

Durchlaufzeit- und Bestandsregelungskonzept für die Fertigung unter Einsatz neuronaler Netze

Bernd Scholz-Reiter, Steffen Müller, Corina Köhler und Michael Freitag, Universität Bremen und FhG-ALI Cottbus

Prof. Dr.-Ing. Bernd Scholz-Reiter leitet das Fachgebiet Planung und Steuerung produktionstechnischer Systeme an der Universität Bremen und ist Herausgeber der Zeitschriften Industrie Management und PPS Management.

Dipl.-Ing. (FH) Steffen Müller arbeitet seit 1998 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer Anwendungszentrum für Logistiksystemplanung und Informationssysteme in Cottbus.

Corina Köhler arbeitet seit 1999 am Fraunhofer Anwendungszentrum für Logistiksystemplanung und Informationssysteme in Cottbus.

Dipl.-Ing. Michael Freitag arbeitet seit 2000 als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Bremen, Fachgebiet Planung und Steuerung produktionstechnischer Systeme.

Kleine und mittlere Fertigungsunternehmen erkennen sich zunehmend als Teil einer komplexen Wertschöpfungskette. Sie stehen dabei in einem engen Kontakt zu den vorhergehenden und nachfolgenden „Gliedern“ der Wertschöpfungskette. Dadurch treten

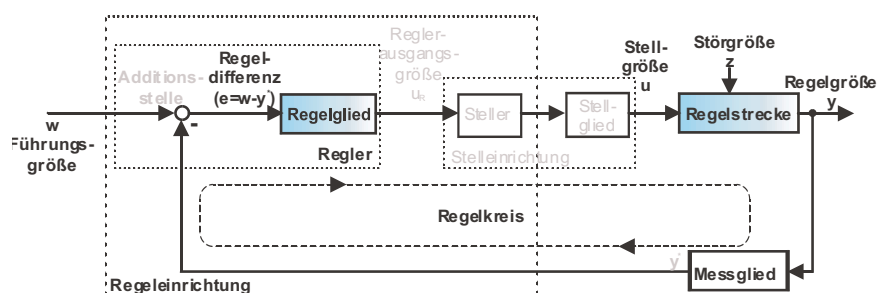
die fertigungslogistischen Kenngrößen Lieferbereitschaft und Termintreue in den Vordergrund. Die Einhaltung der Lieferbereitschaft wird unter Umständen zum Teil durch zusätzliche nicht immer ausgelastete Produktionskapazitäten erkaufte. Vorhersagen über die Einhaltung der Liefertermine sind nur möglich, wenn die Unternehmen die geplanten Durchlaufzeiten der Aufträge durch ihr Fertigungssystem einhalten können. In diesem Beitrag wird ein Regelkreiskonzept unter Einsatz künstlicher neuronaler Netze vorgestellt, welches primär die Durchlaufzeiten der Lose/Aufträge und sekundär die Bestände an den einzelnen Arbeitsplätzen regelt.

Das Regelkreisprinzip ist schon lange bekannt und in vielen Bereichen anzutreffen. Es gibt technische Regelsysteme

(chemische Reaktoren, Heizungen), wirtschaftliche Regelsysteme (Geldpolitik) und biologische Regelsysteme (Körpertemperatur). Alle Regelkreise arbeiten nach dem gleich Grundprinzip. Dieses ist in Bild 1 dargestellt. Die Aufgabe eines geschlossenen Regelkreises ist es, eine Ist-Größe (Regelgröße) mit einer vorgegebenen Soll-Größe (Führungsgröße) in Übereinstimmung zu bringen. Im Gegensatz zur Steuerung wird bei der Regelung die Regelgröße über ein Messglied zurückgekoppelt. Ein Regler wertet die Differenz zwischen der Führungsgröße und der Regelgröße aus. Er wirkt mit seiner Stellgröße so auf die Regelstrecke ein, dass die Differenz beseitigt wird. Als Regler können z. B. neuronale Netze fungieren.

