



SCHWEIZERISCHE Eidgenossenschaft
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) **CH** **708 504 A1**

(51) Int. Cl.: **G06Q 10/06** (2012.01)

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

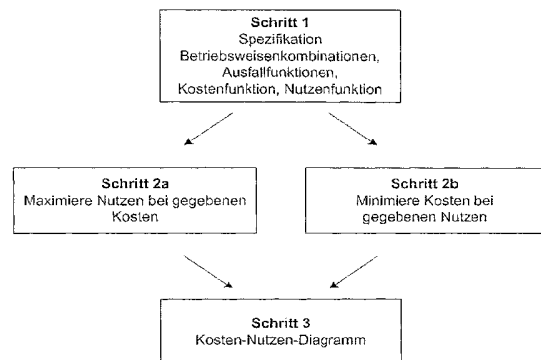
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTANMELDUNG**

<p>(21) Anmeldenummer: 01492/13</p> <p>(22) Anmeldedatum: 02.09.2013</p> <p>(43) Anmeldung veröffentlicht: 13.03.2015</p>	<p>(71) Anmelder: am-tec switzerland ag, Bahnhofstrasse 18 8197 Rafz (CH)</p> <p>(72) Erfinder: Jörg Sigrist, 8180 Bülach (CH) Christoph Heitz, 8353 Elgg (CH)</p> <p>(74) Vertreter: Frei Patentanwaltsbüro AG, Postfach 1771 8032 Zürich (CH)</p>
---	---

(54) **Verfahren zur Bestimmung einer optimalen Betriebsweise und zum Betrieb eines Portfolios technischer Anlagen.**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung von optimalen Betriebsweisen für die Betriebsmittel eines Portfolios technischer Betriebsmittel. Dabei ist mit Betriebsweise die Gesamtheit aller Regeln bezeichnet, die den Betrieb der Betriebsmittel über ihre gesamte oder noch verbleibende Nutzungsdauer beschreiben, inklusive der Nutzungsdauer selbst. Mit diesem Verfahren können insbesondere Betriebsmittelportfolios, welche einen nichtmonetären Nutzen erzeugen, also insbesondere Netzinfrastrukturen im öffentlichen Sektor, langfristig optimal betrieben werden. Das Verfahren beruht auf der Identifikation der möglichen Betriebsweisenkombinationen des Portfolios aller Betriebsmittel und einer auf Portfolioebene definierten Nutzen- und Ressourcenverbrauchsfunktion. Es wird ein Optimierungsproblem gelöst und als Resultat wird für jedes Betriebsmittel diejenige Betriebsweise identifiziert und angezeigt, welche entweder den maximalen Nutzen bei gegebenem Gesamtressourcenverbrauch stiftet, oder den minimalen Ressourcenverbrauch bei gegebenem zu erreichenden Nutzen hat. Eine Ressourcenverbrauch-Nutzen-Relation für das Gesamtportfolio kann abgeleitet werden, die den Portfolioeigner optimal unterstützt, den Trade-Off zwischen Ressourcenverbrauch und Nutzen zu lösen.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung einer optimalen Betriebsweise eines Portfolios von mehreren technischen Betriebsmitteln, die während ihrer Nutzungsdauer eine bestimmte technische Performance liefern.

[0002] Ein Portfolio von Betriebsmitteln kann beispielsweise ein Infrastrukturnetzwerk sein, etwa ein Stromversorgungsnetz, das aus Kabeln, Leitungen, Schaltanlagen, Transformatoren usw. besteht. Es kann auch eine industrielle Produktionsanlage sein, oder allgemein eine Ansammlung von technischen Betriebsmitteln, deren Betrieb einen Nutzen für den Portfolioeigner stiftet:

[0003] Eine Betriebsweise ist eine Vorschrift, wie ein einzelnes Betriebsmittel über seinen gesamten oder noch verbleibenden Lebenszyklus betrieben werden soll, und schliesst die Vorgabe des Ersetzungszeitpunktes bzw. der Nutzungsdauer des Betriebsmittels mit ein. Im einfachsten Fall spezifiziert eine Betriebsweise eines Betriebsmittels die Nutzungsdauer dieses Betriebsmittels. Eine Betriebsweise kann jedoch auch beliebig viele andere Vorgaben zum Betrieb während des Lebenszyklus enthalten, z.B. Art und Häufigkeit von Instandhaltungsmassnahmen, Vorgaben für Regelung oder Steuerung, usw. Sie schliesst alle Regeln mit ein, die den technischen Betrieb des Betriebsmittels vorgeben.

[0004] Eine Betriebsweisenkombination ist die Kombination der Betriebsweisen für alle Betriebsmittel des Portfolios.

[0005] Ein Eigner eines Portfolios technischer Betriebsmittel hat in der Regel für jedes Betriebsmittel viele verschiedene Möglichkeiten, es zu betreiben: er kann verschiedene Nutzungsdauern vorsehen, er hat verschiedene Möglichkeiten, während der Nutzungsdauer Instandhaltungsmassnahmen zu betreiben, er kann die Betriebsmittel unterschiedlich stark belasten, usw. Jede Kombination von Betriebsweisen erfordert den Einsatz von Ressourcen, z.B. Energie, Material, aber auch finanzielle Ressourcen um etwa Kapitalkosten, Instandhaltungskosten, oder andere Lebenszykluskosten zu decken. Gleichzeitig erzeugt die Kombination der Betriebsweisen ein bestimmtes technisches Verhalten jedes einzelnen Betriebsmittels, und damit auch des Portfolios der Betriebsmittel als Ganzes. Zu diesem technischen Verhalten gehört in der Regel das Störungs- oder Ausfallverhalten, aber es können auch andere technische Performancemasse wie z.B. Produktionsleistung sein. Üblicherweise erwartet der Eigner ein bestimmtes technisches Verhalten des Gesamtportfolios, etwa einen möglichst störungsfreien Betrieb, möglichst kurze Betriebsunterbrechungen, oder eine jederzeit verfügbare maximale Flexibilität des Gesamtportfolios. In den wenigsten Fällen kann dies auf das technische Verhalten von einzelnen Betriebsmitteln heruntergebrochen werden, meist handelt es sich um ein globales Verhalten des Gesamtsystems, das durch alle Betriebsmittel gemeinsam erzeugt wird.

[0006] Der Eigner des Betriebsmittelportfolios hat vom Betrieb des Portfolios einen bestimmten Nutzen. Im Falle eines Produktionsnetzwerkes ist der Nutzen die Fähigkeit, bestimmte Produkte in einer bestimmten Zeit mit einer bestimmten Qualität herstellen zu können, womit auf dem Markt Profit gemacht werden kann. Für ein Infrastrukturnetzwerk wie etwa ein Stromversorgungsnetz ist der Nutzen eine bestimmte Versorgungsqualität. Der Nutzen ist in der Regel eine Funktion, die abhängig ist vom technischen Verhalten des Betriebsmittelportfolios, typischerweise aber auch andere, nicht-technische Parameter enthält.

[0007] Ein bekanntes Beispiel einer Nutzenfunktion im Bereich der Infrastrukturnetzwerke ist z.B. das Mass SAIFI (System average interruption frequency index) oder SAIDI (system average interruption duration index). Im Fall des SAIFI wird die technische Ausfallrate der einzelnen Betriebsmittel, kombiniert mit deren relativer Wichtigkeit, ausgedrückt in Anzahl von Kunden, die von einem Ausfall betroffen sind, über das ganze System aufintegriert. Im Fall von SAIDI wird zusätzlich noch die Ausfalldauer berücksichtigt, die sowohl von technischen Gegebenheiten der Betriebsmittel als auch von organisatorischen Sachverhalten abhängt.

[0008] Im Fall eines Produktionsnetzwerkes ist der Nutzen für den Eigner einerseits abhängig vom technischen Verhalten der Betriebsmittel (z.B. Ausfallhäufigkeit, Produktionsqualität), andererseits aber auch von unternehmensinternen organisatorischen Gegebenheiten und vom aktuellen Marktumfeld.

[0009] Ein anderes bekanntes Mass ist der Return-on-Investment eines Portfolios technischer Anlagen, der die mit dem Betriebsmittelportfolio erzielbaren Einnahmen ins Verhältnis setzt zu den aufzuwendenden Kosten. Die Einnahmen und Kosten hängen wiederum vom Ausfallverhalten, dem sonstigen technischen Verhalten, aber auch externen Parametern zusammen.

[0010] Der mit einer vorgegebenen Nutzenfunktion gemessene momentane Nutzen eines Portfolios kann sich über die Zeit ändern, da alle Einflussparameter zeitveränderlich sein können. Ein Einfluss besteht in der Alterung der Betriebsmittel, die dazu führt, dass die Störungsrate oder Ausfallrate mit der Zeit zunimmt, und die technische Performance abnimmt. Instandhaltungsmassnahmen und Ersetzungen sollen dieser Tendenz entgegenwirken.

[0011] Der Nutzen eines Betriebsmittelportfolios ist also insbesondere abhängig von der Betriebsweise, denn diese beeinflusst das technische Verhalten. Der Portfolio-Eigner ist in der Regel an einer Maximierung des Nutzens interessiert. Einer der in der Praxis wichtigsten Einflussparameter, die vom Eigner kontrolliert werden können, ist die optimale Auswahl der Betriebsweise.

[0012] Um ein Betriebsmittelportfolio zu betreiben, und damit Nutzen zu generieren, muss der Eigner jedoch finanzielle und nichtfinanzielle Ressourcen einsetzen. Finanzieller Ressourcenbedarf entsteht z.B. in Form von Investitionskosten, Betriebskosten, oder Entsorgungskosten am Ende der Nutzungsdauer. Eine nichtfinanzielle Ressource kann etwa die Ar-

beitszeit von Instandhaltungsmitarbeitern sein. In der Regel können alle Ressourcen in einer gemeinsamen Einheit ausgedrückt werden. Üblicherweise werden monetäre Einheiten benutzt, dies ist jedoch nicht zwingend. Im Rahmen dieser Patentschrift bezeichnen wir den Ressourcenbedarf allgemein als «Kosten», die jedoch in beliebigen Einheiten ausgedrückt werden können (beispielsweise Zeit, Geld, Energie, Material, etc.).

[0013] Der Portfolio-Eigner ist in der Regel an der Minimierung der Kosten interessiert.

[0014] Sowohl der Nutzen als auch die Kosten werden durch die Wahl der Betriebsweisen der einzelnen Betriebsmittel beeinflusst. Das Entscheidungsproblem des Anlageneigners besteht nun darin, die optimale Betriebsweisen-Kombination für das Portfolio zu finden. In Fig. 14 wird dieser Zusammenhang grafisch dargestellt.

[0015] Ein wichtiger Spezialfall ist das Problem, für ein gegebenes Gesamtressourcenbudget die optimale Kombination von Betriebsweisen für die einzelnen Betriebsmittel des Portfolios zu finden. Dies kommt in der Praxis häufig vor, denn in vielen Situationen ist das Gesamtressourcenbudget nicht einfach veränderbar. Ein Beispiel ist der Bereich von öffentlichen Infrastrukturen, wo der Ressourcenverbrauch in der Regel in finanziellen Einheiten gemessen wird. Hier ist das Gesamtressourcenbudget in der Regel über einen Haushalt vorgegeben. Änderungen erfordern komplizierte politische Prozesse, und es liegt in der Regel nicht in der Entscheidungsgewalt des konkreten Betreibers (z.B. eines Stadtwerkes), das Gesamtbudget zu verändern. Im Bereich der Stromversorgung ist die Situation ähnlich, auch wenn Eigner eines Stromverteilungsnetzwerkes oft private Firmen sind. Da die Einnahmenseite jedoch über einen staatlichen Regulator kontrolliert wird, ist es in der Praxis enorm kompliziert, das Gesamtbudget zu ändern. Auch in industriellen Fertigungsbetrieben wird das Gesamtbudget in der Regel in der Geschäftsleitung festgelegt, und Änderungen erfordern eine Diskussion im Gesamtkontext.

