

Günther EGGER, Dr. Dipl.-Ing., Professor für Produktionsplanung und -Steuerung im Fachbereich Maschinenbau der Hochschule in Emden/BRD; Jahrgang 1940, Studium Eisenhüttenwesen, Promotion am Institut für Betriebswissenschaften der Montanuniversität in Leoben/Österreich. Umfangreiche Industrienerfahrung; u.a. als leitender Berater bei Fa. IBM - Deutschland und als Direktor für Information, Organisation und EDV im Steyr-Daimler-Puch Konzern in Wien. Seit 1989 Professor in Emden.

Engpaßanalyse und Durchlaufzeitoptimierung

Durch neue Wege der Feinplanung können bei funktional gegliederter Fertigung Engpässe und ihre Auswirkungen früher erkannt und die Durchlaufzeit von Werksaufträgen erheblich verkürzt werden. Hierzu wurde ein Fertigungsleitstand mit der zugehörigen Optimierungs-Software entwickelt.

Der Benutzer kann sich damit für jeden beliebigen Zeitpunkt der Zukunft die Engpässe und die Warteschlangen von allen Maschinen anzeigen lassen.

Verschiedene Einplanungsstrategien können in wenigen Minuten durchsimuliert werden. Die für den vorliegenden Auftragsbestand jeweils beste Strategie kann ermittelt werden.

1. Engpaßerkennung

In fast allen Unternehmen gibt es bekannte Engpässe, die oft über Monate für einen bestimmten Teil des Auftragsbestandes den möglichen Durchsatz begrenzen.

Neben diesen bekannten Langzeitengpässen, deren Beseitigung meist nur mit sehr hohem Investitionsaufwand möglich ist, gibt es in den meisten Unternehmen Engpässe, die für bestimmte Zeitspannen durchsatzbestimmend werden, d.h. diese Engpässe wechseln mit der Zeit, je nach Zusammensetzung des Auftragsbestandes.

Um den Gesamtdurchsatz des Betriebes pro Zeiteinheit zu maximieren und die Durchlaufzeiten der Werksaufträge zu minimieren, ist es wichtig, diese wechselnden Engpässe so früh wie möglich zu erkennen, um Maßnahmen zur Beseitigung dieser Engpässe einleiten zu können (z.B.: eine 2. Schicht, Überstunden, Personalumbesetzung, Auswärtsverlagerung von Aufträgen etc.).

Einen ersten Überblick hierzu erhält man, wenn als Ergebnis einer Grobplanung je Fertigungseinrichtung und

Woche der voraussichtliche Kapazitätsbedarf dem verfügbaren gegenübergestellt wird.

Im Bild Nr. 1 wird ein hierzu übliches Schaubild für einen Arbeitsplatz dargestellt.

Für eine detaillierte Engpaßanalyse reicht eine Gegenüberstellung wie sie Bild Nr. 1 zeigt, nicht aus. - Es könnte

z.B. der Fall sein, daß in der Woche 22/92 in den beiden ersten Tagen Unterbeschäftigung herrscht und ab dem 3. Tag ein Engpaß entsteht, der zu einer Warteschlange vor diesem Arbeitsplatz führt.

Durch eine genaue Abbildung des Arbeitsablaufes aller Werksaufträge in einer EDV-Anlage kann man die zeit-

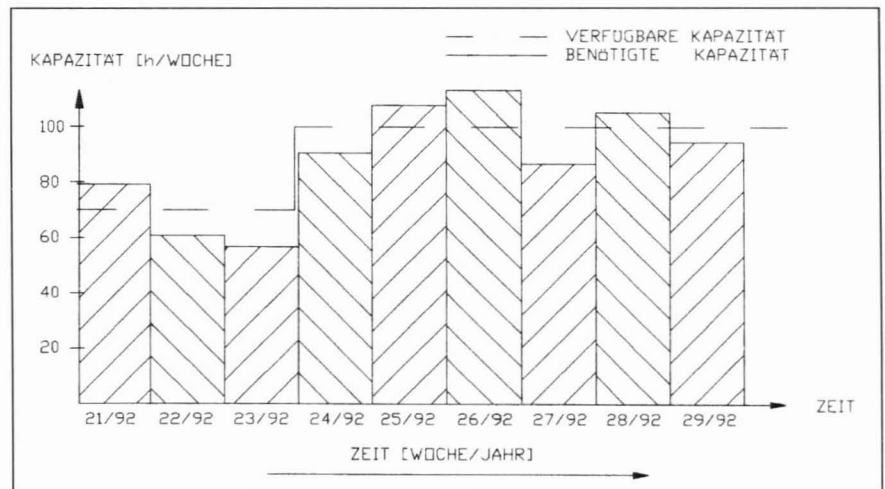


Abb. 1: Gegenüberstellung der verfügbaren und benötigten Kapazität eines Arbeitsplatzes als Funktion der Zeit

