilfe von Standardmodellen zu bewerten und einem erweiterten Kreis von Anwendern den Zugang zu ermöglichen, indem ein von der Simulation losgelöstes Software-Frontend zur Bedienung entwickelt wurde. Zum anderen ist die detailreiche Abbildung von Steuerungsphilosophien mit der Einbindung realer Betriebsdaten möglich, die eine weitreichende Betriebsanalyse und Optimierung neuer als auch bestehender Anlagen zulässt. Darauf aufbauend wird ausgehend von den Grundsätzen der

Ressourceneffizienz ein Lösungsansatz diskutiert, der es ermöglicht, Energie- und Medienverbräuche in materialflusstechnisch geprägten Simulationsmodellen abzubilden. Exemplarische Anwendungsfälle illustrieren auch hier die Einsatzmöglichkeiten. Zukünftige Aufgabenfelder sind aus Sicht der Simulation die Implementierung erweiterter Analyse- und Reportfunktionen sowie die Durchführung weiterer Simulationsexperimente für verschiedene Anlagentypen in unterschiedlichen Leistungsbereichen.

Literatur

- Altiok, T.; Melamed, B.: Simulation modeling and analysis with Arena. Amsterdam, Boston: Academic Press 2007.
- Banks, J.; Carson, J. S.; Nelson, B. L.; Nicol, D. M.: Discrete-event system simulation. Upper Saddle River, Singapore: Prentice Hall 2010.
- Bernhard, J.; Kahe, T.: Simulation und Modellmanagement in der Getränkeindustrie. In: Rabe, M. (Hrsg.): Advances in Simulation for Production and Logistics Applications. Stuttgart: Fraunhofer IRB 2008.
- DIN 8782. DIN - Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth 1984.
- Eley, M.: Simulation in der Logistik. Berlin, Heidelberg: Springer 2012.
- Feige, A.: Entwurf und Implementierung eines Prototypen zur Auswertung von Energie- und Medienverbräuchen in Abfüllanlagen innerhalb eines Materialflussmodells in Plant Simulation. Bachelorarbeit Hochschule Regensburg, Fakultät Maschinenbau, 2013.
- Franke, S.; Nophut, C.; Voigt, T.; Langowski, H. C.; Raab, F.; Ruß, W.; Petermeier, H.: Production Process simulation for schedule based energy optimization in the food industries. In: Cadavez, V.; Thiel, D. (Hrsg.): FOODSIM 2010. Braganca (Portugal), 24.-26. June 2010, S. 239.
- Günthner, W.A.; Kadachi, M.: Simulationsgestützte Planung und Nutzung von Getränke-Abfüllanlagen. Abschlussbericht zum AiF-Forschungsvorhaben 12265-N, Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss und Logistik, Technische Universität München, 2001.
- Junge, M.: Simulationsgestützte Entwicklung und Optimierung einer energieeffizienten Produktionssteuerung. Kassel: Kassel University Press 2007.
- Osterroth, I.: Zustandsbezogene Stromverbrauchsanalyse im Simulationsmodell. Flaschenkellerseminar 2012, Technische Universität München, 2012.
- Rabe, M.; Spieckermann, S.; Wenzel, S.: Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik. Berlin, Heidelberg: Springer 2008.
- Rädler, T.: Modellierung und Simulation von Abfülllinien. Düsseldorf: VDI 1999.
- Schult, A.: Newsletter AVV 2/2011. <http://www.avv.fraunhofer.de/newsletter/02-2011/AVV-Newsletter-02-2011.html#P2> 2011, Stand: 15.03.2013.
- Voigt, T.: Neue Methoden für den Einsatz der Informationstechnologie bei Getränkeabfüllanlagen. Düsseldorf: VDI 2004.
- Wenzel, S.; Weiß, M.; Collisi-Böhmer, S.; Pitsch, H.; Rose, O.: Qualitätskriterien für die Simulation in Produktion und Logistik. Berlin: Springer 2008.