[0016] Auf der anderen Seite ist die Verteilung des Gesamtressourcenbudgets auf die verschiedenen Betriebsmittel eine Aufgabe, die in der Regel einem Asset Manager oder Instandhaltungsleiter obliegt, und für die er eine grosse Entscheidungsgewalt hat. Eine der wichtigsten Fragen für diese Funktionen besteht deshalb genau in der Frage, wie ein gegebenes Gesamtressourcenbudget optimal verteilt werden soll.

[0017] Ein anderer Spezialfall besteht aus der Aufgabe, die optimale Kombination von Betriebsweisen zu finden, die eine bestimmte vorgegebene Langzeitperformance des Betriebsmittelportfolios zu finden. Optimal bedeutet in diesem Kontext, den Gesamtressourceneinsatz zu minimieren. Ein Produktionsunternehmen, das bestimmte Anforderungen an sein Anlagenportfolio stellt, dieses aber mit langfristig möglichst niedrigem Ressourceneinsatz betreiben möchte, muss genau diesen Spezialfall lösen.

[0018] Eine grosse Schwierigkeit in der Praxis ist, dass Ressourcenverbrauch und Nutzen oft in verschiedenen Einheiten ausgedrückt werden. Vor allem im Fall von Betriebsmittelportfolios, die einen vorwiegend nichtfinanziellen Nutzen erzeugen, während der an sich technische oder materielle Ressourcenverbrauch in monetären Einheiten ausgedrückt werden kann, ist dies sehr ausgeprägt. Beispiele sind alle Infrastrukturnetzwerke wie Stromverteilung, Wasserversorgung, Strassen- oder Schienennetz. Der primäre Zweck dieser Netzwerke liegt nicht darin, einer Firma zu ermöglichen, Geld zu verdienen, sondern soll für die Nutzer der Infrastruktur (in der Regel die Bevölkerung) eine qualitativ hochwertige Versorgung mit Energie, Wasser, etc. garantieren. Die eigentliche Zielgrösse wird also in Massen wie z.B. dem SAIFI gemessen, die Kosten werden aber in monetären Einheiten ausgedrückt. In einer solchen Situation, wo Kosten und Nutzen in verschiedenen Einheiten ausgedrückt werden, ist es nicht klar, was eigentlich die optimale Betriebsweise eines Portfolios ist. Verschiedene Betriebsweisen zeichnen sich durch unterschiedliche Kosten, aber auch durch unterschiedlichen Nutzen aus. Höherer Ressourceneinsatz liefert in der Regel einen höheren Nutzen. Ohne weitere Zusatzbedingungen ist es nicht möglich, hier Optimalität überhaupt zu definieren.

[0019] Es gibt Ansätze, sowohl Ressourceneinsatz als auch Nutzen zu monetarisieren und eine Zielfunktion zu konstruieren, in die beide Elemente einfließen. Diese kann dann als Optimierungskriterium verwendet werden. Es ist jedoch oft extrem schwierig, Kosten und Nutzen in einer gemeinsamen, zu optimierende Zielgrösse auszudrücken, und häufig wird das auch nicht gemacht.

[0020] Für Versorgungsinfrastrukturnetze wird zum Beispiel über politische Prozesse geregelt, wie viel Geld das Gemeinwesen bereit ist, für das Anlagenportfolio auszugeben. Wenn die Versorgungsqualität als zu niedrig erscheint, oder wenn viel Geld vorhanden ist, wird mehr investiert.

[0021] Wichtig in einem solchen Kontext ist es, für verschiedene Optionen sowohl Kosten als auch Nutzen zu bestimmen. Eine Optimierung und ein Variantenentscheid erfolgt dann über eine gemeinsame Betrachtung dieser beiden Variablen und erfordert eine abwägende Diskussion (Kosten-Nutzen-Analyse), die nicht durch einen Optimierungsalgorithmus ersetzt werden kann.

[0022] Bestehende Verfahren zur Bestimmung des optimalen Betriebs von Portfolios technischer Betriebsmittel fokussieren meist auf eine eindimensionale Zielgrösse, die maximiert oder minimiert werden soll.

[0023] Es gibt eine reichhaltige Literatur aus dem Bereich Instandhaltung und Physical Asset Management, die verschiedene Verfahren beschreibt, um optimale Betriebsweisen für technische Anlagen zu bestimmen. Eine Referenz des heutigen Standes der Technik ist Andrew Kennedy Skilling Jardine, Albert H. C. Tsang: Maintenance, Replacement, and Reliability: Theory and Applications, 2nd ed., CRC Press, 2013. Bei den in der Literatur beschriebenen Verfahren wird das Entscheidungsproblem in der Regel auf eine Kostenminimierung reduziert, wobei der betriebliche Nutzen entweder nicht

einfließt, oder aber nur sehr grob erfasst wird. Klassisches Beispiel ist die Berücksichtigung von Betriebsmittelausfällen als Nutzenminderung in Form von Produktionsausfallkosten, die zu den Kapitalkosten und Instandhaltungskosten addiert werden. Zwar sind Produktionsausfallkosten in der Regel ein Teil der Nutzenminderung, können aber die Nutzenreduktion oft nicht korrekt abbilden. Zum Beispiel sind die Produktionsausfallkosten im Bereich der Stromversorgung so klein, dass sie gegenüber den Kapitalkosten nicht ins Gewicht fallen. Eine Minimierung der Gesamtkosten als Summe von Kapital-, Instandhaltungs- und Ausfallkosten würde deshalb eine Verschlechterung der Qualität der Stromversorgung mit sich bringen, die zumindest in den entwickelten Ländern von der Allgemeinheit nicht akzeptiert werden würde. Die herkömmlichen, für den Fall eines industriellen Produktionsbetriebs entwickelten Methoden versagen hier also. Der tiefere Grund ist, dass die Optimierung den Nutzen der Betriebsmittel auf Gesamtsystemebene nicht richtig abbildet.

[0024] Das Zusammenfassen von Nutzen und Kosten in einer gemeinsamen Zielgrösse, wie bei den in der Literatur beschriebenen Verfahren, hat noch einen weiteren Nachteil. Das Resultat der Optimierung führt zu einer Betriebsweise, die als Resultat einen bestimmten Nutzen erzeugt und bestimmte Kosten verursacht, aber es ist nicht möglich, eine der beiden Grössen von vorneherein festzulegen. Die Frage nach der Betriebsweise, die bei gegebenen Gesamtkosten den maximalen Nutzen erzeugt, ist deshalb schon formal nicht zu beantworten.

[0025] Die Verfahren sind darüber hinaus nicht geeignet, optimale Betriebsweisen zu finden, wenn Ressourceneinsatz und Nutzen in unterschiedlichen Dimensionen und getrennt ausgedrückt werden, weil sie eine eindimensionale Zielgrösse erfordern.

[0026] Ein weiterer Nachteil der in der Literatur beschriebenen Verfahren ist der, dass nicht das Gesamtportfolio betrachtet wird, sondern die Analyse auf der Ebene einzelner Betriebsmittel durchgeführt wird. Typische Portfolio-Aspekte werden damit nicht berücksichtigt. Ein wichtiger Portfolio-Aspekt besteht etwa darin, dass man den Ressourceneinsatz an einer Anlage A erhöhen kann, bei gleichzeitiger Erniedrigung des Ressourceneinsatzes um den gleichen Betrag bei Anlage B. Dies führt zu identischem Ressourcenverbrauch, aber zu unterschiedlichem Nutzen. Verfahren, die auf einer Einzelanlagenbetrachtung aufbauen, können solche Effekte grundsätzlich nicht berücksichtigen. Die Frage etwa, welche Betriebsmittelkombination den kleinsten Ressourcenverbrauch erzeugt, um einen bestimmten Nutzen zu erzielen, kann mit diesen Verfahren nicht beantwortet werden.

[0027] In WO 2 013 082 724 A1 ist eine Vorrichtung beschrieben, mit der Instandhaltungsentscheidungen für ein Portfolio von «capital investments» getroffen werden können. Konkret wird beschrieben, wie optimale Ersetzungszeitpunkte für die einzelnen Betriebsmittel bestimmt werden, wobei das Risiko für das Verschieben von Ersetzungszeitpunkten in die Zukunft mitberücksichtigt wird. Im Unterschied zu der in der vorliegenden Patentschrift beschriebenen Erfindung geht es jedoch um eine rein finanzielle Optimierung (Claim 1: «...determine a financially optimal replacement date»).

[0028] Bei der Optimierung wird weder die technische Performance der einzelnen Betriebsmittel noch diejenige des gesamten Portfolios in Abhängigkeit der Entscheidungen explizit berücksichtigt. Mit dem Risikomass für das Verschieben eines Ersetzungszeitpunktes werden nur die Ausfallkosten berücksichtigt («the replacement deferral risk cost model estimating costs of failure»), nicht aber die Reduktion des Gesamtnutzens aufgrund der Ausfälle. Ausserdem wird weder eine Nutzenmaximierung angestrebt, noch können Nutzen und Kosten in verschiedenen Einheiten formuliert werden.

[0029] Ein Verfahren, das optimale Instandhaltungsmassnahmen für ein Portfolio von Gebäuden berechnet, ist in US 2013/0 124 251 A1 beschrieben. Eine zu optimierende Zielgrösse muss definiert werden, die Kostenreduktion, Minimierung der Treibhausgasemission, oder Minimierung der Energie enthält, oder beliebige Kombinationen dieser Zielgrössen. Ein Gesamtbudget kann als Nebenbedingungen vorgegeben werden. Nachteil dieses Verfahrens ist es, dass die Nutzungsdauer der Betriebsmittel (ausgedrückt durch den Zeitpunkt der Retrofit-Massnahme) von vorneherein festgelegt werden muss. Es ist zwar möglich, eine optimale Auswahl von vorgegebenen Instandhaltungsmassnahmen zu bestimmen, aber es ist prinzipiell mit dem Verfahren nicht möglich, die Betriebsweise über den gesamten Lebenszyklus der Betriebsmittel zu optimieren, insbesondere den optimalen Zeitpunkt für eine Retrofit-Massnahme zu bestimmen.

[0030] In US 2 009 177 515 A1 wird ein Verfahren beschrieben, um interaktive Investment-Optimierung zu betreiben mit dem Ziel, eine optimale Verteilung einer Investitionssumme auf verschiedene Klassen von Infrastrukturartikel zu finden. Dabei wird die Auswirkung einer bestimmten Teilinvestition auf den Zustand des Betriebsmittels mitberücksichtigt, und die Auswirkung der Zustände auf den Benutzer als Kriterium dargestellt. Nachteile dieses Verfahrens sind unter anderem, dass es nicht möglich ist, automatisch die optimale Kombination von Betriebsweisen abzuleiten, weil das Verfahren interaktiv aufgebaut ist, dass eine Lebenszyklusbetrachtung nicht vorgesehen ist, und dass das Verfahren nur dann funktioniert, wenn eine zusätzliche Investition auch zu einem verbesserten Zustand führt. Insbesondere der letzte Punkt ist in der Praxis und für eine Lebenszyklusbetrachtung oft nicht erfüllt.

[0031] Die bestehenden Verfahren weisen hinsichtlich des langfristigen Betriebs eines Portfolios von technischen Betriebsmitteln unterschiedliche Nachteile auf. Ein Hauptproblem liegt in der zu starken Fokussierung auf die Kosten der Anlagen, und der ungenügenden Modellierung des Nutzens, den der Betrieb des Portfolios generiert, und der abhängig ist von der Betriebsweise. Insbesondere bei Portfolios, deren Nutzen vorwiegend nichtmonetär ist, wie etwa Netzinfrastrukturen, liefert eine Kostenminimierung nicht die optimalen Betriebsweisen. Die Fragestellung, wie ein gegebenes Gesamtbudget von Ressourcen optimal eingesetzt werden kann, wird in der Regel nicht beantwortet.