liche Entwicklung der Warteschlange vor jedem Arbeitsplatz ermitteln.

Engpässe erkennt man an den Warteschlangen vor den Maschinen. Je länger die Warteschlange, um so ernster ist die Situation.

Die Länge der Warteschlange vor jedem Arbeitsplatz ist die entscheidende Größe für die Durchlaufzeit von Werksaufträgen. Oberstes Ziel bei der Engpaßanalyse und Durchlaufterminierung ist, voraussichtlich auftretende Warteschlangen vor Maschinen so früh wie möglich zu erkennen und durch einzuleitende Maßnahmen zu verhindern.

Bild Nr. 2 zeigt den Verlauf der voraussichtlichen Warteschlangenlänge vor einer Maschine als Funktion der Zeit.

Als „Warteschlange“ (Dimension Stunden) wird hier die Summe der Rüstzeiten und Bearbeitungszeiten aller Aufträge, die zu einem bestimmten Zeitpunkt vor der Maschine liegen und auf Zuteilung warten, verstanden.

Eine Information, wie sie Bild Nr. 2 zeigt, wäre für die Beurteilung der zukünftigen Situation für alle Maschinen wünschenswert.

Die Durchlaufzeit eines Auftrages ist umso größer, je länger die Warteschlangen vor den einzelnen Maschinen sind.

Im Bild Nr. 3 ist der prinzipielle Zusammenhang zwischen Durchlaufzeit eines Werksauftrages, Anzahl der Ar-

beitsplätze, die der Werksauftrag durchlaufen muß, und durchschnittlicher Länge der Warteschlange je Arbeitsplatz dargestellt.

Dabei wurde davon ausgegangen, daß die Bearbeitungszeit im Verhältnis zur Wartezeit vor der Maschine vernachlässigbar klein ist. Ist dies nicht der Fall, so ist die Bearbeitungszeit zur angegebenen Durchlaufzeit zu addieren.

Wenn sich vor einem oder mehreren Arbeitsplätzen Warteschlangen gebildet haben, so muß man diese abbauen, um wieder zu vertretbaren Durchlaufzeiten zu kommen.

Ist ein Abbauen durch Erhöhung der Kapazität nicht möglich, so muß eine weitere Einplanung von Aufträgen solange gestoppt werden, bis die Warteschlangen vor den Arbeitsplätzen wieder auf ein vertretbares Maß gesunken sind.

2. Abbildung des Auftragsbestandes in der EDV-Anlage

Für die Speicherung der Werksaufträge und der zugehörigen Arbeitspläne wurde eine kleine relationale Datenbank aufgebaut. Jeder Werksauftrag enthält folgende Daten:

- Werksauftragsnummer
- Teilenummer
- Stückzahl
- Frühest-Start-Termin
- Spätest-End-Termin
- Sonstige Daten

In den Arbeitsplänen sind die einzelnen Arbeitsfolgen, die bei der Fertigung eines bestimmten Teiles abzuarbeiten sind, gespeichert. Je Teilenummer ist ein Arbeitsplan gespeichert. Jede Arbeitsfolge enthält folgende Daten:

- Arbeitsfolgennummer
- Bezeichnung der Arbeitsfolge
- Arbeitsplatz/Maschinennummer

