Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe

Band: 50 (1972)

Heft: 7

Artikel: Das Inforamtionssystem für die Bewirtschaftung von Fernmeldematerial (MATICO FM). 2. Teil

Autor: Lippuner, Hans / Stärkle, Guido

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-874667

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Das Informationssystem für die Bewirtschaftung von Fernmeldematerial (MATICO FM) 2. Teil[1]

Hans LIPPUNER und Guido STÄRKLE, Bern

351.817.073.53 (494) : 658.78 : 681.3

2. Grundzüge der Materialbewirtschaftung im Rahmen des MATICO FM

2.1 Die Bedarfsvorhersage

2.1.1 Die Zielvorgabe für die Vorhersageverfahren

Bei einem Materialsortiment von 12 500 Artikeln beträgt die Zahl der zu bewirtschaftenden Positionen aller Kreislager und des Zentralmagazins gegen 47 000, wovon rund 9000 Artikel oder 20% auf das Zentrallager entfallen.

Somit handelte es sich in erster Linie darum, ein Prognosesystem aufzubauen, das bei tragbaren Kosten in der Lage ist, in monatlichen Intervallen für jede einzelne der vorerwähnten Lagerpositionen eine ihrer individuellen Nachfragestruktur angepasste, möglichst zuverlässige Bedarfsvorhersage zu ermitteln. Inbezug auf die Prognosesteuerung war man sich zum vorneherein darüber klar, dass eine Orientierung an externen Marktdaten einer lagerabgangsgesteuerten Vorhersage zwar grundsätzlich vorzuziehen wäre (da dieses Verfahren Nachfrageänderungen schneller erkennen lässt), praktisch jedoch nicht in reiner Form abgewickelt werden könnte.

Es wurde daher eine gemischte Prognosesteuerung gewählt, die sich an folgenden Informationen orientiert:

a) Für die Zentralmagazine:
- am Bestellungseingang (Auftragseingang, Nachfrage) der vergangenen 12 Rechnungsperioden oder Monate (Zeitreihenverfahren);
- an Materialreservierungen bei auf langer Sicht im voraus erkennbarem, ausserordentlichem Bedarf.

b) Für die Kreislager:
- an den Lagerabgängen (Verbrauch) der vergangenen 12 Rechnungsperioden oder Monate;
- an Materialreservierungen bei auf langer Sicht im voraus erkennbarem, ausserordentlichem Bedarf.

Dabei werden jahreszeitbedingte Einflüsse auf die Nachfrage so weit als nötig berücksichtigt.

Die Vorhersageverfahren mussten zudem folgende Eigenschaften erfüllen:

- Zufallsabweichungen sollen für die Vorhersage weitgehend ausgeschaltet werden,
- Strukturbrüche in der Nachfrage müssen rasch erkannt werden,
- Rechenaufwand und Bindung von Speicherkapazität sollen sich in einem tragbaren Rahmen halten.

Aufgrund der Gegebenheiten (grosses Sortiment, kurze Prognoseintervalle) und der Zielsetzungen drängte sich, wie die folgenden Ausführungen zeigen werden, die Anwendung mathematischer Prognosemodelle (stochastische Vorhersageverfahren) in Verbindung mit der elektronischen Datenverarbeitung auf.

2.1.2 Nachfragestrukturen (Trendformen[9]) und Vorhersagemodelle

a) Die Codifizierung der wichtigsten Nachfragestrukturen

Mit Hilfe eines EDV-Sonderprogramms und der Regressionsanalyse, die sich auf Nachfragedaten der vergangenen 17 Monate (unmittelbar vor Einführung des Informationssystems) stützte, wurde jeder Lagerposition maschinell ein die Nachfragestruktur kennzeichnender Vorhersagecode (VC) zugeteilt:

- Der Vorhersagecode 0 besagt, dass ein Artikel vor weniger als 7 Monaten eingeführt wurde und seine Nachfragestruktur demzufolge noch unbestimmt ist.
- Der Vorhersagecode 1 deutet an, dass die Nachfragekurve mehr oder weniger horizontal verläuft und Abweichungen von dieser Horizontalen vor allem zufallsbedingt sind (Trend 0. Ordnung).
- Beim Vorhersagecode 2 verläuft die Nachfrage im grossen und ganzen linear steigend (Trend 1. Ordnung).
- Der Vorhersagecode 3 bildet das Gegenstück zum VC 2, das heisst die Nachfragekurve verläuft linear fallend (Trend 1. Ordnung).
- Vorhersagecode 4. Verhältnismässig selten dürfte der degressiv (abnehmend) steigende Nachfrageverlauf erkannt werden können. Hier ist die Steigung des Periodenbedarfs selbst von der Zeit abhängig (Trend 2. Ordnung, Trend der Wurzelfunktion).
- Der Vorhersagecode 5 stellt gewissermassen ein Gegenstück zum VC 4 dar, gebildet vom exponentiell fallenden Trend. Der Trendverlauf kann durch eine Exponentialfunktion oder Hyperbel beschrieben werden.
- Vorhersagecode 6. Grössere Bedeutung kommt dagegen dieser Nachfrageform zu, die für alle Artikel mit sporadischem Bedarf vorgesehen ist[10].
- Zum Vorhersagecode 7 zählen alle Artikel mit stark schwankendem Bedarf[11].
- Mit Vorhersagecode 99 sind alle Artikel gespeichert, die nicht mehr beschafft werden (technisch überholte Modelle usw.), womit eine Bedarfsvorhersage dahinfällt.

[1] Der erste Teil dieses Beitrages ist erschienen in Technische Mitteilungen PTT, Nr. 6/1972, Seiten 206...213.

[9] Im Zusammenhang mit Problemen des Bedarfs und der Nachfrage bezeichnet man als Trend die langfristige Entwicklung des durchschnittlichen Bedarfs.

[10] Artikel, die nur selten, und auch dann nur in geringen Mengen (zumeist als Einzelstücke) benötigt werden. Als obere Grenze wurde ein durchschnittlicher monatlicher Bedarf von 10 Einheiten angenommen.