[0032] Ein weiteres Problem stellt die oft auf eine Teillösung der Aufgabenstellung fokussierte Betrachtung dar. Während gewisse Verfahren ausschliesslich Ersatzzeitpunkte bestimmen und nicht das gesamte Spektrum aller möglichen Massnahmen des Asset Managements über den gesamten Lebenszyklus berücksichtigen (z.B. Reparaturen, Wartungs-, Verbesserungs- und Instandhaltungsvarianten) oder eine Vorselektion dieser vornehmen, haben andere Verfahren das Defizit, dass die Effektivitätsbewertung der Massnahmen auf den einzelnen Anlagen oder Anlagenklassen erfolgt, ohne dass das Gesamtportfolio als Ganzes berücksichtigt wird.

[0033] In Summe kann festgehalten werden, dass kein Verfahren existiert, welches aus allen möglichen Varianten, einen Pool technischer Anlagen zu betreiben, automatisch diejenige identifiziert, welche unter den gegebenen Rahmenbedingungen optimal sind.

[0034] Es ist deshalb Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren, ein Datenverarbeitungssystem und ein Computerprogramm zur Bestimmung einer optimalen Betriebsweise eines Portfolios von mehreren technischen Betriebsmitteln der eingangs genannten Art zu schaffen, welche die oben genannten Nachteile behebt und damit beispielsweise ermöglicht, die technischen Eigenschaften des Portfolios zu optimieren.

[0035] Diese Aufgabe lösen ein Verfahren, ein Datenverarbeitungssystem und ein Computerprogramm zur Bestimmung einer optimalen Betriebsweise eines Portfolios von mehreren technischen Betriebsmitteln mit den Merkmalen der entsprechenden unabhängigen Patentansprüche.

[0036] Das Verfahren zur Bestimmung einer optimalen Betriebsweise eines Portfolios technischer Betriebsmittel kann die folgenden zwei oder drei Schritte aufweisen.

[0037] Der erste Schritt weist vier Teilschritte auf.

[0038] Teilschritt i:

Zunächst wird eine Menge von möglichen Betriebsweisenkombinationen für das Portfolio der Betriebsmittel definiert.

[0039] Teilschritt ii:

Dann wird für jedes Betriebsmittel eine Funktion definiert, die für jede Betriebsweise, die in der Menge der in Teilschritt i vorgesehenen Betriebsweisenkombinationen für dieses Betriebsmittel vorkommt, berechnet, wie die Ausfall- oder Störungsrate des Betriebsmittels über seine gesamte oder noch verbleibende Nutzungsdauer ist. Ebenfalls können in diesem Teilschritt andere technische Performancemasse berechnet werden, falls sie für die im nächsten Teilschritt zu berechnende Nutzenfunktion von Bedeutung sind.

[0040] Teilschritt iii:

In einem dritten Teilschritt wird jeder Betriebsweisenkombination ein dazugehöriger Gesamtnutzen zugeordnet, der vom Ausfallverhalten mindestens eines Betriebsmittels abhängig ist (Nutzenfunktion). In der Regel ist die Nutzenfunktion abhängig vom Ausfallverhalten aller Betriebsmittel, und kann noch von zusätzlichen, in Teilschritt ii berechneten, technischen Eigenschaften abhängen.

Die Nutzenfunktion quantifiziert den durch das Betriebsmittelpportfolio gestifteten Nutzen in Abhängigkeit von der gewählten Betriebsweisenkombination und der damit erzielten technischen Performance.

[0041] Teilschritt iv:

Im letzten Teilschritt wird jeder Betriebsweisenkombination ein dazugehöriger Gesamtressourcenverbrauch zugeordnet (Ressourcenverbrauchsfunktion). Die Ressourcenverbrauchsfunktion beschreibt die Menge der im Ganzen einzusetzenden Ressourcen, was ebenfalls von den gewählten Betriebsweisen der Betriebsmittel abhängig ist.

[0042] Der zweite Schritt des Verfahrens besteht darin, entweder für ein gegebenes Gesamtressourcenbudget, auch Gesamtbudget genannt, diejenige Kombination von Betriebsweisen zu berechnen, die den Nutzen des Portfolios maximiert (Schritt 2a), oder für einen vorgegebenen Gesamtnutzen diejenige Kombination von Betriebsweisen zu finden, die den Ressourcenbedarf minimiert (Schritt 2b). Schritt 2a liefert für jedes Betriebsmittel die optimale Betriebsweise (unter der Randbedingung des gegebenen Gesamtbudgets), als auch eine Aussage, wie hoch der mit dem Ressourcenverbrauch C, der in dem gegebenen Gesamtbudget liegt, maximal erzielbare Nutzen N ist. Alternativ dazu liefert Schritt 2b für einen vorgegebenen Nutzen N, der erzielt werden soll, diejenige Kombination von Betriebsweisen, die den dafür notwendigen Ressourcenbedarf C minimiert.

[0043] Die Betriebsweisenkombination, die den Gesamtnutzen maximiert bzw. den Gesamtressourcenbedarf minimiert, wird dem Benutzer angezeigt. Dies geschieht, indem einem Nutzer mittels eines Ausgabegerätes oder Anzeigergerätes die Lösung des Optimierungsproblems so angezeigt wird, dass für jedes Betriebsmittel die jeweilige optimale Betriebsweise sichtbar gemacht wird. Das Ausgabegerät kann ein Bildschirm sein oder ein Drucker.

[0044] Der dritte, optionale Schritt besteht darin, Schritt 2a oder Schritt 2b mehrfach durchzuführen, für verschiedene Werte des Gesamtressourcenbudgets oder des Gesamtnutzens, und so verschiedene optimale Punkte (C,N) zu erzeugen. Diese Punkte werden grafisch oder tabellarisch so visualisiert, dass der Nutzer die Abhängigkeit des Nutzens von der Höhe der eingesetzten Ressourcen in einer Ressourcenbedarf-Nutzen-Funktion sehen kann. Es wird also ein einziges Diagramm erzeugt, welches sämtliche pareto-optimalen Betriebsweisenkombinationen und deren Ressourcenverbrauch und Nutzen darstellt. Mit dieser Darstellung kann der Anlageneigner eine quantitative Ressourcenbedarf-Nutzen-Analyse oder Kosten-Nutzen-Analyse durchführen, und den Betriebspunkt des Gesamtportfolios festlegen.

[0045] Das beschriebene Verfahren erlaubt es Betreibern von technischen Betriebsmittelportfolios, diejenigen Betriebsweisen für die Betriebsmittel zu bestimmen, die im Gesamtkontext optimal sind. Dabei bezieht sich der Begriff Betriebsweise auf den gesamten Lebenszyklus des Betriebsmittels. Eine Betriebsweise ist eine Vorschrift, wie ein einzelnes Betriebsmittel über seinen gesamten oder noch verbleibenden Lebenszyklus betrieben werden soll, und schliesst die Vorgabe des Ersetzungszeitpunktes bzw. der Nutzungsdauer des Betriebsmittels mit ein.

[0046] Vorteile gegenüber herkömmlichen Verfahren des Physical Asset Managements schliessen folgende Charakteristika mit ein:

- Die Optimierung bezieht das Gesamtsystem mit ein und berücksichtigt insbesondere Portfolioeffekte, die durch Ressourcenverschiebung von einem Betriebsmittel auf das andere hervorgerufen werden.
- Ressourcenverbrauch und Nutzen können in verschiedenen Einheiten ausgedrückt werden. Es ist nicht nötig, beide Dimensionen in einer gemeinsamen, z.B. monetären, Einheit auszudrücken.
- Die optimale Betriebsweise bezieht sich auf das Management über den gesamten Lebenszyklus, und nicht nur auf eine einmalige Entscheidung.
- Ressourcenverbrauch und Nutzen werden auf dem Gesamtsystem definiert. Damit können Abhängigkeiten der Betriebsmittel in Bezug auf Ressourcenverbrauch oder Nutzenerzeugung berücksichtigt werden.
- Die in der Praxis sehr relevante Frage nach der optimalen Verwendung eines gegebenen Gesamtressourcenbudgets wird durch Schritt 1 und 2a des Verfahrens direkt beantwortet.

[0047] Weiterer Vorteil ist, dass die durch die Nutzenfunktion definierten strategischen Unternehmensziele mit dem Verfahren direkt in operative Vorgaben übersetzt werden können. Die Erfindung erlaubt damit die optimale Realisierung eines ganzheitlichen und bruchlosen Asset Managements von technischen Anlagen.

[0048] Das Datenverarbeitungssystem zur Bestimmung einer optimalen Betriebsweise eines Portfolios von mehreren technischen Betriebsmitteln weist Speichermittel mit darin gespeicherten Computerprogrammcodemitteln auf, welche ein Computerprogramm beschreiben, und Datenverarbeitungsmittel zur Ausführung des Computerprogramms, wobei die Ausführung des Computerprogramms zur Durchführung des beschriebenen Verfahrens führt.

[0049] Das Computerprogramm zur Bestimmung einer optimalen Betriebsweise eines Portfolios von mehreren technischen Betriebsmitteln ist in einen internen Speicher einer digitalen Datenverarbeitungseinheit ladbar und weist Computerprogrammcodemittel auf, welche, wenn sie in einer digitalen Datenverarbeitungseinheit ausgeführt werden, diese zur Ausführung des beschriebenen Verfahrens bringen. In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist ein Computerprogrammprodukt einen Datenträger, respektive ein computerlesbares Medium auf, auf welchem die Computerprogrammcodemittel gespeichert sind.

[0050] Weitere Ausführungsformen gehen aus den abhängigen Patentansprüchen hervor. Folgende Definitionen haben hier Gültigkeit:

- a. Die Nutzenfunktion des Portfolios ordnet jeder Betriebsweisenkombination einen Nutzen zu. Sie ist eine Funktion der Ausfallrate mindestens eines Betriebsmittels, möglicherweise anderer technischer Performancefaktoren, die durch die Betriebsweise beeinflusst werden, und möglicherweise anderer nichttechnischer Faktoren. Dabei wird das Verhalten aller die Nutzenfunktion beeinflussenden Grössen über einen bestimmten zukünftigen Zeitraum betrachtet, der begrenzt oder auch beliebig lang oder unendlich lang sein kann. Die Nutzenfunktion hängt insbesondere ab von den gewählten Betriebsweisen für die Betriebsmittel.
- b. Die Kostenfunktion des Portfolios ist eine Angabe über die für eine gegebene Betriebsweisenkombination notwendigen Ressourcen für den Betrieb des Portfolios. Dabei wird der gleiche Zeitraum betrachtet wie bei der Definition der Nutzenfunktion.

[0051] In Fig. 1 werden die Schritte des Verfahrens grafisch dargestellt.

[0052] Die Aufteilung in diese drei Schritte hat folgende Vorteile:

- Das Resultat von Schritt 1 und 2a liefert automatisch die Antwort auf die Fragestellung, wie eine optimale Aufteilung eines Gesamtbudgets auf die verschiedenen Betriebsmittel geschehen soll, und wie genau diese Teilbudgets eingesetzt werden sollen. Es kann damit die zentrale Fragestellung des Asset Managers beantwortet werden. Wenn das Betriebsmittelportfolio mit der berechneten optimalen Betriebsweisenkombination betrieben wird, wird sichergestellt, dass das gegebene Gesamtressourcenbudget nicht überschritten wird, aber jederzeit der maximale Nutzen generiert wird. Somit wird das technische Verhalten des Betriebsmittelportfolios so manipuliert, dass im Hinblick auf die Nutzenfunktion das bestmögliche Resultat erzielt wird.
- Das Resultat von Schritt 1 und 2b liefert automatisch die Antwort auf die Fragestellung, wie viele Ressourcen benötigt werden, um einen vorgegebenen Gesamtnutzen zu erzielen, und wie genau diese Ressourcen eingesetzt werden müssen. Betreibt man das Portfolio nach dieser so berechneten optimalen Betriebsweisenkombination, wird damit das technische Verhalten so optimiert, dass der angestrebte Nutzen mit einem Minimum an Ressourcen erzielt wird.
- Die Darstellung aus Schritt 3 integriert die Beziehung zwischen Ressourceneinsatz und damit erzieltm Nutzen auf Gesamtsystemebene, und liefert damit eine optimale Darstellung für eine Kosten-Nutzen-Analyse.