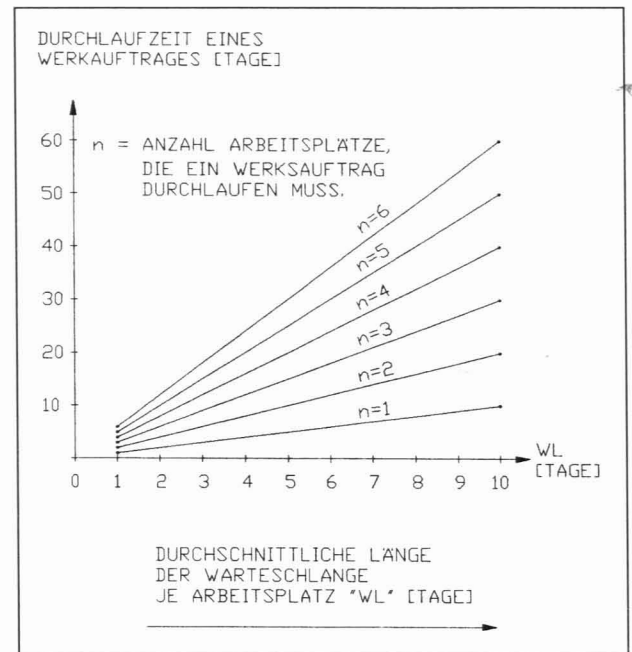


Abb. 3: Durchlaufzeit eines Werksauftrages

- Rüstzeit
- Bearbeitungszeit je Stück
- Kennzeichen für Überlappung
- Kennzeichen für Splittung
- Sonstige Daten

Im Bild Nr. 4 ist das Datenbankschema für die Datenbank des Fertigungsleitstandes dargestellt.

Der Werksauftragsbestand muß stets den aktuellen Stand widerspiegeln. Dies wird erreicht, indem fertige Arbeitsgänge eines Werksauftrages sofort durch Eingabe am Bildschirm rückgemeldet werden.

Neue Werksaufträge werden ein bis zweimal täglich vom übergeordneten Planungssystem in die Datenbank des Fertigungsleitstandes übernommen.

3. Einplanung der Werksaufträge

Die Einplanung der Werksaufträge erfolgt durch eine „ereignisorientierte Vorwärtssimulation in der EDV-Anlage“. Der gesamte Algorithmus dieses Simulationssystems enthält ca. 3200 Programmbefehle.

3.1. Ereignisorientierte Vorwärtssimulation

Für jeden Arbeitsplatz (Maschinen-Gruppe oder Maschine) wird im Rechner eine Warteschlange angelegt. In der Warteschlange einer Maschine stehen zu einem bestimmten Zeitpunkt die Arbeitsfolgen jener Werksaufträge, die für diese Maschine zu diesem Zeitpunkt zuteilungsfähig sind.

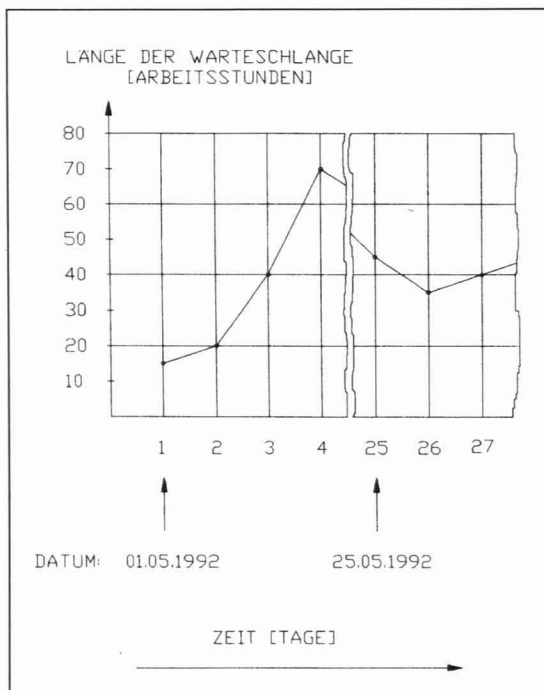


Abb. 2: Entwicklung der Warteschlange vor einem Arbeitsplatz als Funktion der Zeit

„Zuteilungsreif“ ist eine Arbeitsfolge, wenn

- alle davorliegenden Arbeitsfolgen des Werksauftrages erledigt sind und
- die Mindestübergangszeit zum davorliegenden Arbeitsgang des Werksauftrages abgelaufen und der Früheststarttermin der Arbeitsfolge erreicht ist.