Neuronale Netze sind mathematische Gleichungen – zum Teil den menschlichen Gehirnzellen nachemp-

Bild 1: Wirkungsprinzip der klassischen Regelung.



K o n t a k t

Fraunhofer Anwendungszentrum für Logistiksystemplanung und Informationssysteme
Universitätsplatz 3-4
03044 Cottbus
Tel: 0355/694580
Fax: 0355/694800
Steffen.Mueller@ali.fhg.de

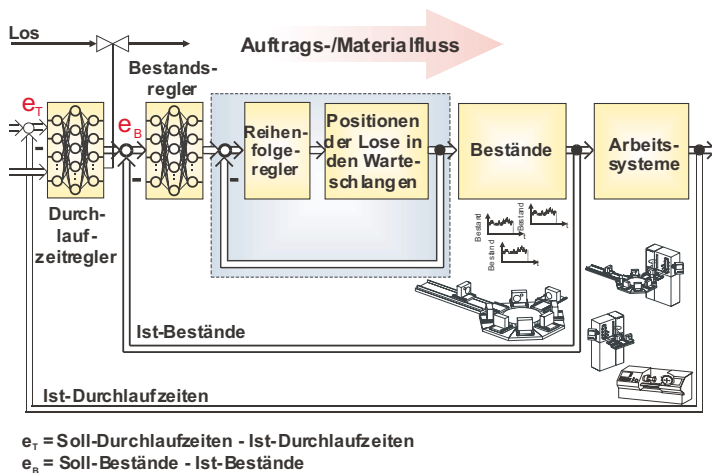


Bild 2: Kaskadierte Regelkreise.

funden – die aus vorgegebenen Eingangswerten, durch ihr gelerntes Verhalten, Ausgangswerte generieren. Als positive Eigenschaften neuronaler Netze sind ihre Anpassbarkeit, Generalisierungsfähigkeit und die Möglichkeit zur Abbildung von Nichtlinearitäten zu nennen. Ihr Verhalten bilden neuronale Netze während des Trainingszyklusses anhand der zugeführten Ein- und Ausgangsmuster aus.

Regelkreis – Fertigung

Betrachten wir ein Unternehmen, welches nach dem Prinzip der Werkstattfertigung produziert, unter regelungstechnischen Gesichtspunkten. Die Prozessgrößen Durchlaufzeit und Bestand sollen geregelt werden. Die „Regelstrecke“ ist das Fertigungssystem bestehend aus einzelnen Arbeitsplätzen. Zu jedem Arbeitsplatz gehört eine Warteschlange, in der die Aufträge/Lose mit den jeweiligen Rüst- und Bearbeitungszeiten liegen. Die vektoriellen Regelgrößen Bestände ergeben sich somit aus der Summe der Arbeitsinhalte der Lose in den Warteschlangen. Die vektoriellen Regelgrößen Durchlaufzeiten ergeben sich aus der Summe der Rüst- und Bearbeitungszeiten und den Arbeitsinhalten in den Warteschlangen der von den Aufträgen/Losen laut Arbeitsplan technologisch zu durchlaufenden Arbeitsplätze. Die Durchlaufzeit hängt somit direkt von den Beständen vor den Arbeitsplätzen ab. Die Bestände wiederum werden beeinflusst von der zeitlichen Einlastung der Lose, den Ka-

pazitäten der Arbeitsplätze und den technologischen Fertigungsabläufen (Engpässe). Bild 2 zeigt den entwickelten kaskadierten Regelkreis [1] [2]. Von kaskadierten Regelkreisen spricht man, wenn es gelingt die Regelstrecke in mehrere Teilsysteme zu unterteilen. Auf die Teilsysteme können dann unterlagerte Regelkreise wirken. Es ergeben sich drei Teilsysteme zur Beeinflussung der Regelgrößen Durchlaufzeit und Bestand.

