



PCT WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro
INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

<p>(51) Internationale Patentklassifikation ⁷ : G06F 1/7</p>	A2	<p>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 00/34850</p> <p>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 15. Juni 2000 (15.06.00)</p>
<p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE99/03799</p> <p>(22) Internationales Anmeldedatum: 1. Dezember 1999 (01.12.99)</p> <p>(30) Prioritätsdaten: 198 56 109.1 4. Dezember 1998 (04.12.98) DE</p> <p>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE).</p> <p>(72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): FRANKL, Astrid [DE/DE]; Safferlingstrasse 1, D-80634 München (DE). SCHÄFFLER, Stefan [DE/DE]; Paul-Lincke-Strasse 15, D-86199 Augsburg (DE). SCHULTZ, Reinhart [DE/DE]; Deisenhofener Weg 8, D-82008 Unterhaching (DE). WEINZIERL, Klaus [DE/DE]; Grossvenediger Strasse 33, D-81671 München (DE).</p> <p>(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, D-80506 München (DE).</p>		<p>(81) Bestimmungsstaaten: US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p>Veröffentlicht <i>Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.</i></p>
<p>(54) Title: METHOD AND ARRANGEMENT FOR DESIGNING A TECHNICAL SYSTEM</p> <p>(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND ANORDNUNG ZUM ENTWURF EINES TECHNISCHEN SYSTEMS</p> <p>(57) Abstract</p> <p>The invention relates to the design of a technical system which comprises several target functions. A searching direction is determined for the target functions. The values of the target function are improved along said searching function. An iterative determination of the search direction leads to an efficient working point which is useful for the design of the technical system.</p> <p>(57) Zusammenfassung</p> <p>Die Erfindung ermöglicht den Entwurf eines technischen Systems, das mehrere Zielfunktionen umfasst, indem für die Zielfunktionen eine Suchrichtung ermittelt wird, entlang derer eine Verbesserung der Werte der Zielfunktionen bewirkt wird. Eine iterative Ermittlung der Suchrichtung führt zu einem effizienten Arbeitspunkt, der zum Entwurf des technischen Systems geeignet ist.</p>		

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

Beschreibung**Verfahren und Anordnung zum Entwurf eines technischen Systems**

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zum Entwurf eines technischen Systems.

Für ein komplexes technisches System sind in einer frühen Planungsphase oder auch während des Betriebs mehrere
10 signifikante Größen wie Kosten für eine Herstellung oder ein Wirkungsgrad des Systems von Interesse. Eine Abhängigkeit jeder dieser Größen von einer vorgegebenen Menge n auf sie Einfluß nehmende Parameter (Design- und Betriebsparameter),
zusammengefaßt in einem Parametervektor \underline{x} der Dimension n ,
15 wird durch eine Zielfunktion erfaßt.

Da mehrere Zielfunktionen mit zueinander konkurrierenden Zielen gegeben sind, ist sicherzustellen, daß die Parameter gleichzeitig für die gegebenen Zielfunktionen eine Lösung mit
20 ausreichender Güte darstellen.

Bei der Behandlung mehrerer Zielgrößen ist es bekannt, sämtliche Zielgrößen durch Konvexkombination zu einer einzigen skalaren Zielgröße zusammenfassen. Das entstehende
25 skalare Optimierungsproblem kann sodann mit bekannten Verfahren gelöst werden. Eine Konvexkombination der Zielgrößen ist dabei die Summe aller Zielgrößen, jeweils multipliziert mit einem Faktor, wobei jeder Faktor größer oder gleich null ist und die Summe aller Faktoren eins ist.
30 Beispielsweise seien drei Zielgrößen z_1 , z_2 und z_3 gegeben, die zugehörigen Faktoren sind α_1 , α_2 und α_3 . Die Konvexkombination KK ist damit gegeben als

$$KK = \alpha_1 z_1 + \alpha_2 z_2 + \alpha_3 z_3$$

35

mit

2

$$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \geq 0 \quad \text{und} \quad \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1.$$

Die **Aufgabe** der Erfindung besteht darin, ein Verfahren und eine Anordnung zum Entwurf eines technischen Systems
5 anzugeben, wobei Parameter des Systems bestimmt werden, die im Hinblick auf mehrere vorgegebene Zielfunktionen optimal sind. Dabei werden alle Zielfunktionen gemäß der partiellen Vektorordnung einbezogen.

10 Diese Aufgabe wird gemäß den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich auch aus den abhängigen Ansprüchen.