Die zuletzt genannte Bedingung ist wichtig für die jeweils erste Arbeitsfolge eines Werksauftrages. Die Zusammensetzung der Warteschlangen vor den Arbeitsplätzen ändert sich laufend. Jede Zuteilung einer Arbeitsfolge und jede „Fertigstellung“ einer Arbeitsfolge löst eine Veränderung der Warteschlangen aus. Mit „Fertigstellung“ ist hier die geplante Fertigstellung der Arbeitsfolge im Sinne der Simulation gemeint.

Neben den Warteschlangen spielt in der Vorwärtssimulation vor allem die „Ereignisliste“ eine wichtige Rolle.

Über die Zeitachse gesehen, können verschiedene Ereignisse auftreten.

Die wichtigsten Ereignisarten sind:

- Früheststarttermin eines Auftrages wird erreicht
- eine Arbeitsfolge wird zugeteilt
- eine Arbeitsfolge wird beendet
- letzte Arbeitsfolge eines Auftrages wird beendet
- Ende des Planungshorizontes wird erreicht.

Bild Nr. 5 zeigt das Prinzip der Ereignisabarbeitung in der ereignisorientierten Vorwärtssimulation.

Das erste Ereignis in der Ereignisliste, die nach Datum und Uhrzeit sortiert ist, wird gelesen und abgearbeitet. Beim Abarbeiten eines Ereignisses (z.B. Zuteilen einer Arbeitsfolge) kann ein weiteres Ereignis erkannt werden (z.B. das Ende der soeben zugeteilten Arbeitsfolge in 2 Stunden). Das neue Ereignis wird zum richtigen Zeitpunkt (Datum und Uhrzeit) in die Ereignisliste aufgenommen. Nach der Abarbeitung eines Ereignisses wird die Simulationsuhr bis zum Zeitpunkt des nächsten Ereignisses weitersgeschaltet. Dies erfolgt solange, bis das letzte Ereignis erreicht ist, oder das Ende des Planungshorizontes erreicht wurde.

4. Anzeige der Engpaß- und Warteschlangendaten im Leitstand

Mit dem entwickelten Leitstand ist es möglich, für jeden beliebigen Zeit-

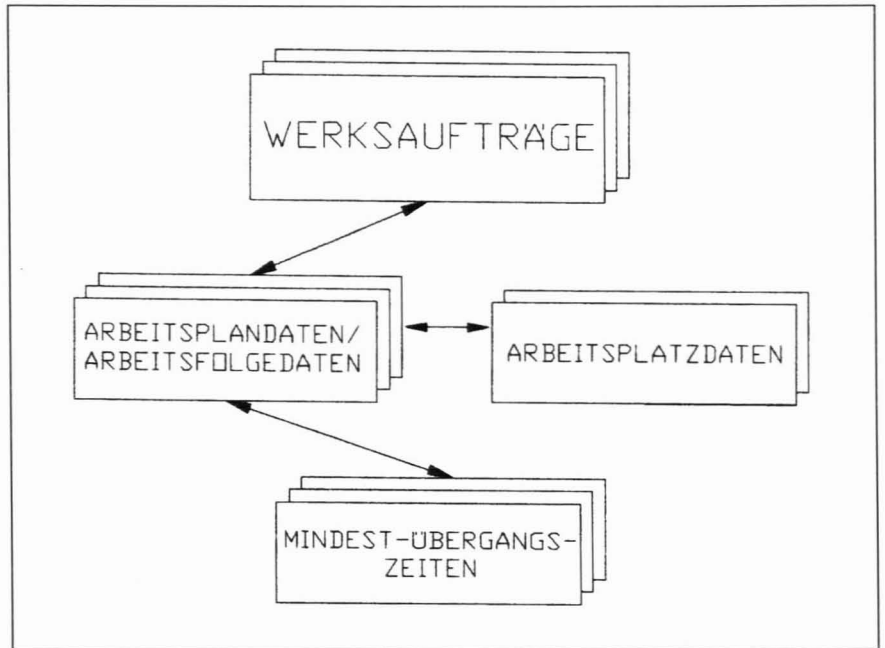


Abb. 4: Datenbankschema des Fertigungsleitstandes

punkt des Planungszeitraumes wichtige Daten zur Engpaßanalyse auf einer Leuchtanzeige anzuzeigen. Der Prototyp der Leitstand-Leuchtanzeige ist für 20 Maschinengruppen ausgelegt.