[11] Kriterium: Der Variationskoeffizient (Kennzahl, die die Standardabweichung der einzelnen Bedarfswerte vom Bedarfsmittelwert in Beziehung zum arithmetischen Mittelwert der Nachfrage setzt) ist >80. Er wird für alle Artikel mindestens einmal halbjährlich neu errechnet.

b) Die Beschreibung der Vorhersageverfahren

Für Artikel mit regelmässigem Bedarf, ohne Trend (VC 1)

Die exponentielle Glättung 1. Ordnung[12] erfüllt für diese Artikelgruppe die unter Ziffer 2.1.1 erwähnten Bedingungen. Sie beruht darauf, dass die erste Vorhersage[13] nach Ablauf der Vorhersageperiode mit der tatsächlichen Nachfragemenge verglichen und aus diesen beiden Grössen eine dritte, die neue Vorhersage, errechnet wird. Der Anteil der tatsächlichen Nachfrage an der neuen Vorhersage bezeichnet man allgemein als α, denjenigen an der alten Vorhersage als $(1 - \alpha)$. Mathematisch lässt sich der Vorgang wie folgt formulieren:

$NV = \alpha NT + (1 - \alpha)\ AV$ oder

$NV = AV + \alpha\ (NT - AV)$

wobei: AV = Alte Vorhersage (für die abgelaufene Rechnungsperiode)

NT = Tatsächliche Nachfrage (in der abgelaufenen Rechnungsperiode)

NV = Neue Vorhersage (für die kommende Rechnungsperiode)

α = Reaktionsparameter[14]

Die exponentielle Glättung lernt bei der Vorhersage aus den Fehlern, wobei die Lerngeschwindigkeit durch die Grösse von α bestimmt wird. Je grösser der Reaktionsparameter, desto kürzer ist die berücksichtigte Nachfragephase, desto schneller die Anpassung an einen Strukturbruch, desto kleiner aber die Möglichkeit der Eliminierung von Zufallsabweichungen. Es ist daher für die Güte der Vorhersage wesentlich, einen möglichst optimalen Reaktionsparameter zu finden.

Für Artikel mit regelmässigem Bedarf und Trend 1. und höherer Ordnung (VC 2...5)

Ein geeignetes Vorhersageverfahren für diese vier Artikelgruppen muss im Vergleich zur exponentiellen Glättung 1. Ordnung folgenden zusätzlichen Anforderungen genügen:

- Die Vorhersage darf nicht hinter der tatsächlichen Nachfrage herhinken;
- Der Trend muss auch dann klar ersichtlich sein, wenn die Zeitreihe von Zufallsschwankungen überlagert ist.

Diese Bedingungen erfüllt die im MATICO FM angewendete *exponentielle Glättung 2. Ordnung.*

Geht man davon aus, dass der Begriff «Trend» sich auch mit «langfristiger Änderung von Durchschnitten» umschreiben lässt, so kann man diesen aus der Änderung dieser Durchschnitte errechnen, indem man das Verfahren der exponentiellen Glättung nicht auf die einzelnen Nachfragewerte einer Zeitreihe, sondern auf die daraus errechneten Durchschnitte (D) anwendet.

Die Formel für die Bedarfsvorhersage bei VC 1 lautet: $NV = (1 - \alpha)\ AV + \alpha NT$. Unter Berücksichtigung der vorerwähnten Erkenntnisse über die Bedeutung der Durchschnitte für die Trendrechnung kann stattdessen auch geschrieben werden:

$D1_i = (1 - \alpha)\ D1_{i-1} + \alpha X_i$ [15]

wobei: $D1_i$ = Durchschnitt 1. Ordnung im Zeitpunkt i (heute)

$D1_{i-1}$ = Durchschnitt 1. Ordnung im Zeitpunkt i — 1 (vor Ablauf der letzten Rechnungsperiode)

X = Tatsächliche Nachfrage in der soeben abgelaufenen Rechnungsperiode.

Auf den Durchschnitt 1. Ordnung (D1) kann wiederum die Grundformel der exponentiellen Glättung angewendet werden. Das Mittel der Durchschnitte wird dabei als Durchschnitt 2. Ordnung (D2) bezeichnet:

$D2_i = (1 - \alpha)\ D2_{i-1} + \alpha D1_i$

Der Durchschnitt 2. Ordnung läuft um das mittlere Alter der Beobachtungen (berücksichtigte Nachfrageperioden der Vergangenheit) hinter dem Durchschnitt 1. Ordnung nach, das heisst um $\frac{1 - \alpha}{\alpha}$.

Dividiert man die Differenz zwischen dem Durchschnitt 1. Ordnung (D1) und dem Durchschnitt 2. Ordnung (D2) durch diesen Zeitabstand $\frac{1 - \alpha}{\alpha}$, erhält man als Quotienten den Trend (A1):

$$A1 = \frac{D1_i - D2_i}{\frac{1 - \alpha}{\alpha}} = \frac{\alpha}{1 - \alpha}\ (D1_i - D2_i)$$

Der Grundwert der Bedarfsvorhersage (A0) wird ermittelt, indem man den Durchschnitt 1. Ordnung (D1) um den Wert, den er hinter dem Periodenbedarf nachhinkt, korrigiert, das heisst, die oben errechnete Trendkonstante (A1) mit dem mittleren Alter der Beobachtungen $\frac{1 - \alpha}{\alpha}$ multipliziert und das Produkt zum Durchschnitt 1. Ordnung (D1) addiert:

$$A0_i = D1_i + \frac{1 - \alpha}{\alpha}\ A1_i = 2\ D1_i - D2_i$$

Die Bedarfsvorhersage (VB) für die neue Rechnungsperiode lautet demnach:

---

[12] Verfahren erarbeitet im Jahre 1959 durch *R. G. Brown*, einen amerikanischen Mathematiker.

[13] In unserem Falle das arithmetische Mittel aus den letzten 17 Rechnungsperioden vor Einführung des IS.