Zur Lösung der Aufgabe wird ein Verfahren angegeben, das den
15 Entwurf eines technischen System ermöglicht. Das technische System umfaßt mehrere k Zielfunktionen

$$(f_1, f_2, \dots, f_k) = \underline{f}^T \quad (1),$$

20 wobei jede Zielfunktion von einer vorgegebenen Menge aus n Parametern

$$(x_1, x_2, \dots, x_n) = \underline{x}^T \quad (2),$$

25 zusammengefaßt in einem Parametervektor \underline{x} , beeinflussbar ist.

Ohne Beschränkung der Allgemeinheit wird davon ausgegangen, daß die Zielfunktionen maximiert werden sollen. Sofern eine der Zielfunktionen minimiert werden soll, wird sie durch
30 Multiplikation mit "-1" in eine zu maximierende Zielfunktion umgewandelt. Die hier gemachten Ausführungen können auf beide Fälle, Maximierung und Minimierung, in beliebiger Zusammensetzung gleichermaßen angewandt werden.

35 Die mehreren Zielfunktionen sind in Gleichung (1) als ein Vektor zusammengefaßt. Der hochgestellte Buchstabe "T" deutet an, daß der Vektor transponiert ist.

Für den Parametervektor \underline{x} wird eine Suchrichtung z derart bestimmt, daß durch einen Schritt entlang der Suchrichtung die Zielfunktionen, insbesondere alle Zielfunktionen, verbessert werden. Ein Parametervektor, der auf einem durch die Suchrichtung bestimmten Pfad liegt, wird für den Entwurf des technischen Systems eingesetzt.

In einer Weiterbildung werden für den Parametervektor \underline{x} die Gradienten der (insbesondere aller) Zielfunktionen berechnet und die Suchrichtung durch folgende Beziehung bestimmt:

$$z^T \cdot g_i > 0 \quad (3),$$

wobei z die Suchrichtung und g_i ($i=1,2,\dots,k$) die Gradienten der k Zielfunktionen bezeichnen.

Eine andere Weiterbildung besteht darin, daß Konvexkombinationen der Gradienten ermittelt werden, wobei diejenige Konvexkombination bestimmt wird, die den kleinsten Abstand zum Nullpunkt aufweist.

Eine Ausgestaltung besteht darin, daß iterativ entlang der Suchrichtung der Pfad fortgesetzt wird gemäß der Vorschrift

$$x_{j+1} = x_j + \sigma \cdot z_j \quad (4),$$

wobei σ eine Schrittweite und j einen Iterationsschritt bezeichnen. Bei der Iteration wird der nächste Parametervektor gleich dem Parametervektor x gesetzt und zu dem Schritt verzweigt, in dem die Gradienten der Zielfunktionen ermittelt werden. Dadurch ist gewährleistet, daß entlang eines Pfades, der entsprechend den Iterationen des Verfahrens mehrere Parametervektoren umfaßt, von Iterationsschritt zu Iterationsschritt der jeweils nächste Parametervektor im Vergleich zu seinem Vorgänger einen qualitativ verbesserten Entwurf (eine höhere Güte) des

technischen Systems insbesondere im Hinblick auf sämtliche Zielgrößen gewährleistet.

Die Schrittweite σ kann von abhängig vom Iterationsschritt
5 angepaßt werden. So ist es beispielsweise möglich, alle m
Schritte die Schrittweite zu verkürzen, insbesondere zu
halbieren (Bisektion).

Die Güte für den Entwurf des technischen Systems wird
10 abhängig für jede Zielfunktion bewertet. Jede Wertebelegung
der Parameter (bezeichnet als Wert des Parametervektors \underline{x})
ergibt für jede Zielfunktion einen Wert für die Güte.
Dementsprechend können die Zielfunktionen als miteinander
konkurrierend verstanden werden. Eine hohe Güte der einen
15 Zielfunktion entspricht i.d.R. einer niedrigen Güte zumindest
einer anderen Zielfunktion. Beispiele für Zielfunktionen,
insbesondere für konkurrierende Zielfunktionen, sind:

$$\underline{f}^T = (f_1, f_2) = (\text{Anlagenwirkungsgrad, Investitionskosten})$$

20

oder

$$\underline{f}^T = (f_1, f_2, f_3) = (\text{Produktdurchsatz, Ausfall-
wahrscheinlichkeit, Schadstoffausstoß}).$$

25

Dabei kann unterschiedlich, abhängig von der jeweiligen
Zielfunktion, eine Minimierung oder eine Maximierung
erfolgen: Im Beispiel ist der Anlagenwirkungsgrad zu
maximieren und die Investitionskosten sind zu minimieren. Ein
30 Gradient der Zielfunktion zeigt an, in welcher Richtung sich
eine Verbesserung (Maximierung oder Minimierung) einstellt.