- Das erste Teilsystem „Arbeitssystem“ beinhaltet den eigentlichen Arbeitsplatz bzw. die Bearbeitungsmaschine, die das jeweilige Los abarbeitet. Das abzuarbeitende Los und die Bestandshöhe sind die Eingangsgrößen. Die Ausgangsgröße ist die Ist-Durchlaufzeit des abgearbeiteten Auftrages.
 - Das zweite Teilsystem „Bestand vor dem Arbeitssystem“ ist die Anzahl der in der Warteschlange vor dem Arbeitssystem befindlichen Lose. Als Eingangsgröße gilt die Position und die Reihenfolge der Lose in der Warteschlange. Die Ausgangsgrößen sind das abzuarbeitende Los und die Bestandshöhe.
 - Das dritte Teilsystem der Regelstrecke ist der „Inhalt der Warteschlange“. Die Eingangsgröße ist der Auftrag, der am Arbeitssystem ankommt. Die Position und die Reihenfolge der Aufträge in der Warteschlange sind die Ausgangsgrößen.
- Durch die Abgrenzung in drei Teilsysteme sind zwei für das Regelungskonzept wichtige Prozessgrößen, Bestand vor

den Arbeitssystemen und die Ist-Durchlaufzeiten der Lose, verfügbar. Auf die drei Teilsysteme können drei Regelkreise einwirken. Der dominierende Regelkreis ist der äußere Regelkreis der Durchlaufzeitregelung. Ihm unterlagert ist der mittlere Regelkreis der Bestandsregelung. Der innere „Regelkreis“, der Einfluss auf die Position der Lose in der Warteschlange nimmt, wurde nicht implementiert sondern durch einen das Regelkonzept unterstützenden Sortieralgorithmus ersetzt. Dieser spezielle, als Multi Path – Largest Throughput Time Deviation at First bezeichnete Sortieralgorithmus unterstützt das kaskadierte Regelprinzip. Dieser Sortieralgorithmus ermittelt anhand der alternativen Arbeitspläne und der aktuellen Bestände vor den Arbeitssystemen den Weg der Lose durch das Fertigungssystem. Der mögliche, losbezogene Entscheidungsweg – mit der dazugehörigen Durchlaufzeit – der zur größten Soll-Durchlaufzeitabweichung führt, wird als erstes der Warteschlange entnommen.

Umsetzung Regelkonzept

Da neuronale Netze nur numerische Werte verarbeiten können, müssen einige Vorkehrungen getroffen werden, um den Fertigungsbereich für neuronale Netze zugänglich zu machen. Das reale Fabriklayout (Anordnung der Arbeitsplätze) wird unter Berücksichtigung der fertigungstechnologischen Gegebenheiten in eine Matrix überführt. Die Eingangs-/Einlastungs-Arbeitsplätze werden der ersten Spalte dieser Matrix zugeordnet. Die Abgangsarbeitssysteme der letzten Spalte. Die übrigen Arbeitsplätze sollten mit aufsteigender Spaltenzahl ungefähr der Auftrags-/Materialflußrichtung entsprechen. Anhand der Indexierung der Matrix ist es den neuronalen Netzen möglich, die einzelnen Arbeitsplätze anzusprechen. In Bild 3 ist beispielhaft die Überführung des realen Fabriklayouts (Bild 3a) in die informationstechnische Verknüpfung (Bild 3c), den neuronalen Netzen für die Durchlaufzeit- und Bestandsregelung, dargestellt. Mit Ausnahme der Ausgangsarbeitssysteme wird jedem Arbeitsplatz ein Bestandsregler zugeordnet. Die Bestandsregelung an den Ein-