[0053] In der Kombination stellt das Verfahren also sicher, dass in einer Situation, wo Ressourcenverbrauch und Nutzen durch die Wahl der Betriebsweisen für die Betriebsmittel beeinflusst werden, die optimale Betriebsweise für jedes einzel-

ne Betriebsmittel bestimmt werden kann. Falls entweder die zur Verfügung stehenden Gesamtressourcen, oder der zu erzielende Gesamtnutzen schon vorgegeben ist, reichen Schritt 1 und 2 schon aus.

[0054] Im Folgenden werden mögliche Realisierungen der drei Schritte weiter beschrieben, und verschiedene Ausführungsformen skizziert.

Schritt 1 (Spezifikation der Betriebsweisen, der Ausfallfunktion, und der Nutzen- und Ressourcenverbrauchsfunktion)

Teilschritt i:

[0055] Im ersten Teilschritt von Schritt 1 des Verfahrens wird zunächst für jedes Betriebsmittel i ($i=1, \dots, N$) eine Menge von m_i verschiedenen Betriebsweisen festgelegt, die für dieses Betriebsmittel möglich sind. Die m_i verschiedenen möglichen Betriebsweisen für Betriebsmittel i werden mit dem Parameter j_i durchgezählt. Die verschiedenen Betriebsweisen können sich unterscheiden z.B. in der Nutzungsdauer, der Art und Intensität der Instandhaltung während der Nutzungsdauer, der Art und Stärke der Benutzung des Betriebsmittels, usw. Eine der möglichen Betriebsweisen kann auch dem Fall entsprechen, dass das Betriebsmittel gar nicht erst angeschafft und betrieben wird. Jede Betriebsweise wird durch einen Satz Parameter beschrieben.

[0056] Auf Portfolioebene hat man eine Kombination von einzelnen Betriebsweisen. Diese Kombination von Betriebsweisen wird mit KW bezeichnet, wobei KW durch einen Vektor ausgedrückt werden kann, der für jedes Betriebsmittel die jeweils gewählte Betriebsweise angibt:

$$KW = (j_1, j_2, \dots, j_N) , \quad j_i \in [1, 2, \dots, m_i]$$

[0057] Falls alle Betriebsweisen frei kombiniert werden können, ist die Anzahl $\#KW$ von verschiedenen Kombinationen das Produkt der Anzahl der möglichen Betriebsweisen der einzelnen Betriebsmittel:

$$\# KW = m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_N$$

[0058] Falls nicht alle Kombinationen möglich sind, reduziert sich die Anzahl $\#KW$ entsprechend. Die Menge aller möglichen Kombinationen wird mit M_{KW} bezeichnet.

[0059] Die Spezifikation der Betriebsweisenkombinationen kann beispielsweise durch Benutzereingaben realisiert werden, oder indem eine entsprechend computerlesbare Darstellung von einem Datenspeicher gelesen wird, oder indem ein computergestütztes Berechnungsprogramm die Menge aller möglichen Betriebsweisenkombinationen berechnet.

Teilschritt ii:

[0060] Im zweiten Teilschritt wird für jedes Betriebsmittel die Ausfallfunktion bestimmt, welche angibt, wie hoch die Ausfall- oder Störungsrate ist, gegeben eine der in Teilschritt i definierten Betriebsweisenkombination. Jeder Betriebsweisenkombination wird also jedem Betriebsmittel $i=1, \dots, N$ eine bestimmte Ausfall- oder Störungsrate zugeordnet, die das Ausfall- oder Störungsverhalten des betrachteten Betriebsmittels charakterisiert. Aufgrund der Alterung der Betriebsmittel ändert sich das Ausfall- oder Störungsverhalten mit der Zeit. Die Ausfallfunktion kann somit z.B. durch eine Hazardfunktion beschrieben werden:

[0061] Ausfallrate bzw. Störungsrate = $h(t, KW)$

[0062] Dabei bezeichnet $h()$ die Ausfallrate bzw. Störungsrate, abhängig von den zwei Parametern t (Alter des Betriebsmittels) und KW (Betriebsweisenkombination, bzw. eine parametrische Darstellung derselben).

[0063] Die Ausfallfunktion kann durch Benutzereingaben definiert werden, oder indem eine vorher auf einem Datenspeicher gespeicherte Darstellung eingelesen wird, oder indem eine Berechnungsvorschrift definiert oder von einem Datenträger eingelesen wird, die aus der Angabe der Betriebsweise des Betriebsmittels die dazugehörige Ausfallfunktion berechnet.

[0064] Die Ausfall- oder Störungsrate der Betriebsmittel ist ein Input für den Teilschritt iii, in dem die Nutzenfunktion bestimmt wird.

Teilschritt iii:

[0065] Im dritten Teilschritt wird eine Nutzenfunktion definiert, die den Nutzen definiert, den das Betriebsmittelportfolio unter der gewählten Betriebsmittelkombination erzeugt:

$$N = N(KW), \quad KW \in M_{KW}$$

[0066] Der Nutzen ist ein Skalar, der abhängt von der technischen Performance der Betriebsmittel (insbesondere dem Ausfall- oder Störungsverhalten), die wiederum durch die jeweilige Betriebsweise erzeugt wird.

[0067] Eine wichtige Ausführungsform der Nutzenfunktion besteht darin, dass der Nutzen des Gesamtportfolios als Summe einzelner Teilnutzen der Einzelbetriebsmittel modelliert wird.

$$N(KW) = \sum_{i=1}^N N_i(j_i)$$

[0068] Die Nutzenfunktion kann in einer beliebigen Einheit ausgedrückt werden, die nicht der Einheit der Ressourcenverbrauchsfunktion zu entsprechen braucht.

[0069] In einer Variante des Verfahrens wird der Nutzen als das Negative der gewichteten mittleren Ausfallrate der Betriebsmittel definiert:

$$N(KW) = - \sum_{i=1}^N \gamma_i \bar{h}_i(j_i)$$

wobei \bar{h}_i die über die Nutzungsdauer gemittelte Ausfallrate des Betriebsmittels i unter der gewählten Betriebsweise j_i ist. Ein solcher Ansatz wird etwa im Risikomanagement verwendet, wo der Gewichtungsfaktor γ_i der Schadenshöhe eines Ausfalls entspricht. Geringeres Risiko entspricht hier einem höheren Nutzen. Auch gebräuchliche Qualitätsmasse für Infrastrukturnetze wie z.B. SAIDI oder SAIFI haben diese Form.

[0070] Eine andere Ausführungsform besteht darin, den zukünftigen Nutzen abzudiskontieren, und über die gesamte Zukunft aufzusummieren (net present value)

$$N(KW) = - \sum_{i=1}^N \gamma_i \sum_{t=0}^{\infty} h_i(t, j_i) \alpha^t$$

[0071] Hierbei bezeichnet $h_i(t, j_i)$ die Ausfallrate des Betriebsmittels i zum Alter t , unter der Betriebsweise j_i . Der Faktor $\alpha < 1$ ist ein Diskontfaktor.

[0072] Falls der Gesamtnutzen auf Portfolioebene nicht eine einfache Summe von Teilnutzen ist, kann die Nutzenfunktion auch Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Betriebsmitteln berücksichtigen.

[0073] Eine weitere Variante besteht darin, dass man andere technische Performancemasse wie z.B. Produktionsleistung oder Betriebssicherheit in der Nutzenfunktion berücksichtigt oder beliebige Kombinationen davon.

[0074] Die Nutzenfunktion kann durch Benutzereingaben definiert werden, oder indem eine vorher auf einem Datenspeicher gespeicherte Darstellung eingelesen wird, oder indem eine Berechnungsvorschrift definiert oder von einem Datenträger eingelesen wird, die aus der Angabe der Betriebsweise des Betriebsmittels die dazugehörige Ausfallfunktion berechnet.

Teilschritt iv:

[0075] Eine Ressourcenverbrauchsfunktion C wird definiert, die den Ressourcenverbrauch des Portfolios angibt, in Abhängigkeit der gewählten Betriebsweisenkombination KW :

$$C = C(KW), \quad KW \in M_{KW}$$

[0076] In der Regel ist die Ressourcenverbrauchsfunktion stark zeitabhängig. Der Energieverbrauch kann etwa durch Abnutzung im Laufe der Nutzungsdauer ansteigen. Der Verbrauch an Arbeitszeit von Mitarbeitern kann durch ansteigende Störungsraten ebenfalls steigen. Insbesondere der Verbrauch an finanziellen Ressourcen ist stark zeitabhängig. Am Anfang der Nutzungszeit fällt eine grosse Investitionssumme an, Revisionen werden zu bestimmten Zeitpunkten fällig, und am Ende der Nutzungsdauer fallen Kosten für die Demontage und Entsorgung an.

[0077] Analog zur Nutzenfunktion ist deshalb die Ressourcenverbrauchsfunktion auch von der Zeit abhängig. Wichtige Ausführungsformen sind deshalb der zeitlich gemittelte Ressourcenverbrauch, oder ein Net present value des Ressourcenverbrauchs, analog zur Nutzenfunktion.

[0078] Gemäss einer Ausführungsform wird für C die Summe der Ressourcenverbräuche Q der Einzelbetriebsmittel, gemittelt über deren Lebensdauer, verwendet. Diese sind in der Regel einfach zu bestimmen, wenn die Betriebsweise festgelegt wird.

$$C = \sum_{i=1}^N C_i(j_i)$$

[0079] Als Beispiel soll ein Betriebsmittel betrachtet werden, bei dem der Ressourcenverbrauch mit den Kosten identifiziert respektive als Kosten ausgedrückt wird. Zusätzlich wird zur Vereinfachung des Beispiels angenommen, dass nur Investitionskosten, Instandhaltungskosten, Betriebskosten und Veräusserungsgewinn am Ende der Nutzungsdauer eine Rolle spielen. Die Betriebsweise möge als einzigen Parameter die Nutzungsdauer T enthalten, d.h. die Art und Weise des Betriebs sei festgelegt, aber für die Nutzungsdauer gibt es verschiedene Optionen. Für jede Nutzungsdauer T seien die mittleren jährlichen Betriebskosten mit $B_k(T)$, und die mittleren jährlichen Instandhaltungskosten mit $I_k(T)$ bezeichnet, jeweils berechnet über die gesamte Nutzungsdauer. Der Wiederverkaufswert am Ende der Nutzungsdauer sei mit $-I_2(T)$ bezeichnet. Andere Arten von Ressourcenverbräuchen werden nicht berücksichtigt. Es sei darauf hingewiesen, dass in diesem Beispiel, wie auch in den folgenden, der Ressourcenverbrauch in monetären Grössen ausgedrückt wird. Dies ist

aber nicht zwingend – der Ressourcenverbrauch kann in beliebigen Einheiten ausgedrückt werden, z.B. in Energieeinheiten, Personalstunden, o.ä., je nach dem betrachteten Fall.

[0080] Im betrachteten Beispiel wird jeder Betriebsweise (charakterisiert durch die Nutzungsdauer T) ein Ressourcenverbrauch (Kosten) zugeordnet, der sich als mittlerer jährlicher Ressourcenverbrauch berechnet:

$$C_i(T_i) = \frac{(I_i - I2_i(T_i) + Bk_i(T_i) + Ik_i(T_i))}{T_i}$$

[0081] Gemäss einer anderen Ausführungsform wird der Ressourcenverbrauch für jedes Betriebsmittel mit abdiskontierten Kosten über die gesamte Zukunft definiert:

$$C_i(T_i) = \sum_{t=1}^{\infty} [I_i(T_i) + I2_i(T_i) + Bk_i(T_i) + Ik_i(T_i)] \alpha^t$$

wobei α den jährlichen Diskontfaktor bezeichnet.

[0082] Im Allgemeinen ist der Gesamtressourcenverbrauch nicht einfach eine Summe von Einzelverbräuchen, sondern es kann Wechselwirkungen geben. Beispielsweise kann man Betriebsmittel, die den gleichen Lebenszyklus haben, gleichzeitig auswechseln, was normalerweise geringere Kosten verursacht als wenn man die Betriebsmittel unabhängig voneinander betrieben würde. Solche Wechselwirkungen können in der Kostenfunktion C berücksichtigt werden.