[14] α ist eine Grösse zwischen 0 und 1; näheres hierüber s. Kapitel 2.3

[15] Für den linearen Trend gilt dabei: $X = N$ (N = Nachfrage)
Für den Trend mit Wurzelfunktion gilt: $X = N^2$
Für den exponentiellen Trend gilt: $X = \ln N$

$$VB_i = A0_i + A1_i = 2\,D1_i - D2_i + \frac{\alpha}{1-\alpha}(D1_i - D2_i)$$ [16]

Es ist zu berücksichtigen, dass es sich bei den Vorhersagecodes 4 und 5 um potenzierte beziehungsweise logarithmierte Werte handelt, die für die Ausgabe auf Listen und über Datenstationen wie folgt umgewandelt werden:

- bei VC 4: $VB_i = \sqrt{A0_i + A1_i}$
- bei VC 5: $VB_i = e^{(A0_i + A1_i)}$

Für Artikel mit sporadischem Bedarf (VC 6)

Hier handelt es sich vor allem darum, die stark vorherrschenden Zufallsschwankungen auszugleichen, gleichzeitig aber auch eine rasche Anpassung an einen allfälligen Strukturbruch zu erreichen.

Die erste Grundlage dazu bildet der über längere Zeit aufgelaufene Bedarf oder die akkumulierte Nachfrage $\left(\sum_{i=1}^{n} N_i\right)$. Anhand zahlreicher Beispiele konnte festgestellt werden, dass die graphische Darstellung des über eine längere Zeitspanne aufgelaufenen Gesamtbedarfs als Funktion der Zeit einen annähernd linearen Trend ergibt. Unter dieser Voraussetzung entspricht der Trend des aufgelaufenen Bedarfs dem Periodenbedarf[17].

Mit Hilfe der exponentiellen Glättung 2. Ordnung kann dieser Trend (A1) beziehungsweise die Bedarfsvorhersage grundsätzlich analog dem vorangehenden Abschnitt ermittelt werden[18].

Für Artikel mit stark schwankendem Bedarf (VC 7)

Hier wurde aufgrund von aussagefähigen Stichproben angenommen, dass sich diese Vorhersagegruppe zu einem überwiegenden Teil aus Artikeln mit sporadischem Auftragseingang und stark schwankenden Mengen je Auftrag zusammensetzt. Eine befriedigende Bedarfsprognose ist demzufolge nur möglich, wenn eine getrennte Vorhersage für die Zahl der Aufträge und die je Auftrag durchschnittlich bestellte Menge erfolgt.

Die Vorhersage der Anzahl Aufträge

Da die Aufträge vorwiegend sporadisch eintreffen, drängt sich auch hier das vorangehend für VC 6 beschriebene Verfahren auf. Anstelle der akkumulierten Nachfrage wird als Rechnungsgrundlage jedoch die akkumulierte Anzahl Aufträge $\sum_{j=o}^{i} m_j$ benötigt.

Die Vorhersage der je Auftrag durchschnittlich bestellten Menge

Trux[19] hat bewiesen, dass in solchen Fällen die Häufigkeitsverteilung der Auftragsmengen etwa einer Lognormalverteilung folgt (Häufigkeitsverteilung bei der die Logarithmen der Auftragsmengen einer Normalverteilung gehorchen)[20]. Daraus ergibt sich, dass in jeder Rechnungsperiode die einzelnen Auftragsmengen logarithmisch substituiert, die einzelnen Werte zusammengezählt und schliesslich deren arithmetisches Mittel (Y_i) errechnet werden kann, das die Grundlage für die nächste Vorhersage der durchschnittlichen Auftragsmenge bildet.

$$Y_i = \frac{\sum_{j=o}^{m} \ln M_{j,i}}{m_i}$$

wobei: Y_i = durchschnittliche Menge je Auftrag (logarithmierter Wert)

m_i = Anzahl Aufträge in der Periode i

$M_{j,i}$ = Auftragsmenge des Auftrags j in der Periode i

Unter Verwendung der exponentiellen Glättung 1. Ordnung lässt sich die Vorhersagegleichung für die Ermittlung der (durchschnittlichen) Menge je Auftrag nun wie folgt darstellen:

$$D1_i = (1-\gamma)\,D1_{i-1} + \gamma Y_i$$

wobei: $D1_i$ = Durchschnitt im Zeitpunkt i; entspricht dem logarithmierten Wert der Vorhersagemenge je Auftrag

$D1_{i-1}$ = Durchschnitt im Zeitpunkt i — 1

Y_i = tatsächliche durchschnittliche Menge je Auftrag in der soeben abgelaufenen Rechnungsperiode (Durchschnitt der logarithmierten Einzelwerte)

γ = variabler Reaktionsparameter für die exponentielle Glättung, anstelle des fixen Reaktionsparameters α [21].

---

[16] Die Anfangswerte für A0 und A1 wurden durch die EDV mit Hilfe der Regressionsanalyse aufgrund der Nachfragedaten der 17 letzten Rechnungsperioden vor Einführung des neuen Verfahrens ermittelt. Für VC 4 wurde die Substitution $X = N^2$, für VC 5 die Substitution $X = \ln N$ angewendet.

[17] Der Gesamtbedarf steigt von Periode zu Periode um den Periodenbedarf.

[18] Als Anfangswerte im Zeitpunkt der Einführung dienten die akkumulierte Nachfrage der letzten 17 Rechnungsperioden für A0 und das arithmetische Mittel des Bedarfs ($\bar{N}$) für die Trendkonstante A1 (= Vorhersage).

[19] *W. Trux.* Einkauf und Lagerdisposition mit Datenverarbeitung. Deutsches Institut für Betriebswirtschaft, Frankfurt a. M., 1968, S. 62...151.

[20] Die Häufigkeit der Aufträge nimmt offensichtlich exponentiell mit der Grösse des Auftrags ab.