Für einen erfolgreichen Entwurf, also eine gelungene
Kompromißlösung zwischen den konkurrierenden Zielfunktionen,
35 werden Werte für den Parametervektor bestimmt, die jeweils
effizient sind. Eine effiziente Wertebelegung des
Parametervektors bedeutet, daß kein Parameter des

Parametervektors verändert werden kann, ohne daß sich dadurch eine Verschlechterung für die Güte mindestens einer Zielfunktion ergäbe. Solch eine Wert des Parametervektors wird als effizienter Punkt oder als paretooptimaler Punkt
5 bezeichnet.

Ein technisches System kann eine Anlage der Verfahrenstechnik oder ein sonstiges System sein, das im Hinblick auf unterschiedliche Parameter auszulegen oder einzustellen ist.
10 Insbesondere können die Parameter des Parametervektors \underline{x} Auslegungsparameter oder Betriebsparameter des technischen Systems sein. Betriebsparameter kennzeichnen mögliche einstellbare Größen, während Auslegungsparameter insbesondere physikalische Abmessungen des technischen Systems beschreiben
15 und während des Betriebs zumeist nur mit hohem Aufwand angepaßt oder verändert werden können.

Eine andere Ausgestaltung besteht darin, daß die Iteration solange fortgesetzt wird, bis eine Abbruchbedingung erfüllt
20 ist. Die Abbruchbedingung kann darin bestehen, daß eine vorgegebenen Anzahl Iterationen durchgeführt wurde. In diesem Fall ist sichergestellt, daß das Verfahren nach einer gewissen Zeit terminiert und der zuletzt ermittelte Parametervektor eine geeignete Näherung für den gesuchten
25 effizienten Punkt darstellt. Eine besonders bevorzugte Abbruchbedingung ist der Zustand, in dem keine neue Suchrichtung mehr gefunden werden kann, die eine Verbesserung der Zielfunktion bewirken würde. Dies ist bevorzugt dann der Fall, wenn der Nullpunkt im Bereich der Konvexkombination
30 aller Gradienten liegt.

Eine andere Weiterbildung besteht darin, daß die Gradienten auf die Länge des kürzesten Gradienten normiert werden.

35 Wahlweise kann anhand des mit dem beschriebenen Verfahren ermittelten Parametervektors ein Neuentwurf des technischen Systems oder eine Anpassung eines bereits existierenden

technischen Systems erfolgen. In beiden Fällen handelt es sich um einen Entwurf (einmal als Neugenerierung und einmal zur Anpassung) im Sinne der vorliegenden Ausführungen.

- 5 Im Rahmen einer weiteren Ausgestaltung wird das technische System anhand der ermittelten Parameter realisiert bzw. eingestellt. Hierbei ist es von Vorteil, daß die Parameter in einem Parametervektor, der mittels der Erfindung bestimmt wurde, einen stabilen Betriebspunkt kennzeichnen und die
10 Einstellung des Systems auf diesen Betriebspunkt einen dauerhaft sicheren Betrieb des Systems/der Anlage gewährleistet.

Insbesondere liefert das beschriebene Verfahren nach einem
15 Durchgang mit gegebenenfalls zahlreichen Iterationen einen effizienten Punkt (Parametervektor).

Um **mehrere effiziente Punkte** zu erhalten, wird die Bestimmung der Suchrichtung mit einer **stochastischen Größe** überlagert.
20 Dies hat zur Folge, daß sich bei wiederholter Anwendung des Verfahrens mehrere unterschiedliche effiziente Punkte ergeben. Dabei ist es von Vorteil, daß durch die Überlagerung mit der stochastischen Größe mit hoher Wahrscheinlichkeit ein global effizienter Punkt bestimmt wird. Lokal effiziente
25 Punkte werden durch die Zufallsgröße überwunden, indem durch Streuung anhand der Zufallsgröße auch die Umgebung dieses vermeintlich effizienten Punktes auf weitere Verbesserungsmöglichkeit hin untersucht wird. Dies führt mit hoher Sicherheit dazu, daß in der Umgebung eines lokal
30 effizienten Punktes es eine weitere Verbesserungsmöglichkeit gibt, entlang derer der Pfad hin zum global effizienten Punkt weiterverfolgt wird.