[0083] In der folgenden Variante der Definition des Gesamtressourcenverbrauchs werden solche Wechselwirkungen mittels Wechselwirkungstermen berücksichtigt:

$$C = \sum_{i=1}^N C_i(j_i) - \sum_{i,i'=1}^N S_{ii'}(j_i, j_{i'})$$

[0084] Wobei $S_{ii'}(j_i, j_{i'})$ einen Synergiegewinn bezeichnet, der in der Kombination der Betriebsweise j_i für Betriebsmittel i , und $j_{i'}$ für Betriebsmittel i' realisiert wird.

[0085] Die Nutzenfunktion kann in einer beliebigen Einheit ausgedrückt werden, die nicht der Einheit der Ressourcenverbrauchsfunktion zu entsprechen braucht.

Schritt 2a (Optimale Kombination von Betriebsweisen für vorgegebenen Gesamtressourcenverbrauch)

[0086] Gegeben sei ein vorgegebenes Gesamtressourcenbudget B , das den zulässigen Ressourcenverbrauch für das Gesamtportfolio bezeichnet. Dies kann z.B. ein maximaler Energieverbrauch sein, oder ein maximal zulässiger Kostenverbrauch. Schritt 2a besteht darin, die unter dieser Randbedingung optimale Kombination von Betriebsweisen zu bestimmen.

[0087] Grafisch kann man jede Kombination von Betriebsweisen als einen Punkt in einem zweidimensionalen Raum darstellen, wobei die eine Koordinate den Gesamtressourcenverbrauch $C(KW)$ der Kombination KW von Betriebsweisen angibt, die andere Koordinate den erzeugten Nutzen $N(KW)$. In Fig. 2 ist dies schematisch dargestellt. Die Betriebsweisenkombination A erzeugt den Gesamtressourcenverbrauch C_A , und liefert den Nutzen N_A .

[0088] Die optimale Kombination der Betriebsweisen KW_{opt} unter gegebenem Gesamtbudget wird definiert als diejenige Kombination, die den maximalen Nutzen N erzeugt, deren Kosten aber B nicht übersteigt. Das entsprechende Optimierungsproblem lautet:

$$KW_{opt} = \arg \max_{KW \in M_{KW}} N(KW)$$

mit $C(KW) \leq B$

[0089] In Fig. 2 ist dieser Punkt eingezeichnet.

[0090] Dieses Optimierungsproblem lässt sich automatisch lösen, wenn alle möglichen Betriebsweisenkombinationen spezifiziert sind. Für Fälle mit wenigen Betriebsmitteln ist dies mit Enumerationsverfahren möglich. Wenn die Anzahl #KW von möglichen Betriebsweisenkombinationen zu gross wird, können heuristische diskrete Optimierungsverfahren angewandt werden, um in vernünftig kurzer Zeit zu einer guten Lösung zu kommen.

[0091] Eine besonders wichtige Ausführungsform der näherungsweise Lösung dieses Optimierungsproblem kann angewandt werden, wenn sich sowohl Ressourcenverbrauch als auch Nutzen als Linearkombination von Einzelverbräuchen $C_i(j_i)$ bzw. Einzelnutzen $N_i(j_i)$ ergeben, und die Betriebsweisen für die einzelnen Betriebsmittel unabhängig voneinander gewählt werden können:

$$C(KW) = C_0 + \sum_{i=1}^N C_i(j_i)$$

$$N(KW) = N_0 + \sum_{i=1}^N \beta_i N_i(j_i)$$

[0092] Dabei wird KW durch den Vektor (j_1, j_2, \dots, j_N) definiert. Die Gewichtungsfaktoren $\beta_i > 0$ spezifizieren den Einfluss, den der Teilnutzen $N_i(j_i)$ auf den Gesamtnutzen N hat. C_0 entspricht einem Grundressourcenverbrauch, der nicht von der Betriebsweise abhängt, und N_0 entspricht einem Grundnutzen, der auch vorhanden wäre, wenn alle Teilnutzen Null sind.

[0093] Für die Lösung des Optimierungsproblems von Schritt 2a kann man hier von einem Ressourcen-Nutzen-Diagramm für jedes Einzelbetriebsmittel ausgehen, wie z.B. in Fig. 3 beispielhaft für nur zwei Betriebsmittel dargestellt ist.

[0094] In einem ersten Schritt wird für jedes Betriebsmittel der obere Ast der konvexen Hülle aller Punkte bestimmt (Fig. 4).

[0095] Für jedes Betriebsmittel führt man jetzt folgende Schritte durch:

1. Finde den Punkt auf der oberen konvexen Hülle mit dem kleinsten Ressourcenverbrauch (der Punkt, der am weitesten links liegt)
2. Gehe nach rechts zum nächsten Punkt auf der konvexen Hülle. Notiere den zusätzlichen Ressourcenverbrauch ΔC und den zusätzlichen Nutzen ΔN .
3. Wiederhole Punkt 2 bis zum letzten Punkt des oberen Astes der konvexen Hülle.

[0096] Als Beispiel ist dies in Fig. 5 für das erste Betriebsmittel dargestellt.

[0097] Als Resultat erhält man für jedes Betriebsmittel eine Tabelle der folgenden Art:

Betriebsmittel i	
$\Delta C(1)$	$\Delta N(1)$
$\Delta C(2)$	$\Delta N(2)$
$\Delta C(3)$	$\Delta N(3)$
$\Delta C(4)$	$\Delta N(4)$

Diese Tabellen werden nun für alle Betriebsmittel in einer gemeinsamen Tabelle zusammengefasst und die Tabelle nach absteigendem Quotient AN/AC geordnet.

[0098] Anschliessend wird das Gesamtbudget auf die verschiedenen Betriebsmittel verteilt. Zunächst wird jedem Betriebsmittel so viel an Ressourcen zugeteilt, dass die Betriebsweise mit dem kleinsten Ressourcenverbrauch realisiert werden kann. Dann wird das noch übrigbleibende Restbudget an Ressourcen schrittweise verteilt, in der Reihenfolge der nach absteigendem Quotient $\Delta N/\Delta C$ geordneten Tabelle. Zunächst wird der Teil ΔC des obersten Eintrags der Tabelle vom Budget abgezogen. Damit wird ein Nutzen ΔN erzeugt, der in der zweiten Spalte dieser Zeile steht. Dann fährt man mit der zweiten Zeile fort, und so weiter, bis das Budget soweit aufgebraucht ist, dass ein Weiterfahren zu einer Budgetüberschreitung führen würde.

[0099] Nun analysiert man die zu den einzelnen Budgetverteilungsschritten gehörigen Einzelinvestitionen auf der Ebene der Einzelbetriebsmittel und bestimmt für jedes Betriebsmittel, wie viel man dort investiert hat. Der dazugehörige Punkt im Kosten-Nutzen-Diagramm bestimmt die optimale Betriebsweise dieses Betriebsmittels.

[0100] Eine weitere Variante für das gleiche Problem, wenn also sowohl Kosten als auch Nutzen als Linearkombination von Einzelkosten bzw. Einzelnutzen formuliert sind

$$C = C_0 + \sum_{i=1}^N \alpha_i C_i(j_i)$$

$$N = N_0 + \sum_{i=1}^N \beta_i N_i(j_i)$$

ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn es sehr viele mögliche Betriebsweisen für die Betriebsmittel gibt. Dann ist die konvexe Hülle durch eine sehr dichte Menge an Punkten charakterisiert.

[0101] In dieser Ausführungsform werden die Punkte interpoliert, so dass sich eine Funktion mit stetiger Ableitung ergibt. Dazu können etwa Spline-Interpolationen benutzt werden. Die Aufteilung des Gesamtbudgets auf die verschiedenen Betriebsmittel wird dann mittels des Equimarginalprinzips durchgeführt:

$$\left. \frac{\partial N_i(C_i)}{\partial C_i} \right|_{C_i=B_i} = \gamma, \quad i = 1, \dots, N$$

d.h. der Ressourcenverbrauch für jedes einzelne Betriebsmittel, auch Teilbudget B_i genannt, wird so festgelegt, dass die Ableitung der Nutzenfunktion N_i nach C_i für alle Betriebsmittel gleich gross ist (Fig. 6).

[0102] Der Wert der Ableitung des Nutzens nach den Kosten ist damit für alle Betriebsmittel gleich, und wird mit γ bezeichnet. Das dazugehörige Teilbudget wird mit B_i^* bezeichnet.

[0103] Die optimale Betriebsweise ist nun diejenige real existierende Betriebsweise, die auf der konvexen Hülle liegt, mit einem Gesamtressourcenbudget möglichst nahe an B_i^* , aber mit $C < B_i^*$. Die Kombination aller so bestimmten Betriebsweisen ist die gesuchte optimale Betriebsweisenkombination.

Schritt 2b (Optimale Kombination von Betriebsweisen für vorgegebenen zu erzielenden Gesamtnutzen)

[0104] Schritt 2b wird technisch analog durchgeführt wie Schritt 2a. Man tauscht einfach die Rollen der Grössen «Ressourcenverbrauch» und «Nutzen» und führt dann die gleichen Berechnungen durch wie in Schritt 2a beschrieben.

Schritt 3 (Bestimmung des Betriebspunktes des Anlagenportfolios)

[0105] Falls weder Gesamtressourcenverbrauch noch angestrebter Nutzen fest vorgegeben ist, gibt es keine eindeutige Lösung der Frage nach der optimalen Betriebsweise. Der Portfolioeigner hat die Freiheit, den Ressourcenverbrauch in bestimmten Grenzen frei zu wählen, oder aber den Nutzen in bestimmten Grenzen frei vorzugeben.

[0106] Im Schritt 3 des Verfahrens wird deshalb Schritt 2 mehrfach wiederholt. Entweder werden für verschiedene Gesamtressourcenbudgets im interessierenden Bereich die jeweils nutzenmaximierenden Betriebsweisenkombinationen bestimmt, und für jedes Gesamtbudget C der damit erzielte Nutzen N aufnotiert (Wiederholung von Schritt 2a).

[0107] Oder man variiert den vorgegebenen Nutzen im interessierenden Bereich, und bestimmt jeweils die optimale Betriebsweisenkombination, die den Nutzen mit minimalem Ressourcenverbrauch erzeugt (Wiederholung von Schritt 2b).

[0108] Anschliessend werden die so erhaltenen Punkte (C, N) im Ressourcenverbrauch-Nutzen-Raum aufgetragen. Man kann die Punkte zur Verdeutlichung mit einer Linie verbinden, oder anders geeignet interpolieren. Bei genügend feiner Rasterung des unabhängigen Parameters kann man damit also eine Funktion $N(C)$ bestimmen, die die Abhängigkeit des Gesamtnutzens vom Gesamtressourcenverbrauch darstellt, unter der Annahme, dass die verfügbaren Ressourcen in jedem Fall optimal (d.h. nutzenmaximierend) eingesetzt werden.

[0109] Gemäss einem Aspekt der Erfindung wird die Entscheidungsunterstützung des Nutzers deshalb über eine Sichtbarmachung der Abhängigkeit zwischen Nutzen und Ressourcenverbrauch gemacht.

[0110] In Fig. 7 ist ein Beispiel einer solchen Funktion $N(C)$ gezeigt.

[0111] Mit Hilfe dieser Funktion kann der Benutzer die verschiedenen Optionen auf einen Blick in den Dimensionen Nutzen und Ressourcenverbrauch überblicken. Das Diagramm liefert eine optimale Darstellung der Top-Level-Eigenschaften des Betriebsmittel-Portfolios in Bezug auf einzusetzende Ressourcen und damit erzielbaren Nutzen. Zusammen mit anderen in einer Kosten-Nutzen-Analyse zu diskutierenden Aspekten kann dann der optimale Betriebspunkt des Gesamtportfolios festgelegt werden.