[21] Der variable Reaktionsparameter wird von der EDV in Abhängigkeit von α und m von Fall zu Fall wie folgt berechnet:

$$\gamma = \sum_{j=o}^{m-1} \alpha\,(1-\alpha)^j \qquad (\text{für } m \neq O) \text{ bzw.}$$

$$\gamma = O \qquad (\text{für } m = O)$$

Durch die Verwendung eines variablen Reaktionsparameters wird Y_i so gewichtet, wie es der Anzahl der Aufträge in der betreffenden Periode zukommt. Sind beispielsweise zwei Aufträge eingegangen, so wird der Durchschnitt der Auftragsmenge (Y_i) so gewichtet, als ob zwei Vorhersagen mit dieser Durchschnittsmenge und dem Reaktionsparameter α gemacht worden wären.

Da es sich bei den oben erwähnten Daten um logarithmierte Werte handelt, ist zusätzlich noch die Umwandlung

$$VM_{i+1} = e^{D1_i}$$

erforderlich (VM_{i+1} = Vorhersage der Menge je Auftrag für die folgende Rechnungsperiode)[22].

2.2 Die Grundlagen für die Ermittlung der Mindestbestände[23]

2.2.1 Die Funktionen des Mindestbestandes und seine Abhängigkeit von verschiedenen Einflussfaktoren

Der Mindestbestand soll primär Unsicherheiten in der Bedarfsvorhersage abdecken. Zusätzlich dient er auch als Sicherheit gegen Überschreitungen der Lieferzeit durch die Hersteller und ins Gewicht fallende Bestandesdifferenzen (Abweichungen zwischen Soll- und Istlagerbestand).

Seine Höhe wird direkt oder indirekt durch folgende Faktoren beeinflusst:

- Gewünschte Lieferfähigkeit oder Servicegrad (s. 2.2.3)
- Verantwortbare Kapitalbindung für Materialvorräte
- Unsicherheiten in der Nachfrage
- Unsicherheiten in der Einhaltung der Liefertermine
- Häufigkeit von gravierenden Bestandesdifferenzen
- Zahl der in der Vergangenheit beobachteten Bedarfsperioden (Qualität der statistischen Unterlagen für die Bedarfsprognose)
- Länge der Wiederbeschaffungszeit
- Qualität des Überwachungssystems.

2.2.2 Der mittlere absolute Fehler der Bedarfsvorhersage

Die Differenz zwischen Bedarfsvorhersage und tatsächlicher Nachfrage in einem bestimmten Zeitraum bezeichnet man (ohne Rücksicht auf das Vorzeichen) als absoluten Fehler der Vorhersage (AF_V):

$$AF_{V,i} = N_i - VB_i \quad \text{(für die VC 1...6)}$$

oder

$$AF_{VM,i} = \frac{N_i}{m_i} - VM_i \quad \text{(für VC 7)}$$

wobei: AF_V = absoluter Fehler der Vorhersage

AF_{VM} = absoluter Fehler der Vorhersage der Menge je Auftrag

N_i = Nachfrage (Periode i)

VB_i = Bedarfsvorhersage (Periode i — 1 für Periode i)

m_i = Anzahl Aufträge (Periode i)

VM_i = Vorhersage der Menge je Auftrag (Periode i — 1 für Periode i).

Der mittlere absolute Fehler der Bedarfsvorhersage wird im MATICO FM berechnet, indem der absolute Fehler mit Hilfe der exponentiellen Glättung 1. Ordnung wie folgt fortgeschrieben wird:

$$MAF_{V,i} = \beta AF_{V,i} + (1 - \beta)\, MAF_{V,i-1} \quad \text{(für die VC 1...6)}$$ [24]

oder

$$MAF_{VM,i} = \beta AF_{VM,i} + (1 - \beta)\, MAF_{VM,i-1} \quad \text{(für VC 7)}$$

wobei: MAF_V = Mittlerer absoluter Fehler der Bedarfsvorhersage

MAF_{VM} = Mittlerer absoluter Fehler der Vorhersage der Menge je Auftrag

β = Reaktionsparameter für die exponentielle Glättung[25].

Der mittlere absolute Fehler der Bedarfsvorhersage bildet die erste Komponente für die Berechnung des Mindestbestandes[26].

2.2.3 Der Sicherheitsfaktor und die Sicherheitsgrenze

Obwohl Zufallsabweichungen des Periodenbedarfs (zufallsbedingte Schwankungen der Nachfrage) im Einzelfall nicht vorhersagbar sind, gehorchen sie den Gesetzen der Wahrscheinlichkeit, das heisst die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens kann vorhergesagt werden.

Die Lieferbereitschaft anderseits ist nichts anderes als die Wahrscheinlichkeit, mit der eine bestimmte Nachfrage befriedigt werden kann. Diese Grösse – auch als *einseitige statistische Sicherheit* oder Sicherheitsgrenze bezeichnet –, wurde im MATICO FM für jeden einzelnen Artikel entsprechend seiner Bedeutung durch die zuständigen Organe der Sektion Lagerwirtschaft festgelegt und in der Datenbank gespeichert. Es versteht sich dabei von selbst, dass die vorläufig angewendeten Stufen 97,5%, 99,5% und 99,95% erweitert werden können[27] und die je Artikel festgelegte Grösse jederzeit mutierbar ist, also nach Bedarf verändert werden kann.

Unter Berücksichtigung der im MATICO FM auftretenden Zeitreihen (minimal 2, maximal 12 Rechnungsperioden) besteht folgender Zusammenhang zwischen dem *Sicherheitsfaktor* – mit dem wir den unter 2.2.2 erwähnten Näherungswert für die Standardabweichung der Vorhersage

---

[22] Ermittlung der Anfangsvorhersage:

a) Für die Anzahl Aufträge: Die EDV berechnete das arithm. Mittel der verbrauchswirksamen Materialbewegungen (Aufträge) m *je Periode* aus den Aufzeichnungen der 17 letzten Rechnungsperioden vor Einführung des IS.

b) Für die durchschnittliche Menge je Auftrag: Die EDV ermittelte den Quotienten aus der akkumulierten Nachfrage und der Summe der verbrauchswirksamen Materialbewegungen gemäss a), bildete davon den nat. Logarithmus und verwendete das Ergebnis als $D1_{i-1}$.

[23] In der einschlägigen Literatur häufig auch als Sicherheitsbestände bezeichnet.