Weiterhin ist es von Vorteil, daß durch die stochastische
35 Überlagerung mehrere verschiedene effiziente Punkte bestimmbar sind, die entlang einer Linie im n-Raum (n: Dimension des Parameterraums) liegen und somit, bei

ausreichend häufiger Wiederholung des Verfahrens, diese Linie mit effizienten Punkten deutlich markiert.

Im Rahmen einer Feinauslegung des technischen Systems, z.B. einer technischen Anlage, ist manchmal eine Einstellung gemäß den Vorgaben eines ermittelten effizienten Punkts (Parametervektor) nicht realisierbar. Ferner kann es sein, daß eine berechnete effiziente Einstellung in der Gesamtsicht aller Zielvorstellungen noch kein befriedigender Kompromiß ist. In solchen Fällen wird bevorzugt auf eine Alternativlösung, also einen anderen effizienten Punkt, zurückgegriffen. Die Erfindung ermöglicht anhand oben beschriebener Ausgestaltung die automatische Generierung einer Menge von Alternativlösungen, deren jede im Hinblick auf die Einstellung oder Auslegung des technischen Systems bzw. der technischen Anlage eine effiziente Realisierung darstellt.

Eine Ausgestaltung der Erfindung besteht darin, daß die stochastische Größe gegeben ist durch

$$\varepsilon B_t, \quad (5)$$

wobei ε eine für eine Skalierung vorgebbare Konstante und B_t eine Zufallszahl bezeichnen.

Zur Lösung der Aufgabe wird ferner eine Anordnung zum Entwurf eines technischen Systems angegeben, welches mehrere vorgegebene Zielfunktionen aufweist, wobei jede Zielfunktion von einer vorgegeben Menge von n Parametern beeinflusst wird und eine Wertebelegung der n Parameter in einem Parametervektor \underline{x} zusammengefaßt ist. Die Anordnung umfaßt eine Prozessoreinheit, die derart eingerichtet ist, daß

a) für den Parametervektor \underline{x} Gradienten aller Zielfunktionen bestimmbar sind;

- b) eine Suchrichtung derart bestimmbar ist, daß durch einen Schritt entlang der Suchrichtung die Zielfunktionen verbessert werden;
- 5 c) ein Parametervektor, der auf einem Pfad entlang der Suchrichtung liegt und Werte aller Zielgrößen verbessert, zum Entwurf des technischen Systems einsetzbar ist.
- 10 Diese Anordnung ist insbesondere geeignet zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens oder einer seiner vorstehend erläuterten Weiterbildungen.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand
15 der Zeichnung dargestellt und erläutert.

Es zeigen

Fig.1 einen Ablauf eines Verfahrens zum Entwurf eines
20 technischen Systems;

Fig.2 eine Skizze, die einen Parameterraum mit Gradienten der Zielfunktionen darstellt;

25 Fig.3 eine Prozessoreinheit.

In **Fig.1** ist ein Blockdiagramm dargestellt, das Schritte eines Verfahrens zum Entwurf eines technischen Systems darstellt.

30

Das technische System ist beschreibbar durch zwei oder mehrere Zielfunktionen, deren jede von einer vorgegeben Menge n Parameter abhängt, welche Parameter in einem Parametervektor \underline{x} zusammengefaßt sind. Eine Wertebelegung der
35 Parameter wird als Wert des Parametervektor \underline{x} bezeichnet. Dieser Wert des Parametervektors \underline{x} stellt eine mögliche Belegung der Parameter x_1, x_2, \dots, x_n dar. Bei den

Parametern handelt es sich vorzugsweise um Auslegungsparameter oder Betriebsparameter (Betriebspunkte) des technischen Systems, insbesondere einer technischen Anlage. Zur Ermittlung einer Wertebelegung für den
5 Parametervektor \underline{x} , der im Hinblick auf die Auslegung oder des Betriebs des technischen Systems ein effizienter Punkt (siehe obige Erklärung) ist, wird wie folgt verfahren:

In einem Schritt 101 wird ein Startwert für den
10 Parametervektor \underline{x}_i vorgegeben. In einem Schritt 102 werden die Gradienten der Zielfunktionen für den Parametervektor \underline{x}_i ermittelt. Anhand der durch die Gradienten vorgegebenen Richtungen wird in einem Schritt 103 eine Konvexkombination der Gradienten bestimmt. Ein durch diese Konvexkombination
15 beschriebener Bereich umfaßt mehrere Punkte (Parametervektoren), aus denen der Punkt ermittelt wird, der den kleinsten Abstand zum Nullpunkt aufweist. Ein Vektor durch den Nullpunkt und den ermittelten Punkt gibt eine Richtung an (vgl. Schritt 104), entlang der mit einer
20 vorgegebenen Schrittweite verfahren und dadurch der nächste Parametervektor \underline{x}_{i+1} bestimmt wird (vgl. Schritt 105). In Schritt 106 wird geprüft, ob eine Abbruchbedingung erfüllt ist. Die Abbruchbedingung ist vorzugsweise erfüllt, falls eine vorbestimmte Anzahl an Iterationsschritten ausgeführt
25 worden ist. Dann wird das Verfahren in einem Schritt 107 beendet, ansonsten wird in einem Schritt 108 der nächste Parametervektor \underline{x}_{i+1} gleich dem Parametervektor \underline{x}_i gesetzt und zu Schritt 102 verzweigt.

30 Insbesondere wird in Schritt 103 die mit einer stochastischen Größe überlagerte Konvexkombination der Gradienten ermittelt und somit sichergestellt, daß in jedem Iterationsschritt eine skalierte Zufallsgröße auf die Richtung Einfluß nimmt. Dadurch ergeben sich für einen Startwert \underline{x}_i unterschiedliche
35 Parametervektoren, wobei mit hoher Wahrscheinlichkeit nach einer vorgegebenen Anzahl von Iterationsschritten der aus dem Verfahren resultierende Parametervektor in der Nähe bzw. auf

einer Linie der effizienten Punkte liegt. Daher ist es möglich, Punkte dieser Linie durch wiederholte Anwendung des Verfahrens unter Berücksichtigung der stochastischen Größe zu erhalten. Die Anzahl der Wiederholungen ist schließlich
5 maßgebend für die Auflösung der beschriebener Linie effizienter Punkte.

In diesem Zusammenhang sei bemerkt, daß es keine Rolle spielt, auf welche Art und Weise die Funktionswerte der
10 Zielfunktionen ermittelt werden. So ist es möglich, daß ein rechnergestütztes Simulationsprogramm für ein komplexes technisches System einen Wert einer Zielfunktionen, abhängig vom Parametervektor \underline{x} , bestimmt oder aber die Ermittlung des Funktionswertes analytisch erfolgt. Auch die Festlegung der
15 Gradienten kann auf unterschiedliche Art erfolgen. Eine Möglichkeit ist der Einsatz numerischer Verfahren, eine andere die analytische Berechnung aufgrund gegebener mathematischer Zusammenhänge und eine weitere Möglichkeit ist das automatische Differenzieren.

20

Nachfolgend wird eine Einsatzmöglichkeit des Verfahrens näher erläutert.

Ein dem Parametervektor \underline{x}_i nachfolgender Parametervektor \underline{x}_{i+1}
25 wird bestimmt gemäß (4) unter optionalen Berücksichtigung der stochastischen Überlagerung der Suchrichtung gemäß (5).

Dabei ist es alternativ möglich, anhand einer oben bezeichneten rechnergestützten Simulation eine Reihe von
30 Werten für die Simulation des technischen Systems zu erhalten, wobei die Simulationenwerte geeignet verarbeitet werden müssen, ehe der Wert der jeweiligen Zielfunktion erhalten wird. Mit den Werten der Zielfunktionen werden die Gradienten bestimmt, das oben beschriebene Verfahren läuft ab
35 und es ergibt sich der nächste Parametervektor \underline{x}_{i+1} . Mit diesem nächsten Parametervektor \underline{x}_{i+1} werden wieder Simulationenwerte ermittelt und wie oben weiterverarbeitet.

Dies Schleife läuft für eine vorgegebene Anzahl Iterationen ab.

In jeder Iteration wird von dem jeweils aktuellen
 5 Parametervektor \underline{x}_i ein Weg (mit vorgegebener Schrittweite)
 zum jeweils nächsten Parametervektor \underline{x}_{i+1} zurückgelegt. Durch
 die einzelnen Schritte ergibt sich ein Pfad, der von dem
 Startpunkt \underline{x}_0 hin zu einem Endpunkt \underline{x}_m (als letzter
 Parametervektor des oben beschriebenen Verfahrens) führt,
 10 falls m Iterationsschritte durchgeführt wurden.