[0112] Im Folgenden wird der Erfindungsgegenstand anhand eines Ausführungsbeispiels, welches in den beiliegenden Zeichnungen dargestellt ist, näher erläutert. Es zeigen jeweils schematisch:

- Fig. 1 Schritte des Verfahrens;
- Fig. 2 Kosten und Nutzen verschiedener Betriebsweisen;
- Fig. 3 Kosten-Nutzen-Diagramme für zwei Einzelbetriebsmittel;
- Fig. 4 wie Fig. 3, mit dem oberen Ast der konvexen Hülle aller Punkte
- Fig. 5 zusätzlicher Ressourcenverbrauch ΔC und zusätzlicher Nutzen ΔN entlang des oberen Astes;
- Fig. 6 Ableitungen von Nutzenfunktionen nach Kosten;
- Fig. 7 Abhängigkeit zwischen Nutzen und Kosten;
- Fig. 8 und 9 Teilressourcenverbrauch und Teilnutzen zweier Betriebsmittel für verschiedene Betriebsweisen;
- Fig. 10 Konvexe Hülle des Betriebsmittels 1;
- Fig. 11 Konvexe Hülle des Betriebsmittels 2;
- Fig. 12 Konvexe Hüllen beider Betriebsmittel;
- Fig. 13 Kosten und Nutzen eines Portfolios; und
- Fig. 14 einen Überblick über im Verfahren eingesetzte und berechnete Grössen.

[0113] Zur Illustration des Verfahrens sei ein Portfolio von zwei Betriebsmitteln betrachtet. Die möglichen Betriebsweisen der beiden Betriebsmittel sind durch eine frei wählbare Nutzungsdauer T , und eine Instandhaltungsstrategie R charakteri-

siert, wobei nur zwei Instandhaltungsstrategien möglich sind, die durch $R=0$ bzw. $R=1$ beschrieben werden. Konkret werde bei $R=1$ eine Revision des Betriebsmittels nach 10 Jahren durchgeführt, bei $R=0$ wird auf diese Revision verzichtet.

[0114] Der Ressourcenverbrauch werde in Geldeinheiten gemessen, und zwar in mittleren Kosten pro Jahr, gemittelt über den ganzen Lebenszyklus. Der Nutzen sei das Negative einer gewichteten Summe der Ausfallrate, ebenfalls gemittelt über den gesamten Lebenszyklus.

Schritt 1: Spezifikation

[0115] Eine Betriebsweise eines einzelnen Betriebsmittels wird angegeben durch ein Tupel (T,R) , wobei der interessierende Bereich von T zwischen 5 und 40 Jahren ist, und R die Werte $R=0$ oder $R=1$ annehmen kann.

[0116] Eine Betriebsmittelkombination KW wird entsprechend beschrieben durch die Angabe der zwei Betriebsweisen

$$KW = ((T_1, R_1), (T_2, R_2))$$

[0117] Beispielsweise bezeichnet

$$KW = ((20, 0), (40, 1))$$

eine Betriebsweisenkombination, bei der Betriebsmittel 1 eine Nutzungsdauer von 20 Jahren hat, und nicht revidiert wird, und Betriebsmittel 2 eine Nutzungsdauer von 40 Jahren, aber nach 10 Jahren revidiert wird.

[0118] Der Gesamtnutzen des Portfolios sei gegeben durch eine Summe von Teilnutzen

$$N = N_1(T_1, R_1) + N_2(T_2, R_2)$$

wobei der Teilnutzen das Negative einer gewichteten mittleren Ausfallrate ist

$$N_i(T_i, R_i) = -w_i \cdot \overline{h_i(T_i, R_i)}$$

[0119] Dabei bezeichnet w_i ein Gewicht, und $\overline{h_i(T_i, R_i)}$ die über den Lebenszyklus gemittelte Ausfallrate.

[0120] Der Gesamtressourcenverbrauch wird angegeben als Summe von Betriebsmittelkosten:

$$C = C_1(T_1, R_1) + C_2(T_2, R_2)$$

[0121] Die Einheit der Kosten ist also «Geldeinheit/Jahr», und die Einheit des Nutzens ist «Ausfälle/Jahr».

[0122] Die technische Performance der Betriebsmittel wird durch die folgende Alterungsfunktion abgebildet:

$$h_i(t, R_i) = a_i + b_i \cdot t - \begin{cases} c_i, & \text{falls } t > 10 \text{ und } R_i = 1 \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

[0123] Die Ausfallrate $h_i(t, R_i)$ hat die Einheit [1/Jahr] und besteht aus einem Offset a und steigt linear mit dem Alter des Betriebsmittels an. Zudem ist die Ausfallrate abhängig von der gewählten Revisionsstrategie. Wird eine Revision durchgeführt ($R_i=1$), dann reduziert sich die Ausfallrate nach der Revision um c . Die über eine bestimmte Nutzungsdauer T_i resultierende mittlere Ausfallrate ist demnach:

$$\overline{h_i(T_i, R_i)} = \frac{1}{T_i} \sum_{t=1}^{T_i} a_i + b_i \cdot t - \begin{cases} c_i, & \text{falls } t > 10 \text{ und } R_i = 1 \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

[0124] Die mittleren Kosten pro Jahr werden folgendermassen definiert:

$$C_i(T_i, R_i) = \frac{1}{T_i} \left(I_i + \begin{cases} M_i, & \text{falls } t > 10 \text{ und } R_i = 1 \\ 0, & \text{sonst} \end{cases} \right) + \overline{h_i(T_i, R_i)} \cdot D_i$$

[0125] Wobei:

I_i Die Investitionskosten für das Betriebsmittel i .

M_i Die Revisionskosten für das Betriebsmittel i (beim Alter von 10 Jahren).

D_i Die Kosten, welche pro Ausfall anfallen.

[0126] Für die beiden Betriebsmittel gelten folgende Parameter:

Parameter	Betriebsmittel 1	Betriebsmittel 2
Anschaffungskosten I_i	20 000	30 000
Revisionskosten M_i	10 000	10 000

CH 708 504 A1

Parameter	Betriebsmittel 1	Betriebsmittel 2
Kosten pro Ausfall D_i	2000	2000
Alterungsparameter a_i	0.01	0.02
Alterungsparameter b_i	0.01	0.04
Alterungsparameter c_i	0.04	0.3
Wichtigkeit w_i	1	5

Die Menge der möglichen Betriebsweisen für jedes der beiden Betriebsmittel wird durch den von $5 \leq T_i \leq 40$ und $R_i \in \{0,1\}$ aufgespannten Raum von Betriebsweiskombinationen bestimmt. Die folgende Tabelle liefert einen Auszug aus der Liste der möglichen Betriebsweiskombinationen:

Betriebsmittel	R_i	T_i	$\overline{h}(T_i, R_i)$	$C(T_i, R_i)$	$N(T_i, R_i)$
1	0	5	0.040	4080.00	-0.040
1	0	10	0.065	2130.00	-0.065
1	0	20	0.115	1230.00	-0.115
1	0	30	0.165	996.67	-0.165
1	0	40	0.215	930.00	-0.215
1	1	5	0.040	4080.00	-0.040
1	1	10	0.065	2130.00	-0.065
1	1	20	0.095	1690.00	-0.095
1	1	30	0.138	1276.67	-0.138
1	1	40	0.185	1120.00	-0.185
2	0	5	0.140	6280.00	-0.700
2	0	10	0.240	3480.00	-1.200
2	0	20	0.440	2380.00	-2.200
2	0	30	0.640	2280.00	-3.200
2	0	40	0.840	2430.00	-4.200
2	1	5	0.140	6280.00	-0.700
2	1	10	0.240	3480.00	-1.200
2	1	20	0.290	2580.00	-1.450
2	1	30	0.440	2213.33	-2.200
2	1	40	0.615	2230.00	-3.075

[0127] Eine Darstellung der Teilkosten (respektive Teilressourcenverbräuche) und Teilnutzen der beiden Betriebsmittel für verschiedene Betriebsweisen ist in der Fig. 8 für Betriebsmittel 1 respektive in Fig. 9 für Betriebsmittel 2 zu sehen. Gezeigt sind die mittleren Kosten und Nutzen pro Jahr aller Betriebsweisen von Betriebsmittel 1 resp. 2, wobei zwischen den Revisionsstrategien differenziert wird: Sternchen entsprechen $R=0$, und Quadrate $R=1$. Die verschiedenen Sternchen bzw. Quadrate entsprechen verschiedenen Nutzungsdauern T .

Schritt 2a:

[0128] In diesem Beispiel wird eine Nutzenoptimierung bei einem vorgegebenen Gesamtbudget durchgeführt. Dabei wird die Ausführungsform verwendet, die auf der konvexen Hülle der Einzelbetriebsweisen aufbaut.

[0129] Die Resultate der Berechnung der konvexen Hülle sind in den Fig. 10 und 11 zu sehen. In Fig. 10 ist die konvexe Hülle des Betriebsmittels 1 visualisiert. Es liegen hier ausschliesslich Betriebsweisen der Instandhaltungsstrategie «ohne Revision» ($R=0$) auf der konvexen Hülle. Fig. 11 zeigt die konvexe Hülle des Betriebsmittels 2. Die Punkte der konvexen Hülle entsprechen alle Betriebsweisen mit $R=1$. Allerdings liegen einige Nutzungsdauern kurz vor und nach der Revision nicht auf der konvexen Hülle. Diese werden deshalb im weiteren Verlauf nicht mehr betrachtet. Es kann zudem beobachtet werden, dass bei hohen Nutzungsdauern ($T > 34$) die mittleren Kosten pro Jahr wieder steigen und somit diese Betriebsweisen ebenfalls nicht auf dem oberen Ast der konvexen Hülle liegen.

[0130] Die konvexen Hüllen der beiden Betriebsmittel sind in der Fig. 12 vereint dargestellt.

CH 708 504 A1

[0131] Für die Identifikation der optimalen Betriebsweisen selektiert man in einem ersten Schritt für beide Betriebsmittel die Betriebsweisen mit den geringsten Kosten. Diese sind in der Fig. 12 die Betriebsweisen ganz links und haben folgende Eigenschaften:

Betriebsmittel	R_i	T_i	$C(T_i, R_i)$	$N(T_i, R_i)$
1	0	40	930	-0.215
2	1	34	2193	-2.541

[0132] Die minimalen Kosten für das gesamte Portfolio betragen also $930 + 2193 = 3123$ Geldeinheiten pro Jahr und liefern einen Nutzen von -2.755 . Steht ein grösseres Gesamtbudget zur Verfügung, so können kostenintensivere Betriebsweisen gewählt und der Nutzen des Portfolios erhöht werden. In der Folge ist eine Tabelle abgebildet, welche die Deltas von Kosten und Nutzen zur entsprechenden Betriebsweise sowie die resultierende Steigung y (absteigend nach y geordnet) sowie die resultierenden Kosten und Nutzen für das Portfolio quantifizieren:

Betriebsmittel	R_i	T_i	$\Delta C(T_i, R_i)$	$\Delta N(T_i, R_i)$	y	C	N
2	1	33	0.99821747	0.08663102	0.08678571	3124	-2.668
2	1	32	3.56060606	0.08579545	0.02409574	3128	-2.583
2	1	31	6.37096774	0.08487903	0.01332278	3134	-2.498
2	1	30	9.46236559	0.08387097	0.00886364	3143	-2.414
2	1	29	12.8735632	0.08275862	0.00642857	3156	-2.331
2	1	28	16.6502463	0.08152709	0.00489645	3173	-2.25
2	1	27	20.8465608	0.08015873	0.00384518	3194	-2.169
2	1	26	25.5270655	0.07863248	0.00308036	3219	-2.091
2	1	25	30.7692308	0.07692308	0.0025	3250	-2.014
2	1	24	36.6666667	0.075	0.00204545	3287	-1.939
1	0	39	2.82051282	0.005	0.00177273	3290	-1.934
2	1	23	43.3333333	0.07282609	0.0016806	3333	-1.861
1	0	38	3.49527665	0.005	0.0014305	3336	-1.856
2	1	22	50.9090909	0.07035573	0.00138199	3387	-1.786
1	0	37	4.22475107	0.005	0.0011835	3392	-1.781
2	1	21	59.5670996	0.06753247	0.00113372	3451	-1.713
1	0	36	5.01501502	0.005	0.00099701	3456	-1.708
2	1	20	69.5238095	0.06428571	0.00092466	3526	-1.644
1	0	35	5.87301587	0.005	0.00085135	3531	-1.639
2	1	19	81.0526316	0.06052632	0.00074675	3613	-1.578
1	0	34	6.80672269	0.005	0.00073457	3619	-1.573
1	0	33	7.82531194	0.005	0.00063895	3627	-1.568
2	1	18	94.502924	0.05614035	0.00059406	3722	-1.512
1	0	32	8.93939394	0.005	0.00055932	3731	-1.507

[0133] Es ist ersichtlich, dass zunächst ausschliesslich in das Betriebsmittel 2 investiert wird, bis dessen Nutzungsdauer von 34 auf 24 Jahren gesenkt werden konnte. Erst dann wird in das Betriebsmittel 1 investiert. Für ein Budget von 3'392 Geld pro Jahr würde ein Nutzen von -1.781 resultieren und für die beiden Betriebsmittel die folgenden Betriebsweisen ausgewählt werden:

- Betriebsmittel 1: 37 Jahre Nutzungsdauer, keine Revision
- Betriebsmittel 2: 22 Jahre Nutzungsdauer, mit Revision

[0134] Durch diese Vorgehensweise ist Schritt 2 gelöst.