[24] Als Anfangswert MAF_V wurde die durch die EDV je Artikel ermittelte Abweichung des Bedarfs (Einzelwerte einer Zeitreihe von 17 Rechnungsperioden) vom Bedarfsmittelwert (MAF_B) eingesetzt.

[25] s. Kapitel 2.3.

[26] Durch die Multiplikation $MAF_V \cdot 1{,}25$ erhält man den für das weitere Vorgehen wesentlichen Näherungswert für die Standardabweichung der Vorhersage.

[27] Es werden etwa noch angewendet: 98%, 93%, 90%, 86%.

($1{,}25 \cdot MAF_V$) multiplizieren müssen – und der einseitigen statistischen Sicherheit beziehungsweise der Sicherheitsgrenze:

Tabelle I

Sicherheitsfaktor bei wenigen Periodenwerten einer Zeitreihe [28]

Anzahl Perioden	Einseitige statistische Sicherheit 97,5%	99,5%	99,95%
2	12,71	63,66	636,62
3	4,30	9,92	31,6
4	3,18	5,84	12,92
5	2,78	4,60	8,61
6	2,57	4,03	6,86
7	2,45	3,71	5,96
8	2,36	3,50	5,41
9	2,31	3,36	5,04
10	2,26	3,25	4,78
11	2,23	3,17	4,59
12	2,20	3,11	4,44
500	1,97	2,58	3,31
∞	1,96	2,58	3,29

Der Sicherheitsfaktor wird von der EDV als Funktion der Anzahl Perioden und der gewünschten (einseitigen) Sicherheit von Fall zu Fall aus der *Tabelle I* bezogen.

Diese Regelung gilt nicht für die Artikel mit VC 0 (Anzahl Perioden < 7). Für diese Vorhersagegruppe war es verantwortbar, einen einheitlichen Sicherheitsfaktor von 3,18 (97,5%, 4 Monate) festzulegen.

Sicherheitsfaktor und Sicherheitsgrenze bilden die zweite Komponente für die Berechnung des Mindestbestandes.

2.2.4 Die Berechnung des Mindestbestandes bzw. der Mindestbevorratungszeit

a) Für die Artikel mit VC 0...6

Der Mindestbestand jedes Artikels wird monatlich (anlässlich des Rechnungsabschlusses) einmal neu berechnet:

$$MB = k \cdot 1{,}25 \cdot MAF_V$$

oder

$$t_m = \frac{k \cdot 1{,}25 \cdot MAF_V}{\frac{VB}{30}}$$

wobei: MB = Mindestbestand

t_m = Mindestbevorratungszeit (Zeit für welche der Mindestbestand ausreicht)

k = Sicherheitsfaktor gemäss Tabelle I

MAF_V = Mittlerer absoluter Fehler der Bedarfsvorhersage

$\frac{VB}{30}$ = 1 vorhergesagter Tagesbedarf

[28] *S. Graf-Henning.* Statistische Methoden bei textilen Untersuchungen, Berlin, Göttingen und Heidelberg 1961.

Mit dieser Art der Ermittlung der Mindestbestände werden im MATICO FM primär die Unsicherheiten in der Nachfrage berücksichtigt. In einer späteren Ausbauphase ist vorgesehen, auch die möglichen Fehler in der Bestandesrechnung sowie die Unsicherheiten in der Einhaltung der Liefertermine durch die Hersteller miteinzubeziehen. Die Formel wird dann unter Anwendung des Fehlerfortpflanzungsgesetzes lauten:

$$MB = k \cdot 1{,}25 \cdot \sqrt{MAF^2_{Be} + MAF^2_{tL} + MAF^2_V}$$

wobei: MAF_{Be} = Mittlerer absoluter Fehler des Bestandes

MAF_{tL} = Mittlerer absoluter Fehler der Lieferzeit (in Mengen umgerechnet).

b) Für die Artikel mit VC 7

Da hier die Standardabweichung (Näherungswert) und der Vertrauensbereich einer zweifachen Vorhersage (Menge je Auftrag und Anzahl Aufträge je Rechnungsperiode) zu berücksichtigen sind, lautet die Formel unter Anwendung des Fehlerfortpflanzungsgesetzes für den Mindestbestand:

$$MB = k \cdot \sqrt{1{,}56\, MAF_{VM,i} \cdot VA^2_{i-1} + VA_{i-1} \cdot VM^2_{i-1}}$$

und für die Mindestbevorratungszeit:

$$t_m = \frac{k \cdot \sqrt{1{,}56\, MAF_{VM,i} \cdot VA^2_{i+1} + VA_{i+1} \cdot VM^2_{i+1}}}{\frac{VB}{30}}$$

wobei: $MAF_{VM,i}$ = Mittlerer absoluter Fehler der Vorhersage

VA_{i+1} = Vorhersage der Anzahl Aufträge

VM_{i+1} = Vorhersage für die (durchschnittlich) bestellte Menge je Auftrag.

2.3 Die Bestimmung der Reaktionsparameter α und β für die exponentielle Glättung (Glättungskonstanten)

2.3.1 Allgemeine Ausführungen

In den Ausführungen über die exponentielle Glättung 1. und 2. Ordnung wurde festgestellt, dass das Verfahren um so schneller auf Abweichungen reagiert, je grösser der Reaktionsparameter gewählt wird. Ein gross gewähltes α wirkt sich vorteilhaft aus bei einem Bruch der Nachfragestruktur; ein kleines α ist dagegen dort zu empfehlen, wo der Variationskoeffizient [29] gross ist und die Vorhersage trotzdem möglichst frei von Zufallsschwankungen erfolgen sollte. Je nach Variationskoeffizient und der Wahrscheinlichkeit und Grösse von Strukturbrüchen ergeben sich somit andere optimale Reaktionsparameter.

Im MATICO FM stützt man sich am Anfang vor allem auf Erfahrungswerte sowie auf theoretische Betrachtungen über ein optimales α als Funktion von Variationskoeffizient und

[29] Siehe [11].