Je Maschinengruppe sind für jeden beliebigen Zeitpunkt folgende Ausgaben möglich:

- rote Lampe: zeigt Engpaß an
- grüne Lampe: kein Engpaß
- numerische Leuchtanzeige: zeigt Länge der Warteschlange je Maschinengruppe an
- gelbe Lampen: zeigen Grad der Kapazitätsauslastung ("25 %, "50 %, "75 %) je Tag an.

Der Leitstand besteht aus einem IBM-Personalcomputer mit graphischem Bildschirm, einem Terminaldrucker und einer neu entwickelten Leitstand-Leuchtanzeige, auf der man die genannten Engpaß- und Warteschlangendaten für jeden beliebigen Zeit-

punkt der Zukunft anzeigen kann. Bei Beginn der Simulation kann der Simulationszeitraum, der Zeitpunkt für die erste Warteschlangen-Anzeige und das Zeitintervall bis zur jeweils nächsten Warteschlangen-Anzeige, frei gewählt werden.

Spitzentechnik für Ihr Dach: ✓✓

Das Dach aus einem Guß.

6 Bramac Dachsteinmodelle, 11 Farben, komplettes Dachzubehör – schön, sicher, preiswert. Bramac 3380 Pöchlarn

BRAMAC

Alles gut bedacht

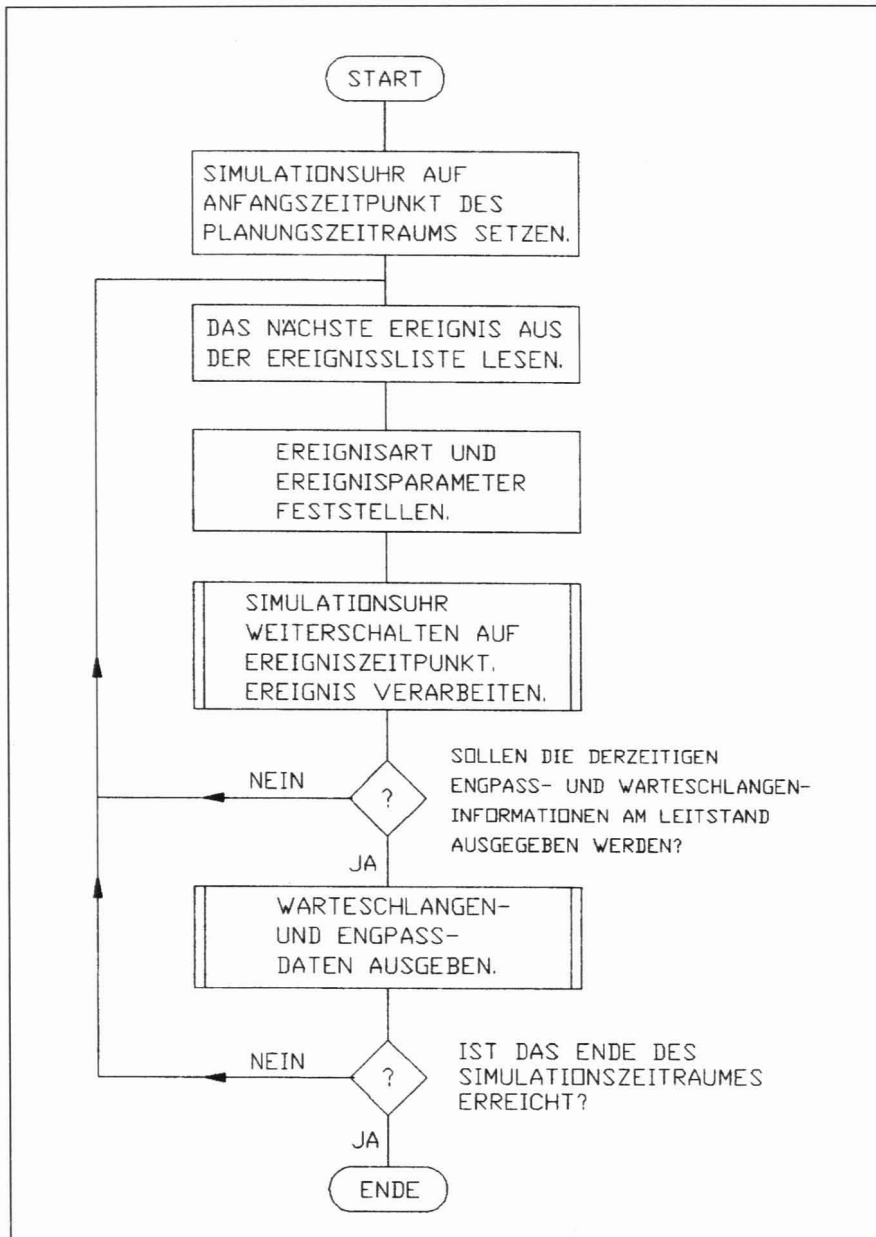


Abb. 5: Prinzip der ereignisorientierten Vorwärtssimulation

Bei der Anzeige von Warteschlangendaten wird die Simulation angehalten. Am Bildschirm können jetzt noch Detailinformationen zu den Warteschlangen abgerufen werden.

Durch Drücken einer bestimmten Taste am Bildschirm wird dann die Simulation fortgesetzt bis zum Zeitpunkt der nächsten gewünschten Engpaß- und Warteschlangenanzeige.

5. Optimierung der Durchlaufzeiten

Die größte Verbesserung der Durchlaufzeiten wird erreicht, wenn

- die Kapazität an den Engpaßarbeitsplätzen erhöht wird und
- zu hohe Warteschlangen durch Stoppen der weiteren Einplanung

von Werksaufträgen auf ein vertretbares Maß abgebaut werden.

Mit dem vorliegenden Leitstand können die Auswirkungen solcher Maßnahmen sofort simuliert werden.

Neben diesen wichtigen Maßnahmen kann aber auch durch einen Optimierungsalgorithmus in der Feinplanung eine Senkung der mittleren Durchlaufzeit und eine Verbesserung der Termintreue erreicht werden.

Als Strategie für diese Einplanung bieten sich z.B. die in den „OPT-Regeln“ formulierten Gedanken an:

(OPT = Optimized Production Technology, nach Moshe Goldratt. Siehe hierzu „PPS-Methoden auf dem Prüfstand“ von Gero Zimmermann, MI-Verlag, 1987, ISBN 3-478-41250-1).

Die OPT-Gedanken empfehlen, jenen Werksaufträgen, die mindestens einen Engpaßarbeitsplatz tangieren, an allen Arbeitsplätzen Vorrang zu geben.

Weiters wird empfohlen, Langläuferarbeitsfolgen an Nichtengpaßmaschinen zu unterteilen, um so die Schaffung künstlicher, nicht notwendiger Engpässe zu vermeiden.

Eine andere Strategie für die Feinplanung kann z.B. sein, daß man bei der Zuteilung von Arbeitsfolgen an einer Maschine jenen Werksaufträgen Vorrang gibt, deren terminlicher Puffer in bezug auf den Soll-End-Termin am kleinsten ist.

Eine dritte Strategie könnte sein, die Externe Priorität für die Reihenfolge der Arbeitszuteilung in der Feinplanung heranzuziehen.

Welche Strategie der Feinplanung zu den besten Ergebnissen führt, hängt von der Struktur des Auftragsbestandes und von den verfügbaren Kapazitäten des Maschinenparks ab.

In der entwickelten Leitstandssoftware kann zu Beginn der Simulation die gewünschte Feinplanungsstrategie ausgewählt werden. Bisher stehen 3 Strategien zur Auswahl.

Eine Erweiterung der Strategien ist möglich.

Da eine volle Simulation auch bei ca. 10.000 Arbeitsfolgen nur wenige Minuten dauert, kann der Benutzer mehrere Strategien durchsimulieren und danach jene Strategie auswählen, die bei seinem Auftragsbestand zum besten Gesamtergebnis führt.

Um die Beurteilung der Ergebnisse einer Simulation zu erleichtern, wurden folgende Beurteilungskriterien geschaffen:

- mittlere Durchlaufzeit aller Aufträge
- Anzahl fertiggestellter Aufträge
- Aufträge mit Verzug in %
- durchschnittliche Terminüberschreitung.

In den bisherigen Vergleichsläufen mit einem bestimmten Auftragsbestand führte die Feinplanungsstrategie nach „OPT“-Regeln zu den besten Gesamtergebnissen.

Durch die Wahl der optimalen Einplanungsstrategie können Durchlaufzeitverkürzungen um 20 % bis 30 % erreicht werden.