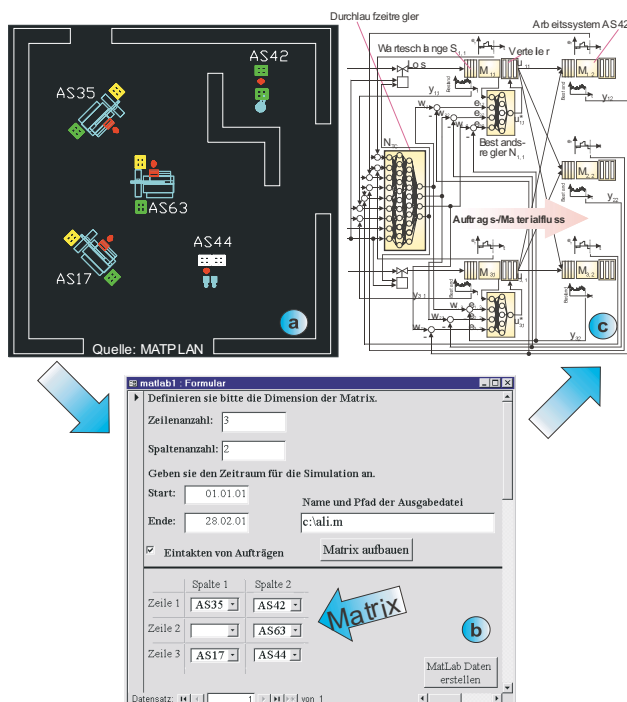


Bild 3: Transformation in eine Matrix.

gangsarbeitsystemen übernimmt das übergeordnete neuronale Netz der Durchlaufzeitregelung. Bild 3b zeigt eine Bildschirmkopie des datenbankgestützten Softwareprototypen an der die Zuordnung der Arbeitsplätze in die Matrix zu erkennen ist. Dieser Softwareprototyp unterstützt die automatische Generierung von Simulationsdaten und die automatische Generierung von

Lerndaten für das Training neuronaler Netze.

Architektur und Typen neuronaler Netze

Nach der Vorstellung der kaskadierten Regelkreise für den Fertigungsbereich soll jetzt auf den Aufbau der neuronalen Netze eingegangen werden. Die

Aufgabe der neuronalen Netze ist es, die Funktion als Regler zu übernehmen. Es ist allerdings auch vorstellbar, die Regler mit Hilfe anderer Verfahren wie z. B. der Fuzzy Logik zu realisieren.

Abhängig vom verwendeten neuronalen Netztyp (z. B. Radial Basis Function Network, Elman Recurrent Network usw.) muss man die Ein- und Ausgangsmuster aufbereiten. Für den praktischen Einsatz neuronaler Netze ist es notwendig, eine Eingangslogik vorzuschalten bzw. eine Auswertelogik nachzuschalten. Der beispielhafte Aufbau eines vorwärtsgerichteten neuronalen Netzes für die Durchlaufzeitregelung ist in Bild 4a und der für die Bestandsregelung ist in Bild 4b dargestellt. Die Lerndaten für die Bildung neuronaler Netze wurden aus den Arbeitsplänen (Rüstzeit, Bearbeitungszeit, alternativ nachfolgende Arbeitsysteme) und der Bewertung der Regeldifferenzen (Erfahrungswissen, Arbeitsplatz/Los abhängige Bewertung) gebildet.

Während der Arbeiten an diesem Konzept wurden verschiedene funktionsbildende Netze (Learning Vector Quantization Networks, Exact Radial Basis Function Network, vorwärtsgerichtete neuronale Netze gebildet mit dem Back-Propagation (BP) Algorithmus, Radial Basis Function Network, Elman Recurrent Network) und zwei funktionsoptimierende neuronale Netze (Kohonen-Feature-Map, diskrete Hopfield- Netze) auf ihre Eignung als Regler untersucht. Learning Vector Quantization Networks, vorwärtsgerichtete neuronale Netze (BP) und die Kohonen-Feature-Map waren für die Umsetzung als neuronale Bestandsregler gut geeignet. Als neuronaler Durchlaufzeitregler eigneten sich die Netztypen Learning Vector Quantization Network und der Netztyp vorwärtsgerichtetes neuronales Netz gebildet mit dem Back-Propagation Algorithmus.

