

## ILP-Algorithmen in der Produktionsplanung

**Liefertermine einhalten, Durchlaufzeiten niedrig halten und Kosten minimieren: Wollen Unternehmen auf dem Markt bestehen, müssen sie flexibel und effizient produzieren. Mit einer guten Produktionsplanung stimmen die Unternehmen ihre Ressourcen optimal auf die Aufträge ab. Wie aber gelingt das? Je mehr Aufträge und je mehr operative Restriktionen, desto höher ist der Planungsaufwand. Nicht für ILP-Algorithmen. ILP steht für Integer Linear Programmierung. Sie rechnen innert kürzester Zeit Milliarden vielversprechender Produktionspläne durch und finden so den optimalsten Produktionsplan.**

Von der Fertigungsreihenfolge über die Maschinenauslastung, niedrigen Durchlaufzeiten und minimalen Rüstzeiten bis zu den Lagerkosten: Produktionsplaner stehen vor einer Vielzahl von Herausforderungen, um die Produktionsabläufe effizient zu gestalten. Sie lösen diese Aufgabe aufgrund der Vorgaben mit Sachverstand und Erfahrung. Allerdings gibt es für jede Planungsaufgabe verschiedene Lösungen. Zwar halten alle Planungslösungen die Liefertermine ein, sie führen aber zu unterschiedlich hohen Kosten. Gesucht ist jene Lösung mit den tiefsten Kosten.

### Der Blick über die Schulter eines Planers

Ein Beispiel: Der Planer sortiert die Liste von Aufträgen nach Auslieferterminen. Zu jedem Auftrag plant er eine oder mehrere Ressourcen auf der Zeitachse, dem Feinplanungszeitraum, ein. Dabei muss er bestimmte Regeln einhalten. Zum Beispiel muss die Maschine tatsächlich verfügbar und nicht gleichzeitig von zwei Aufträgen belegt sein. Und wird nur an Werktagen zweischichtig gearbeitet, darf der Planer Maschinen mit personeller Betreuung nur innerhalb der Arbeitszeit belegen. Automatisierte Anlagen wie beispielsweise Spritzgusspressen oder Sinteröfen dürfen hingegen unbetreut in der Nacht oder am Wochenende laufen. Um Umrüstkosten zu minimieren, nimmt der Planer Aufträge zusammen. Mit Blick auf diese Regeln versucht er, die Produktionskosten möglichst tief zu halten und gleichzeitig die Liefertermine einzuhalten.

### Ein Planer denkt in Algorithmen

Jeder neue Auftrag erhöht den Aufwand für die Produktionsplanung. Je zahlreicher die Aufträge sind, desto schwieriger und zeitintensiver ist es für den Planer, die optimale Lösung zu finden. Abhilfe schaffen ILP-Algorithmen. Indem sie in kürzester Zeit Milliarden vielversprechende Lösungen durchrechnen, liefern sie schnell den bestmöglichen Produktionsplan.

Und so funktioniert ein ILP-Algorithmus:

Ein ILP-Algorithmus ist wie eine (mathematische) Sprache, mit der auch sehr komplexe Zielkriterien und Restriktionen modelliert werden können.

Der Planer will die einzelnen Kostentreiber wie Lagerkosten, Umrüstkosten etc. möglichst geringhalten. Die Summe der Kostentreiber heißt Zielfunktion. Die Einhaltung der Regeln nennt man Nebenbedingungen.

In die Sprache der Algorithmen übersetzt, bedeutet das Lösen einer Produktionsplanungsaufgabe das Minimieren einer Zielfunktion unter Einhaltung von diversen Nebenbedingungen. Wobei die Zielfunktion nicht immer die Kosten sind. Zielfunktion und Nebenbedingungen lassen sich als mathematische Gleichungen und Ungleichungen hinschreiben.