Die als Suchrichtung verwendete Konvexkombination KK wird
 bestimmt, indem die Gradienten der Zielfunktionen ermittelt
 werden. Im folgenden Beispiel seien drei Zielfunktionen f_1 ,
 15 f_2 und f_3 angenommen. Numerisch oder analytisch ergeben sich
 die drei Gradienten

$$\nabla f_1 = \bar{g}_1$$

$$20 \quad \nabla f_2 = \bar{g}_2 \quad (7).$$

$$\nabla f_3 = \bar{g}_3$$

Jede Konvexkombination ergibt sich somit durch

$$25 \quad KK = \alpha_1 \bar{g}_1 + \alpha_2 \bar{g}_2 + \alpha_3 \bar{g}_3 \quad (8a)$$

mit

$$30 \quad \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \geq 0 \quad (8b)$$

und

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1 \quad (8c).$$

35

Die Richtung \bar{s} entlang des Pfades wird bestimmt, indem das
 System aus (8a), (8b) und (8c) gelöst wird, wobei die

Richtung \bar{s} durch den Nullpunkt und demjenigen Punkt aus dem Bereich der Konvexkombination bestimmt ist, der den kürzesten Abstand vom Nullpunkt aufweist. Damit zeigt \bar{s} in die Richtung entlang oben definierten Pfades, auf dem in
5 vorgegebener Schrittweite der nächste Parametervektor liegt.

Im Folgenden soll anhand einer Flüssigkeitspumpe für den Mittelvakuumbereich auf die Abhängigkeiten zwischen Parametern und Zielfunktionen eingegangen werden. Im Beispiel
10 der Flüssigkeitspumpe sind die Zielgrößen

i. ein isothermischer Wirkungsgrad η in %,

ii. ein Saugvermögen \dot{V} in $\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$,

15

iii. ein Leistungsbedarf P in kW und

iv. ein Betriebsflüssigkeitsbedarf \dot{V}_F in $\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$.

20 Die Flüssigkeitspumpe hängt von neun wichtigen Einflußgrößen (Parameter) ab:

a) Saugschlitzbeginn,

b) Gehäuseverschiebung horizontal,

25

c) Gehäuseverschiebung vertikal,

d) Gehäuseradius,

e) Nabensteigung,

f) Gehäuseexzentrität,

g) Drucksichelende,

30

h) Druckschlitz-Ventilabdeckung und

i) B/D-Verhältnis.

Somit hängen bei der Flüssigkeitspumpe jede der Zielfunktionen i-iv von zumeist mehreren der Parameter a) bis
35 i) ab. In diesem Fall beträgt die Dimension des

Parametervektors $n=9$, die Gradienten der vier Zielfunktionen spannen eine Teilmenge im neundimensionalen Parameterraum auf. In diesem Bereich (Konvexkombination) ergibt sich die Suchrichtung mit oben bezeichneten Verfahren. Entlang der
5 Suchrichtung folgt ein neuer Wert für einen Parametervektor, für den wiederum Zielfunktionswerte und deren Gradienten zu bestimmen sind.

Fig.2 zeigt einen zweidimensionalen ($n=2$) x_1, x_2 -
10 Parameterraum, in dem ein Startpunkt (aktueller Parametervektor) \underline{x}_0 eingetragen ist. In Fig.2 soll anhand des Parameterraums geringer Dimension die Ermittlung der Suchrichtung \bar{s} veranschaulicht werden.

15 Zu dem Startpunkt \underline{x}_0 205 werden die Gradienten \bar{g}_1 , \bar{g}_2 und \bar{g}_3 der Zielfunktionen f_1 , f_2 und f_3 ermittelt. Der Gradient \bar{g}_1 zeigt zu Punkt 201, \bar{g}_2 zu Punkt 202 und \bar{g}_3 zu Punkt 203. Die Dreiecksfläche, bestimmt durch die Punkte 201, 202 und 203, umfaßt alle Punkte der Konvexkombination. Es soll derjenige
20 Punkt im Bereich der Konvexkombination (also in der besagten Dreiecksfläche) ermittelt werden, der zu dem Startpunkt \underline{x}_0 205 den geringsten Abstand aufweist. Diese Bedingung erfüllt der Punkt 204. Der Vektor von dem Startpunkt \underline{x}_0 205 zu dem Punkt 204 steht senkrecht auf der Verbindungslinie der Punkte
25 201 und 203. Der Punkt 204 ist der nächste Punkt $\underline{x}_{i=1}$ des Pfades zum effizienten Punkt für das zugrundeliegende technische System. In dem Punkt 204 sind wiederum die Gradienten der Zielfunktionen zu bestimmen und eine neue Suchrichtung nach beschriebenem Schema zu ermitteln.