Trend[30]. Bereits nach Ablauf eines Jahres werden jedoch Daten zur Verfügung stehen, die eine periodische, bestmögliche Anpassung der Glättungskonstanten an die tatsächlichen Gegebenheiten mit Hilfe von Simulationsprogrammen erlauben.

Die Reaktionsparameter für die exponentielle Glättung bilden Grössen, die je Artikel und Lager individuell festgelegt werden und in der Datenbank jederzeit mutierbar sind.

2.3.2 Die Anfangswerte

Für die exponentielle Glättung 1. Ordnung (VC 1) wurden je nach Grösse des Variationskoeffizienten (V) Anfangswerte von $\alpha = 0{,}57$ bei einem Variationskoeffizient $V = 10$ bis zu $\alpha = 0{,}12$ bei einem Variationskoeffizient $V = 90$ festgelegt.

Der Reaktionsparameter β, der für die exponentielle Glättung der Fehlervorhersage benötigt wird, wurde grundsätzlich als $\beta = 0{,}5\,\alpha$ angenommen, wobei, um Extremwerte zu vermeiden, ein $\beta_{max.}$ von 0,3 und ein $\beta_{min.}$ von 0,05 bestimmt wurden.

Für die exponentielle Glättung 2. Ordnung (VC 2...5) werden um rund 30% kleinere Werte verwendet und für VC 7 (stark schwankender Bedarf mit zweifacher Vorhersage) wurden je ein $\alpha 1 = 0{,}2$ als Reaktionsparameter für die Prognose der Auftragsanzahl und ein $\alpha 2 = 0{,}1$ als Glättungskonstante für die Vorhersage der Menge je Auftrag festgelegt.

2.3.3 Die halbjährliche Optimierung der Reaktionsparameter

Mit Hilfe eines Simulationsprogrammes wird überprüft, mit welchem α im abgelaufenen Semester die besten Ergebnisse (Vorhersagen) hätten erzielt werden können. Das beste α wird gespeichert und für die nachfolgenden sechs Rechnungsperioden angewendet. Gleichzeitig wird das neue β ($=0{,}5\,\alpha$) ermittelt, wobei jedoch die Grenzwerte 0,05...0,3 nach wie vor Gültigkeit haben. Die alten Reaktionsparameter und Variationskoeffizienten werden gelöscht.

2.4 Die laufende Überwachung der Bedarfsvorhersage

Um Abweichungen festzustellen, die sich aufgrund falscher Rechen- beziehungsweise Prognosemodelle oder struktureller Änderungen im Nachfrageverlauf eines Artikels ergeben, ist im MATICO FM ein besonderes Kontrollprogramm eingebaut worden.

2.4.1 Das Kontrollsignal

Weist die Nachfrage eines Artikels gegenüber der Vorhersage nur Zufallsabweichungen auf, so wird, bei der Beobachtung der Nachfrage über mehrere Perioden, der Bedarf manchmal kleiner, manchmal grösser als die Vorhersage sein. Bei einer Addition der Vorhersagefehler (F) nach der Formel:

$$F_i = VB_i - N_i \qquad \text{(für VC 1...6)}$$

oder

$$F_i = VM_i - \frac{N_i}{m_i} \qquad \text{(für VC 7)}$$

wobei: F_i = Vorhersagefehler (nicht *absoluter* Vorhersagefehler)
VB_i = Bedarfsvorhersage
N_i = tatsächliche Nachfrage
VM_i = Vorhersage der Menge je Auftrag
m_i = Anzahl Aufträge

werden sich dann positive und negative Abweichungen mehr oder weniger ausgleichen, das heisst die Summe der Vorhersagefehler (TF) wird auch nach längerer Beobachtung nicht wesentlich von Null abweichen.

Wächst dagegen die Summe der Vorhersagefehler stetig (positive oder negative TF), so muss angenommen werden, dass das unterstellte Rechenmodell nicht, oder nicht mehr der Nachfragestruktur entspricht. Diese Erkenntnis bildet die Grundlage für die Vorhersagekontrolle.

Um die neue Grösse TF jederzeit verfügbar zu haben, werden die Vorhersagefehler (F) im Rahmen des Kontrollprogramms je Artikel und Lager laufend akkumuliert und anlässlich des monatlichen Rechnungsabschlusses durch die bereits bekannte brauchbare Bezugsgrösse MAF_V dividiert. Der Quotient, das *Kontrollsignal* (KS), wird daraufhin mit einer nach Vorhersagecode und Grösse des Reaktionsparameters abgestuften Warngrenze ($KS_{max.}$) verglichen[31].

2.4.2 Das Kontrollblatt

Das Kontrollblatt wird durch die EDV selbsttätig ausgegeben, wenn $KS \geq KS_{max.}$. Es informiert über alle wesentlichen Daten, die erforderlich sind, um abzuklären, aus welchem Grunde die Summe der Vorhersagefehler den zulässigen Grenzwert überschritten hat. Gleichzeitig liefert es alle Unterlagen, damit Vorkehrungen für eine allfällige Korrektur des Bedarfs oder des Vorhersageverfahrens getroffen werden können.

Ebenfalls selbsttätig werden Kontrollblätter ausgedruckt, wenn bei Artikeln der Gruppe mit Vorhersagecode VC 0 $n \geq 7$.

Das Kontrollblatt enthält folgende Angaben *(Fig. 11):*

[30] Vgl. *Cabell, R.W.* The best of all possible alphas, a problem of exponential smoothing (unveröffentliches Manuskript). IBM Corporation, Cocoa Beach, Florida.

[31] Die Warngrenze ist so festgelegt, dass Fehlanzeigen bis zu 5% auftreten können. Wird die Grenze niedrig gewählt, stösst man zwar frühzeitig auf echte Abweichungen – gleichzeitig wächst aber auch der Anteil jener Fälle, bei denen die Abweichung lediglich zufällig ist. Umgekehrt verhält es sich, wenn $KS_{max.}$ hoch gewählt wird. Die Fälle von blindem Alarm nehmen zwar ab, dafür wird man auch später auf echte Abweichungen aufmerksam gemacht. Wertvolle Angaben lieferten in diesem Zusammenhang die Ausführungen von *J. R. Thrall.* «IBM Impact Implementation Reference Manual» (unveröffentl. Manuskript), 1963, Abschnitt M 1.5.