Mit einem ILP Solver (= Software) können anschließend innert kürzester Zeit Milliarden vielversprechende Produktionspläne evaluiert werden. Dank intelligenter Algorithmen wird der Solver nun typisch in wenigen Sekunden oder Minuten den optimalen Produktionsplan ermitteln. Im Vergleich zum manuell erstellten Produktionsplan sind die Kosten tatsächlich minimal und die Nebenbedingungen werden alle eingehalten. Kurz: Ein Planer versucht nichts anderes, als eine Zielfunktion zu minimieren unter Einhaltung von Nebenbedingungen.

### ILP-Algorithmen liefert Lösung mit tieferer Maximallaufzeit

Folgendes Beispiel verdeutlicht den Nutzen von ILP-Algorithmen in der Produktionsplanung. Mit sechs Öfen (O1, O2, ..., O6) sollen 20 Aufträge (P1, P2, ..., P20) gesintert werden. Ein Auftrag besteht aus einer Anzahl aus Keramikpulver gepresster Körper, die in einem Ofen während mehreren Tagen auf 1000 Grad Celsius erhitzt werden (=sintern). Dabei verschmilzt das Pulver zu glasharter Keramik.

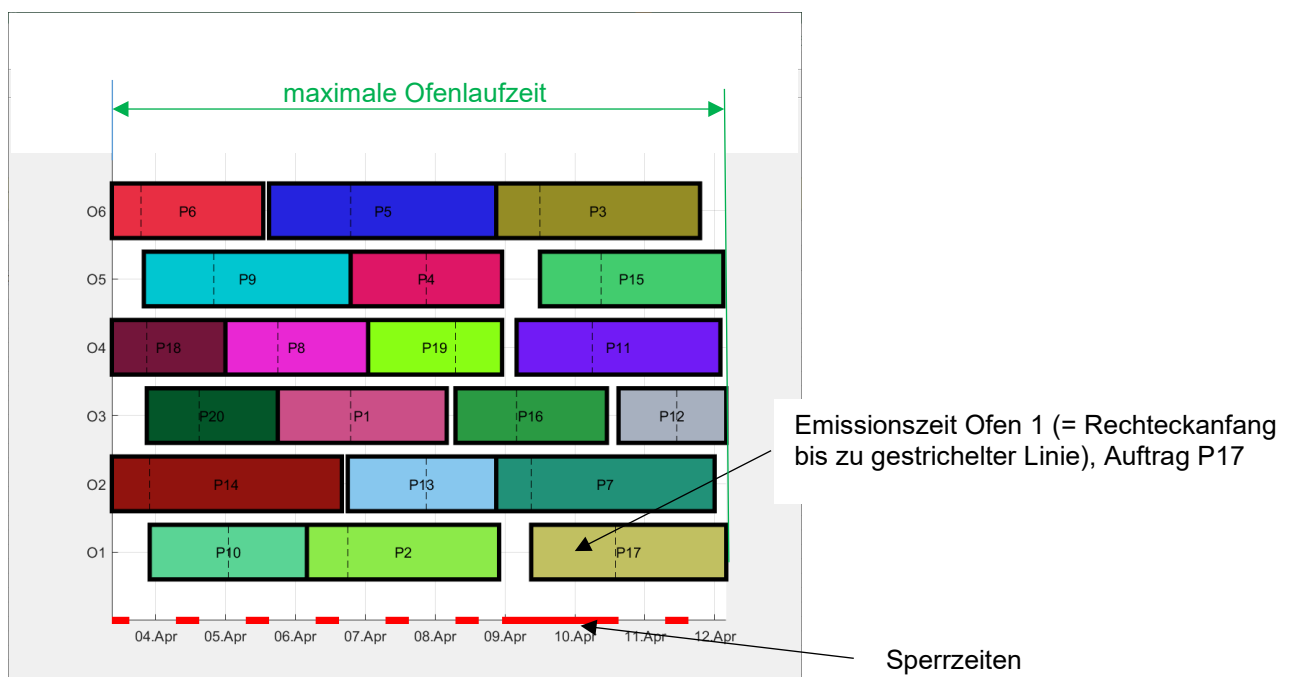


Abbildung 1: 3 mal 2 Ofenpaare (farbige Rechtecke: O1 & O2; O3 & O4; O5 & O6) mit Emissionszeiten