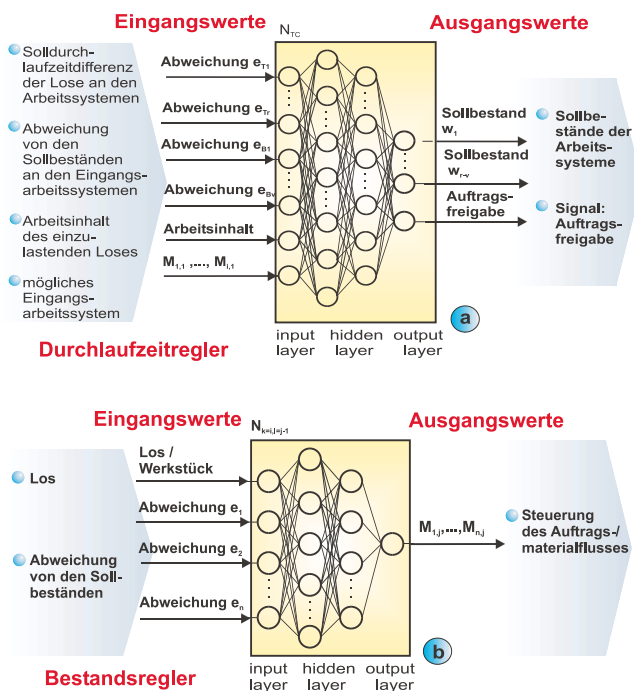


Bild 4: Architektur neuronaler Netze für die Durchlaufzeit- und Bestandsregelung.

Ergebnisse

Die Güte einer Regelung lässt sich an zweierlei Dingen messen. Zum einen an der Umsetzung der Zielgrößenänderung/Führungsgrößenänderung durch das Regelsystem und zum anderen an der Reaktion des Regelsystems auf ein-

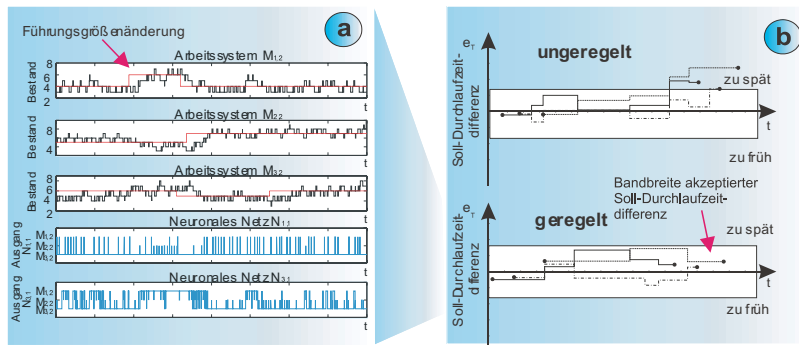


Bild 5: Kennlinien.

wirkende Störungen. In Bild 5a sind in den oberen drei Kennlinienverläufen die Führungsgrößenänderungen (Sollbestände) des Durchlaufzeitreglers, sowie die zeitversetzte Änderung der Regelgröße Bestand dargestellt. In den beiden unteren Kennlinienverläufen (Bild 5a) sind als Ausgangsgröße die Entscheidungen der zugeordneten neuronalen Bestandsregler (hier Learning Vector Quantization Network) dargestellt. In Bild 5b sind ein ungeregelter und ein geregelter Verlauf der Solldurchlaufzeitdifferenzen beispielhaft für drei Lose dargestellt. Ein negativer Wert auf der Solldurchlaufzeitdifferenz-Achse steht für die zu zeitige Fertigstellung der Lose und ein positiver Wert für die zu späte Fertigstellung. Ist der Kennlinienverlauf beim Verlassen des Loses aus dem letzten Arbeitssystem bei einem Wert nahe Null (Bereich der tolerierten Abweichung), so wurde der Fertigstellungstermin des Loses eingehalten.