30

In **Fig.3** ist eine Prozessoreinheit PRZE dargestellt. Die Prozessoreinheit PRZE umfaßt einen Prozessor CPU, einen Speicher SPE und eine Input/Output-Schnittstelle IOS, die über ein Interface IFC auf unterschiedliche Art und Weise
35 genutzt wird: Über eine Grafikschnittstelle wird eine Ausgabe auf einem Monitor MON sichtbar und/oder auf einem Drucker PRT ausgegeben. Eine Eingabe erfolgt über eine Maus MAS oder eine

Tastatur TAST. Auch verfügt die Prozessoreinheit PRZE über einen Datenbus BUS, der die Verbindung von einem Speicher MEM, dem Prozessor CPU und der Input/Output-Schnittstelle IOS gewährleistet. Weiterhin sind an den Datenbus BUS zusätzliche
5 Komponenten anschließbar, z.B. zusätzlicher Speicher, Datenspeicher (Festplatte) oder Scanner.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Entwurf eines technischen Systems,
 - 5 a) bei dem das technische System mehrere Zielfunktionen aufweist;
 - b) bei dem jede Zielfunktion von einer vorgegebenen Menge von n Parametern beeinflusst wird, wobei eine
10 Wertebelugung der n Parameter in einem Parametervektor \underline{x} zusammengefaßt ist;
 - c) bei dem für den Parametervektor \underline{x} eine Suchrichtung derart bestimmt wird, daß durch einen Schritt entlang
15 der Suchrichtung die Zielfunktionen verbessert werden.
 - d) bei dem ein Parametervektor, der auf einem Pfad entlang der Suchrichtung liegt, zum Entwurf des technischen Systems eingesetzt wird.
20
2. Verfahren nach Anspruch 1,
bei dem die Suchrichtung durch folgende Beziehung
bestimmt wird:
25
$$z^T \cdot g_i > 0,$$

wobei z die Suchrichtung und g_i ($i=1,2,\dots,k$) die Gradienten der k Zielfunktionen bezeichnen.
- 30 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
bei dem alle Zielfunktionen bei der Bestimmung der Suchrichtung berücksichtigt werden.
- 35 4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
bei dem Konvexkombinationen der Gradienten ermittelt werden, wobei diejenige Konvexkombination bestimmt wird,
die den kleinsten Abstand zum Nullpunkt aufweist.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem iterativ entlang der Suchrichtung der Pfad fortgesetzt wird gemäß der Vorschrift:

5

$$x_{j+1} = x_j + \sigma \cdot z_j,$$

wobei σ eine Schrittweite und j einen Iterationsschritt bezeichnen.

10

6. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem die Iteration solange fortgesetzt wird, bis eine Abbruchbedingung erfüllt ist.

15

7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem die Abbruchbedingung erfüllt ist, wenn der Nullpunkt im Bereich der Konvexkombination liegt.

20

8. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem die Abbruchbedingung erfüllt ist, wenn eine vorgegebene Anzahl Iterationen durchgeführt worden ist.

25

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der Parametervektor als Parameter Betriebspunkte und/oder Auslegungsparameter des technischen Systems umfaßt.

30

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das technische System anhand des aus den gewonnenen Parametern realisiert oder angepaßt wird.

35

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem zusätzlich in Schritt c) der Gradient mit einer stochastischen Größe überlagert wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, bei dem die stochastische Größe gegeben ist durch

εB_t ,

5 wobei ε eine für eine Skalierung vorgebbare Konstante und
 B_t eine Zufallszahl bezeichnen.

- 10 13. Anordnung zum Entwurf eines technischen Systems,
das mehrere vorgegebene Zielfunktionen aufweist, wobei
jede Zielfunktion von einer vorgegeben Menge von n
Parametern beeinflusst wird und eine Wertebelegung der n
Parameter in einem Parametervektor \underline{x} zusammengefaßt ist,
mit eineressoreinheit, die derart eingerichtet ist,
daß
- 15 a) für den Parametervektor \underline{x} Gradienten aller
Zielfunktionen bestimmbar sind;
- 20 b) eine Suchrichtung derart bestimmbar ist, daß durch
einen Schritt entlang der Suchrichtung die
Zielfunktionen verbessert werden;
- 25 c) ein Parametervektor, der auf einem Pfad entlang der
Suchrichtung liegt, zum Entwurf des technischen
Systems einsetzbar ist.