Jeder Auftrag hat eine gegebene, spezifische Sinterzeit (Rechtecklänge). Das Ziel ist, alle Aufträge in möglichst kurzer Zeit zu sintern (Zielfunktion). Genauer: Die maximale Ofenlaufzeit (entspricht der längsten Ofenlaufzeit) soll minimal werden. Beim Sinterprozess emittieren während einer

gewissen Zeit Gase (Rechteckanfang bis zu gestrichelter Linie). Immer zwei Öfen haben nur einen Gas-Abzug (O1 und O2, O3 und O4, O5 und O6). Eine Nebenbedingung ist, dass aus Umweltschutzgründen zwei Aufträge eines Ofenpaares nur nacheinander emittieren dürfen. Eine zweite Nebenbedingung ist das Einhalten von Sperrzeiten in der Nacht und an Wochenenden, in denen ein Ofen nicht mit dem nächsten Auftrag beschickt werden kann, da kein Personal verfügbar ist. So darf also innerhalb einer Sperrzeit kein Auftrag enden und der nächste starten.

## Ergebnis

Die Lösung des ILP-Algorithmus liefert eine maximale Ofenlaufzeit von 211 Stunden (Abbildung 1). Zum Vergleich: Eine manuelle Planung führt auf eine maximale Ofenlaufzeit von 238 Stunden – sie ist also um 11% länger.

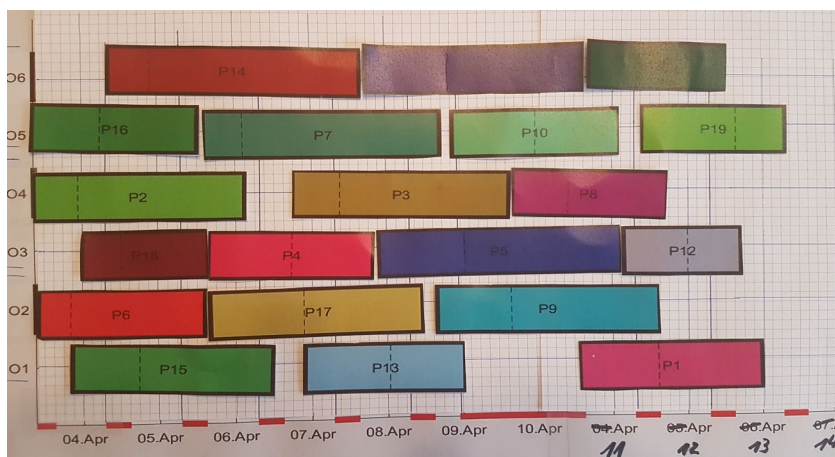


Abbildung 2: manuelle Planung der 3 Ofenpaare

## Fazit

ILP-Algorithmen rechnen nicht nur Milliarden viele mögliche Produktionspläne durch und finden so die bestmögliche Lösung. Sie sparen dem Planer zudem wertvolle Zeit, die er anderen Aufgaben widmen kann, bei denen seine Erfahrung unverzichtbar ist und die nicht durch Algorithmen gelöst werden können. Ein weiterer Vorteil der Methode der ILP-Algorithmen ist, dass sie sich auf eine Vielzahl von Planungsaufgaben anwenden lassen.

Weitere Informationen und Kontakt:

Dr. Dominic Saladin

Tel. +41 79 273 29 22

E-Mail: dominic.saladin@ost.ch

Institut für Modellbildung und Simulation, OST – Ostschweizer Fachhochschule, [www.ost.ch](http://www.ost.ch)

Rosenbergstrasse 59, 9001 St.Gallen | Switzerland