Einordnung in die Produktionsplanung und -steuerung

Bleibt an dieser Stelle zu klären, wie das in diesem Beitrag vorgestellte Konzept in das Konzept der Produktionsplanung und -steuerung einzuordnen ist. Die Hauptaufgaben der Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme sind u. a. die Losgrößen-, die Termin- und die Kapazitätsplanung sowie die Auftragsfreigabe und Auftragsüberwachung [3]. Das vorgestellte Konzept der Durchlaufzeit- und Bestandsregelung kann als reaktive Feinplanungsmethode angesehen werden, wobei von Seiten des PPS-Systems die Grobplanung übernommen wird. Die Einlastung der Lose durch das neuronale Netz der Durchlaufzeitregelung erfolgt in Abhängigkeit vom aktuellen Zustand im Fertigungsbereich. Bild 6 zeigt schematisch die informationstechnische Einordnung in das PPS-Konzept.

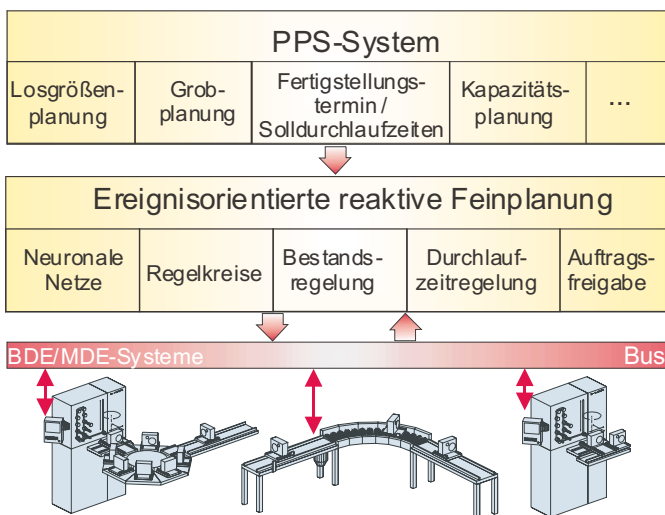


Bild 6: Reaktive Feinplanung.

Fazit

In diesem Beitrag wurde ein Fertigungsregelungskonzept vorgestellt, welches auf Basis eines regelungstheoretischen Ansatzes und mit Hilfe neuronaler Netze die Durchlaufzeit der Lose durch das Fertigungssystem und die Bestände an den Arbeitsplätzen regelt. Die Vorteile des aufgezeigten Ansatzes liegen in der Einführung eines selbstregulierenden Verfahrens in den Fertigungsbereich. Das Verfahren kann auf die unterschiedlichsten Störungen im Produktionsablauf reagieren. Jede Änderung im Produktionszustand wird sofort durch die neuronalen Netze bewertet und in dementsprechende Regelungsinformationen umgesetzt. Die Nachteile liegen in der vollständigen Erfassung aller fertigungsrelevanten Daten für die Aufbereitung der Eingangsdaten und in der zum Teil noch sehr langen Berechnungsdauer bei der Bildung neuronaler Netze.

Literatur

- [1] Scholz-Reiter, B., Müller, S., von Finckenstein, E.: Buffer Inventory Control in Production Systems with Neural Networks, CIRP GA, STC O, 1999.
- [2] Scholz-Reiter, B., Müller, S., Wiendahl, H.-P.: Throughput Time Control in Production Systems supported by Neural Networks, Annals of CIRP Vol. 49/1, 2000, pp. 331-334.
- [3] Corsten, H., Gössinger, R.: Dezentrale Produktionsplanungs- und -steuerungs-Systeme. Eine Einführung in zehn Lektionen, Stuttgart/Berlin/Köln, 1998.

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Projektes „Modellierung und Steuerung der Produktion mit Künstlichen Neuronalen Netze“, das am Lehrstuhl für Industrielle Informationstechnik an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus und im Fachgebiet Planung und Steuerung produktionstechnischer Systeme an der Universität Bremen umgesetzt wird. Dieses Projekt wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unter dem Kennzeichen Scho 540/4-2 gefördert.

Im PPS-Shop unter www.pps-management.de finden Sie unter dem Stichwort "Neuronale Netze" zwei weitere Beiträge zum Thema.