FIG 1

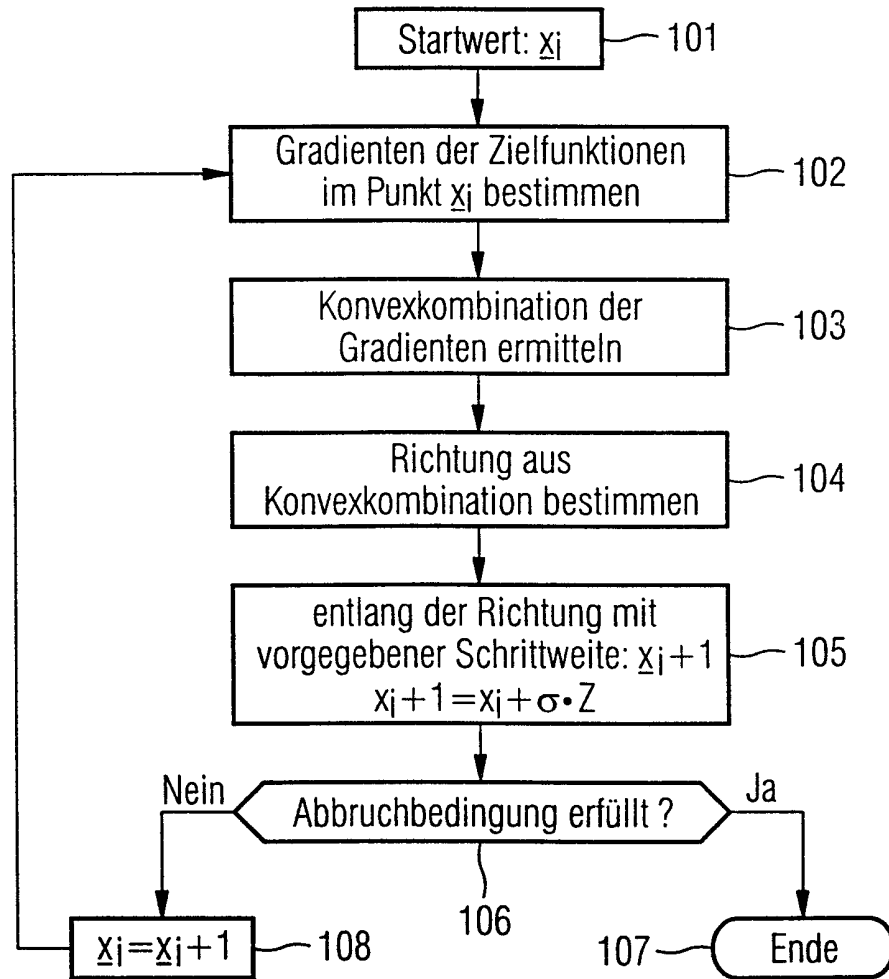


FIG 2

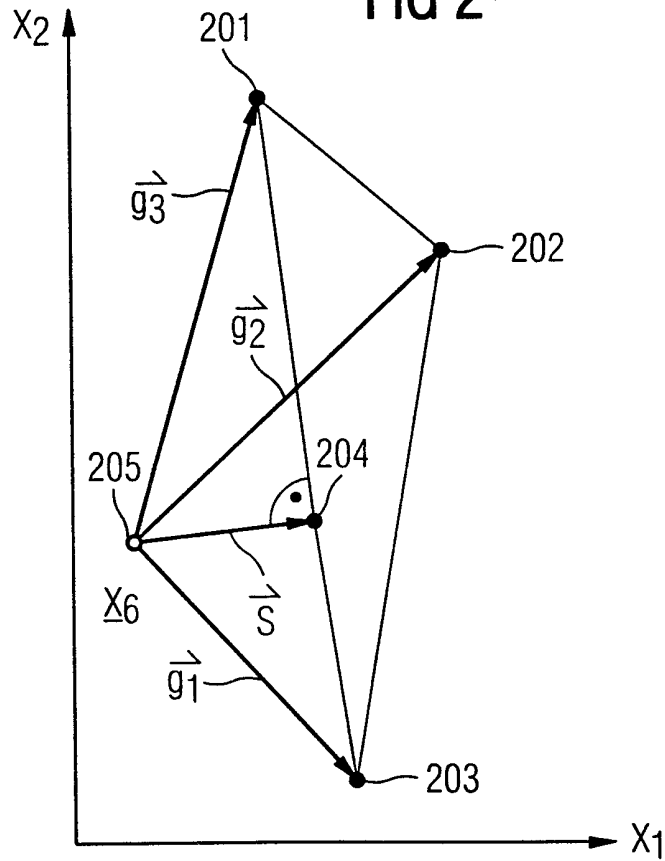


FIG 3