Schritt 3:

[0135] Die obenstehende Tabelle ist ebenfalls die Grundlage für Schritt 3 des Verfahrens. Die beiden letzten Spalten enthalten die Informationen über die Kosten und Nutzen des Portfolios, welche einander in einer Grafik gegenübergestellt werden (Fig. 13).

[0136] Aufgrund einer Darstellung wie in Fig. 13 können nun auf höchster Ebene Diskussionen über die optimale Verwendung des Budgets geführt werden. Abhängig von der Entscheidung über die Menge des Gesamtbudgets sind damit auch die optimalen Betriebsweisen für jedes einzelne Asset im Portfolio definiert.

Patentansprüche

1. Computergestütztes Verfahren zur Bestimmung von optimalen Betriebsweisen von Betriebsmitteln eines Portfolios aus mehreren technischen Betriebsmitteln, wobei in dem Verfahren die folgenden Schritte durchgeführt werden:
 - a. Schritt 1:
 - i. Bestimmen einer Menge von möglichen Betriebsweisenkombinationen für das Portfolio von Betriebsmitteln, wobei diese Menge eine Teilmenge aller möglichen Kombinationen von verschiedenen Betriebsweisen der einzelnen Betriebsmittel ist,
 - ii. Bestimmen einer Ausfallfunktion welche eine Ausfall- oder Störungsrate aller Betriebsmittel über die Zeit wiedergibt, in Abhängigkeit einer gewählten Betriebsweisenkombination
 - iii. Bestimmen einer Nutzenfunktion für das Portfolio, die jeder Betriebsweisenkombination einen Gesamtnutzen zuordnet, wobei der Gesamtnutzen mindestens von der Ausfallrate der Betriebsmittel abhängig ist;
 - iv. Bestimmen einer Kostenfunktion für das Portfolio, die jeder Betriebsweisenkombination einen Gesamtressourcenverbrauch zuordnet;
 - b. Schritt 2:
 - i. Lösen eines Optimierungsproblems zur Bestimmung einer optimalen Betriebsweisenkombination, durch entweder Maximieren des Gesamtnutzens des Portfolios, unter der Nebenbedingung, einen gegebenen Gesamtressourcenverbrauch nicht zu überschreiten (Schritt 2a), oder Minimieren des Ressourcenverbrauchs, unter der Nebenbedingung, dass der Gesamtnutzen des Portfolios einen bestimmten Wert nicht unterschreitet (Schritt 2b),
 - ii. Anzeigen, mittels eines Ausgabegerätes, der optimalen Betriebsweisenkombination als Lösung des Optimierungsproblems, wobei für jedes Betriebsmittel die jeweilige optimale Betriebsweise sichtbar gemacht wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, aufweisend einen zusätzlichen Schritt 3, in dem entweder Schritt 2a für verschiedene Werte C des vorgegebenen Gesamtressourcenverbrauchs durchgeführt wird, und der jeweils mit der optimalen Betriebsmittelkombination erzielte Gesamtnutzen N gespeichert wird, oder Schritt 2b für verschiedene Werte N des vorgegebenen Gesamtnutzens durchgeführt wird, und der jeweils mit der optimalen Betriebsmittelkombination erzielte Gesamtressourcenverbrauch C gespeichert wird, und die Wertepaare (C,N) im zweidimensionalen Ressourcenverbrauch-Nutzen-Raum mittels eines Ausgabegerätes visuell oder tabellarisch dargestellt werden, so dass die gegenseitige Abhängigkeit von Ressourcenverbrauch und Nutzen ersichtlich wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass in Teilschritt 1 ii) zusätzliche technische Performancemasse definiert werden, und diese in die Nutzenfunktion und/oder die Ressourcenverbrauchsfunktion integriert sind.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass aus den Wertepaaren (C,N) eine Funktion $N(C)$ bestimmt wird, die die Abhängigkeit des Gesamtnutzens vom Ressourcenverbrauch C spezifiziert.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei zur Anzeige der Lösung des Optimierungsproblems die Menge aller Betriebsweisenkombinationen als Punkte in einem Ressourcenverbrauch-Nutzen-Raum dargestellt wird.
6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei zur Anzeige der Lösung des Optimierungsproblems für einige oder alle Betriebsmittel die Menge aller Betriebsweisen für das jeweilige Betriebsmittel als Punkte in einem Ressourcenverbrauch-Nutzen-Raum dargestellt wird.
7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei zur Anzeige des Ressourcenverbrauchs-Nutzen-Verhaltens einzelner Betriebsmittel für einige oder alle Betriebsmittel der obere Ast der konvexen Hülle derjenigen Punkte dargestellt wird, die sich ergeben, wenn man alle Betriebsweisen des jeweiligen Betriebsmittels in einem Teilressourcenverbrauch-Teilnutzen-Raum darstellt.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 7, wobei nach der Darstellung der Abhängigkeit von Ressourcenverbrauch und Nutzen eine Festlegung eines maximal zulässigen Ressourcenverbrauchs erfolgt, und dann eine für diesen Verbrauch optimale Kombination von Betriebsweisen mit dem Verfahren von Anspruch 1 bestimmt und angezeigt wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 8, wobei nach der Darstellung der Abhängigkeit von Ressourcenverbrauch und Nutzen eine Festlegung eines minimal zu erreichenden Nutzens erfolgt, und dann eine für diesen Nutzen optimale Kombination von Betriebsweisen mit dem Verfahren von Anspruch 1 bestimmt und angezeigt wird.
10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei Ressourcenverbrauch und Nutzen als zeitliche Mittelwerte eines langfristigen Verbrauchs- bzw. Nutzenverlaufs des Portfolios definiert sind.
11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei Ressourcenverbrauch oder Nutzen als diskontierte Summen eines langfristigen Verbrauchs- bzw. Nutzenverlaufs des Portfolios definiert sind.

CH 708 504 A1

12. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Nutzenfunktion eine additive Funktion eines für jedes Betriebsmittel definierten Teilnutzens ist, der mit einem Gewichtungsfaktor gewichtet sein kann.
13. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der Ressourcenverbrauch eine additive Funktion von Einzelressourcenverbräuchen der einzelnen Betriebsmittel sind.
14. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der Nutzen des Portfolios eine lineare Funktion der Ausfallraten der Betriebsmittel ist.
15. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die bestimmte optimale Betriebsweisenkombination auf den Betriebsmitteln zur Ausführung gebracht wird.
16. Datenverarbeitungssystem zur Bestimmung von optimalen Betriebsweisen von Betriebsmitteln eines Portfolios aus mehreren technischen Betriebsmitteln, wobei das Datenverarbeitungssystem Mittel aufweist zur Durchführung des Verfahrens nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 15.
17. Computerprogramm zur Bestimmung von optimalen Betriebsweisen von Betriebsmitteln eines Portfolios aus mehreren technischen Betriebsmitteln, welches auf einer Datenverarbeitungseinheit ladbar und ausführbar ist, und welches bei der Ausführung das Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 15 ausführt.