MATERIAL TT — K O N T R O L L B L A T T — DATUM 16.12.71
SEITE 11

RK	MV	ART.NR.	GRUND	LETZTES KONTROLLBL. DATUM	GRUND	LETZTE MASSN. DATUM	CODE	VC	VC SEIT	ALPHA 1	ALPHA 2	BETA
79	1	1917	KS	00.00.00		00.00.00	00	01	71.07.01	0.26	0.00	0.13

KS MAX.	MAF B	STOERPEGEL	VARIATIONS-KOEFF.	GRUNDWERT DER BEDARFSVORHERS.	TRENDWERT	BEDARFS-VORHERSAGE	DN.BEDARF
3.85	13.88	0.2	31.31	0.00	0.00	60.00	55.41

	BEDARF	VORHERSAGE	FEHLER	TOTAL FEHLER	MAF V	KS	ANZ. AT	MENGE JE AT
RM	75.00	56.00	-19.00	-55.00	12.89	04.26	19	
RM -1	53.00	58.00	5.00	-36.00	11.98	03.00	20	
RM -2	87.00	48.00	-39.00	-41.00		03.14	23	
RM -3	51.00	48.00	-3.00	-2.00		00.21	16	
RM -4	46.00	49.00	3.00	1.00		00.09	14	
RM -5	51.00	49.00	-2.00	-2.00		00.17	16	
RM -6	45.00	0.00	-45.00	0.00				
RM -7	22.00	0.00	-22.00	45.00				
RM -8	76.00	0.00	-76.00	67.00				
RM -9	53.00	0.00	-53.00	143.00				
RM -10	39.00	0.00	-39.00	196.00				
RM -11	67.00	0.00	-67.00	235.00				

Fig. 11
Das «Kontrollblatt» als Beispiel einer durch den Computer ausgelösten Signalisierung für Ausnahmesituationen

a) Grund- und Steuerdaten:

- Artikelnummer
- Letztes Kontrollblatt: Grund und Datum der Ausgabe, getroffene Massnahme
- Vorhersagecode
- Reaktionsparameter
- Maximalwert des Kontrollsignals ($KS_{max.}$)
- Mittlerer absoluter Fehler des Bedarfs (vom Bedarfsmittelwert), Störpegel, Variationskoeffizient und arithmetisches Mittel des Bedarfs
- Grund- und Trendwert der Bedarfsvorhersage

b) Nachfragestruktur für eine Vergangenheitsperiode von 12 Monaten:

- Bedarf, Bedarfsvorhersage, Vorhersagefehler, Total Vorhersagefehler, Mittlerer absoluter Fehler der Bedarfsvorhersage (nur für die letzten zwei Monate), Kontrollsignal (nur über sechs Rechnungsperioden), Anzahl Aufträge je Periode und durchschnittliche Menge je Auftrag (letzteres nur für Artikel mit VC 7).

Aufgrund der zur Verfügung gestellten Daten kann der Materialdisponent mühelos feststellen, aus welchem der nachfolgenden Gründe die Warngrenze erreicht oder überschritten wurde:

- Fehler in der Bestandesrechnung der abgelaufenen Rechnungsperiode
- Zufällig ausserordentlich hoher bzw. niedriger Bedarf in der abgelaufenen Rechnungsperiode
- Falsche Anfangsvorhersage
- Änderung der Nachfragestruktur (Strukturbruch)
- Artikel ist seit sieben Monaten (n) im Bestand und kann in das ordentliche Vorhersageverfahren einbezogen werden (Wechsel von VC 0 in VC 1...7).

Material TT

Beschaffungsantrag ZM

Nr. 70196

Seite 1595 Datum 12 08 71

Artikel-Nr.	Bezeichnung
7 412	BETONBOHRER KURZ MIT HARTMETALLSPITZE UND ZYLINDRISCHEM SCHAFT 3,5 MM

Lagerbestand		Prüfscheine		Reservationen		Offene Aufträge		Disponibler Bestand
tauglich	reparaturbedürftig	tauglich	reparaturbedürftig	NS	Übrige	Bestellung	Rep.-AT	
28					2			26

Auslöse-Bestand	Mindest-Bestand	Nachfrage			Verbrauchstendenz VJ/RJ		Eindeckungs-Zeit		Wiederbeschaffungszeit	Bestellintervall
		RM	RJ	VJ	ZM	KL	Soll	Ist		
30	7	2	27	45	2	0	303	260	225	12

Bestellung		Gewicht	Liefertermin	Verpackung
Menge	Wert			
45	40.50	0.000	72 01 14	KEINE BES. VERP

Lieferanten						Artikel-Verbindungen:
Nr.	Kurzbezeichnung	TC	ZC	Opt. Teillieferm enge	LI	
1056	ESKENAZI	0	2			
0405	MAEDER	7	2			
						Ähnlich gelagerte Artikel:
						Alte BA-Nr.:

Fig. 12
Der «Beschaffungsantrag» für die Zentralmagazine

Er kann der EDV in codierter Form Aufträge über das weitere Vorgehen übermitteln, etwa:

KB 11 = Die Summe der Vorhersagefehler ist zu löschen. Das gewählte Vorhersageverfahren ist jedoch beizubehalten.

KB 20 = Reaktionsparameter, Variationskoeffizient, Grund- und Trendwerte der Vorhersage sind unter Berücksichtigung eines neuen (gleichzeitig bekanntzugebenden) Vorhersagecodes und der Nachfragestruktur der letzten 12 Rechnungsperioden neu zu berechnen. TF ist zu löschen.

KB 30 = Analog KB 20, jedoch dürfen nur n Nachfrageperioden der Vergangenheit (n = Zahl < 12) berücksichtigt werden, nämlich jene seit Beginn des Strukturbruchs.

2.5 Wesentliche Punkte aus dem Gebiet der Lager- und Terminüberwachung

2.5.1 Der Auslösebestand und die Bestellmenge

Der Auslösebestand[32] ist jene Menge, die unter Berücksichtigung des Lagerbestandes, der offenen (pendenten) Bestellungen bei Lieferanten und allfälliger Reservationen erforderlich ist, um die Nachfrage zu decken, die zwischen dem Zeitpunkt der Auslösung einer Nachbestellung und der Verfügbarkeit der bestellten Ware am Lager erwartet wird. Bei Erreichen oder Unterschreiten des Auslösebestandes ist eine Nachbestellung erforderlich, die, wenn weder Verzögerungen in der Lieferung noch starke Änderungen in der erwarteten Nachfrage eintreten, dann verfügbar ist, wenn der Lagerbestand auf den Mindestbestand abgesunken ist. Die Höhe des Auslösebestandes ist somit von der Wiederbeschaffungszeit (t_w)[33] beziehungsweise dem Bedarf während der Wiederbeschaffungszeit und der Grösse des von der Nachfragestruktur beeinflussten Mindestbestandes abhängig. Sie lässt sich wie folgt berechnen:

[32] In der Fachliteratur häufig auch als Bestellpunkt bezeichnet.

[33] Die Wiederbeschaffungszeit für die Artikel der Kreislager (Bestellungen erfolgen bei den Zentralmagazinen) beträgt einheitlich 15 Tage.

Die Wiederbeschaffungszeit für das Zentrallagersortiment ist in folgende, teils feste, teils variable Teilzeiten gegliedert: Sicherheitszeit (15 Tage), Planperiode (15 Tage), Auftragsvorbereitungszeit (60 Tage), Lieferzeit (variabel), Einlagerungszeit (Zeit für quantitative und qualitative Prüfung des Materials inbegriffen, 30 Tage).

$$AB = t_w \cdot VB_i + k \cdot 1{,}25 \cdot MFA_{V,i} \quad \text{(für VC 0, 1, 6)}$$

$$AB = t_w \cdot VB_i + k \cdot \sqrt{1{,}56 \cdot MAF_{VM,i} \cdot VA^2{}_i + VA_i \cdot VM^2{}_i} \quad \text{(für VC 7)}$$

und

$$AB = A0_i + A1_i + A0_i + 2A1_i + \ldots + A0_i + t_w A1_i + k \cdot 1{,}25 \cdot MAF_V \quad \text{(für VC 2...5)}$$

wobei: AB = Auslösebestand

t_w = Wiederbeschaffungszeit in Monaten

VB_i = Bedarfsvorhersage für nächste Rechnungsperiode

$A0_i$ = Grundwert der Bedarfsvorhersage für nächste Rechnungsperiode

$A1_i$ = Trendwert der Bedarfsvorhersage für nächste Rechnungsperiode

$k \cdot 1{,}25 \cdot MAF_{V,i}$ = Mindestbestand VC 0...6

$k \cdot \sqrt{1{,}56\, MAF_{VM,i} \cdot VA^2{}_i + VA_i \cdot VM^2{}_i}$ = Mindestbestand VC 7

Grundsätzlich sinngemäss, jedoch unter Berücksichtigung des je Artikel gespeicherten Bestellintervalls, von individuellen Saisonfaktoren für die Kreislager und der gebräuchlichen Lager- und Verteileinheiten, wird auch die Bestellmenge ermittelt, so etwa für einen Artikel der Zentralmagazine mit Vorhersagecode 5 (exponentiell fallender Bedarf):

$$BM = AB_i - (LB_i + A_i - R_i) + A0_i + t_w A1_i + A1_i + A0_i + t_w A1_i + 2A1_i + \ldots + A0_i + t_w A1_i + BI\, A1_i$$

wobei: BM = Bestellmenge

LB = Lagerbestand

A = Ausstand (pendente Bestellungen)

R = Reservationen

BI = Bestellintervall.

Die Berücksichtigung des Trends nicht nur während der Wiederbeschaffungszeit, sondern bis zum Ablauf des nächsten Bestellintervalls, das heisst, bis das bestellte Material aller Voraussicht nach verbraucht sein wird, bildet gegenüber dem bisherigen Verfahren einen wesentlichen Vorteil.

Es versteht sich von selbst, dass die Bestellungen für die Ergänzung der Kreislager (einmal monatlich, gestaffelt für die 18 KL) sowie die fälligen Beschaffungsanträge für die Zentralmagazine (zweimal monatlich) von der EDV selbsttätig ausgelöst und geschrieben werden und dass sie sämtliche wesentlichen Daten (unter anderen auch die Liefertermine) enthalten, die für die weitere Materialdisposition beziehungsweise Beschaffung erforderlich sind *(Fig. 12)*.

2.5.2 Die Signalisierung von Ausnahmesituationen

Abgesehen von der Überwachung der Auslösebestände und von dem im Kapitel 2.4 beschriebenen Kontrollprogramm, das die Bedarfsvorhersage laufend überwacht, sind der EDV weitere wesentliche Kontroll- und Überwachungsfunktionen überbunden worden. So wird beispielsweise bei jeder Verbuchung überprüft, ob der (jeweils der neuesten Nachfrage maschinell angepasste) Mindestbestand erreicht ist. Trifft dies zu, wird zuhanden der Disponenten selbsttätig eine Liste mit folgenden Angaben ausgedruckt:

- Lagerbestand tauglich
- Mindestbestand
- gelieferte, aber qualitativ noch nicht geprüfte Warenmenge
- Menge und Termin der nächsten fälligen Lieferung (inbegriffen Bestellnummer und Bezeichnung des Herstellers).

Halbmonatlich werden ins Gewicht fallende Abweichungen im Lieferprogramm gemeldet, wobei es sich um Unter- oder Überschreitungen der Liefertermine durch die Hersteller handeln kann. Lagerüberbestände werden monatlich signalisiert. Ebenfalls monatlich werden aufgrund der neuesten Nachfrageentwicklung sich aufdrängende Terminverschiebungen für pendente Bestellungen bei Lieferanten empfohlen.

Fortsetzung folgt.