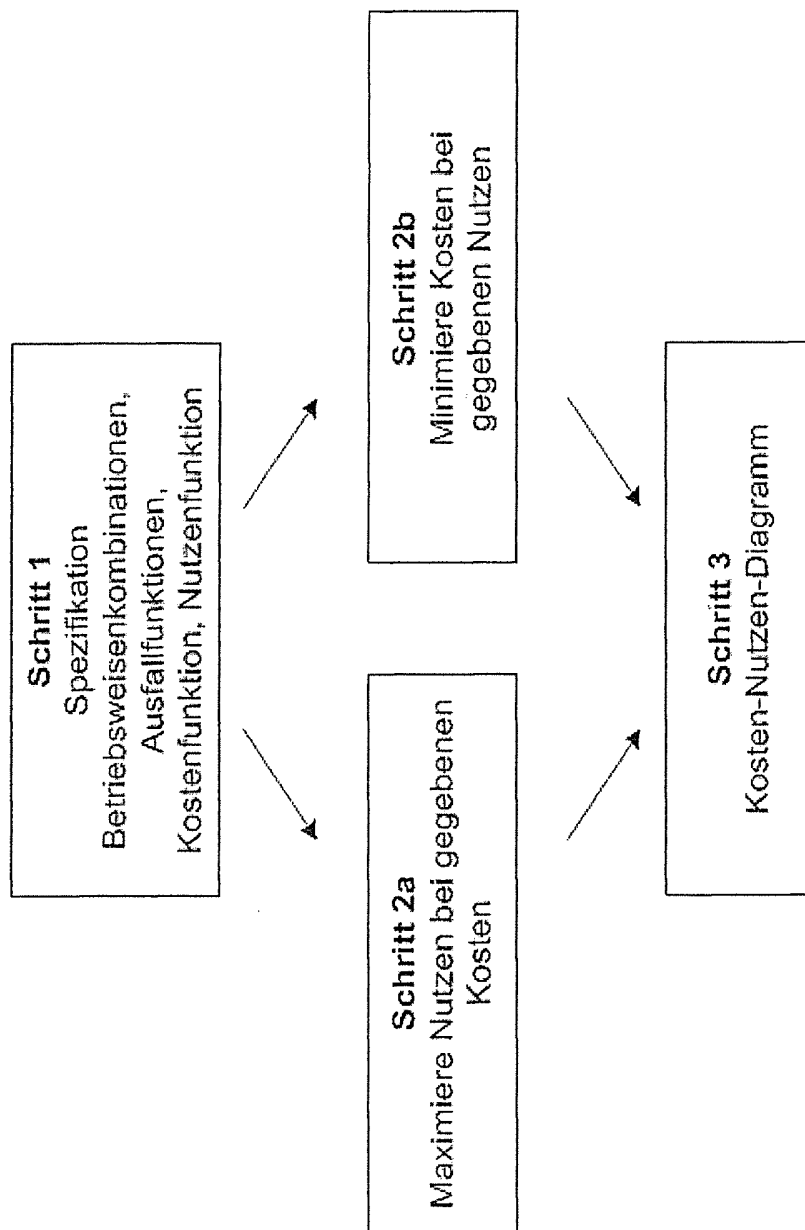


Fig. 1

Fig. 2

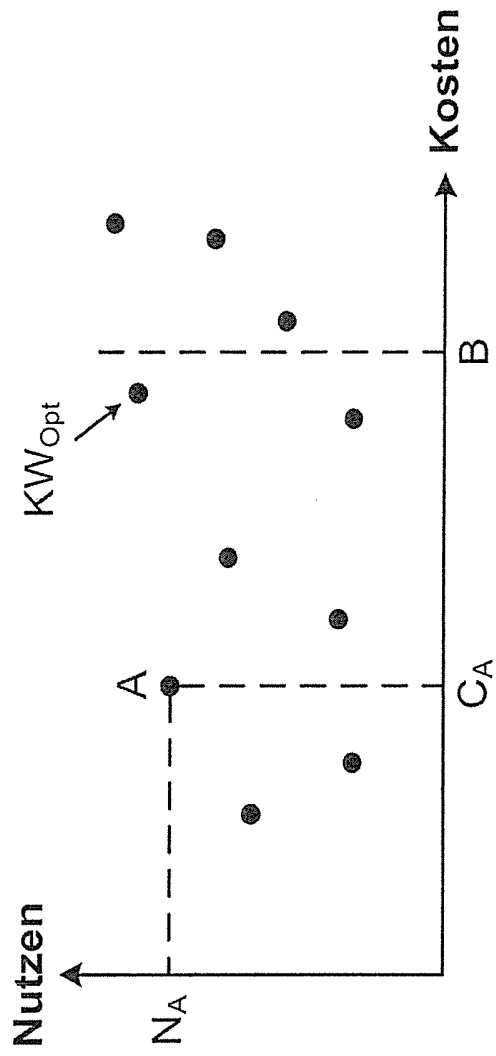


Fig. 3

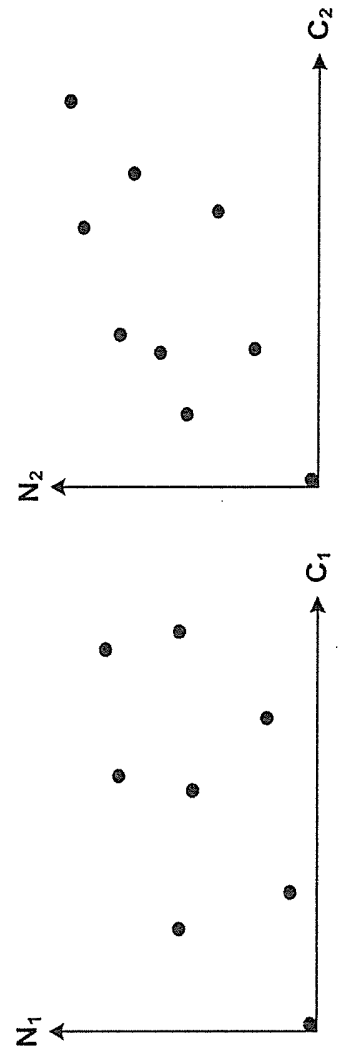


Fig. 4

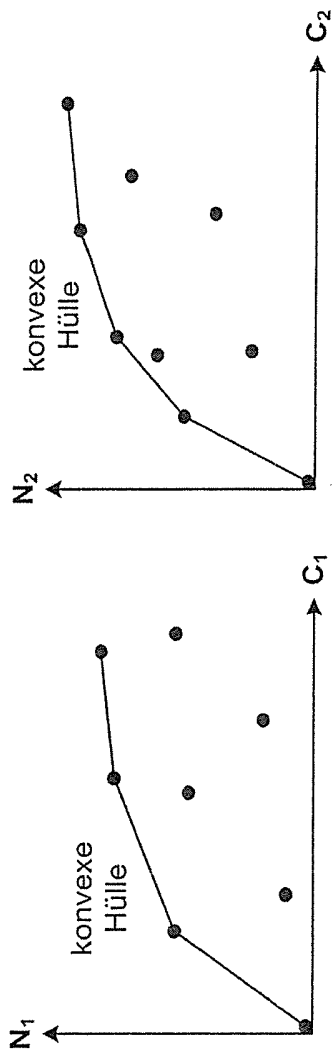


Fig. 5

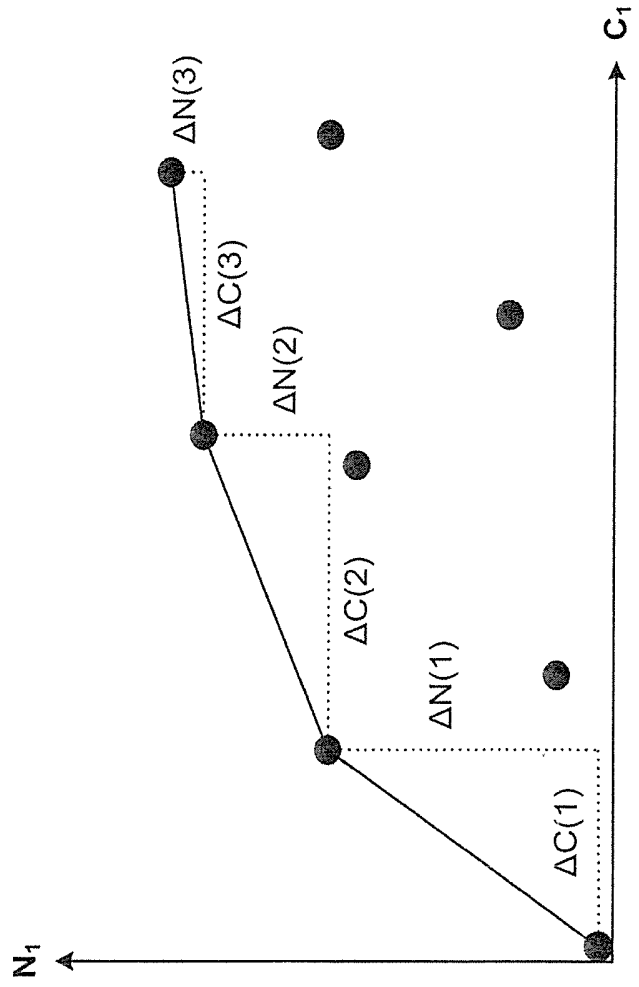


Fig. 6

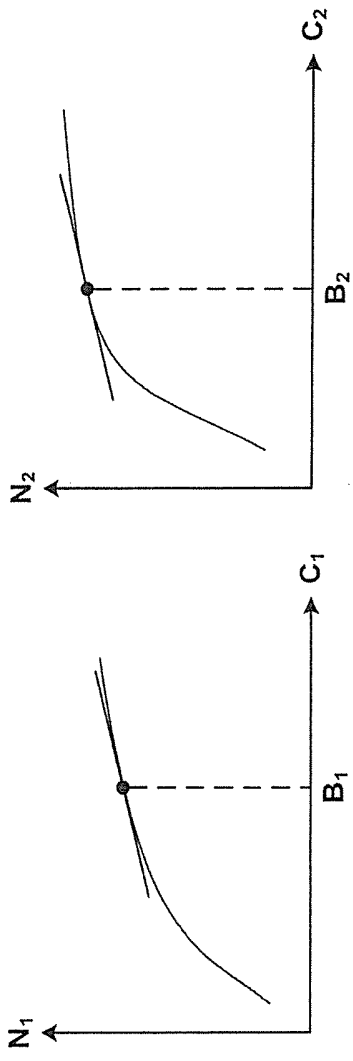


Fig. 7

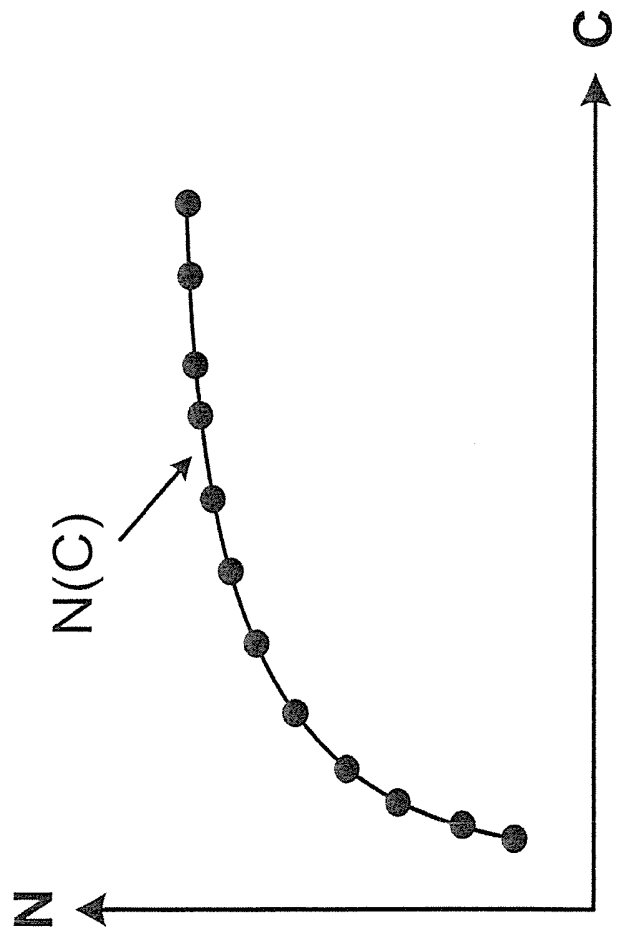


Fig. 8

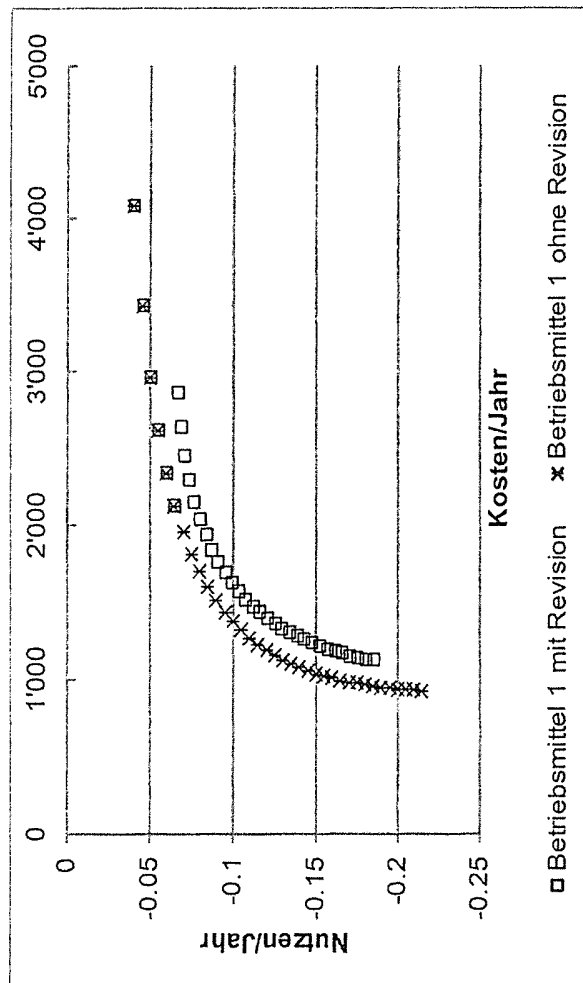


Fig. 9

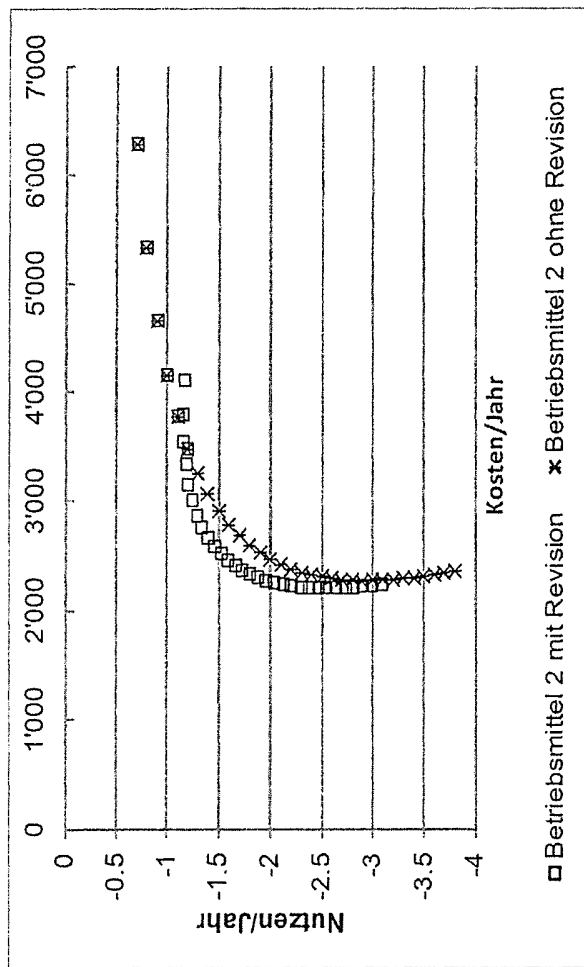


Fig. 10

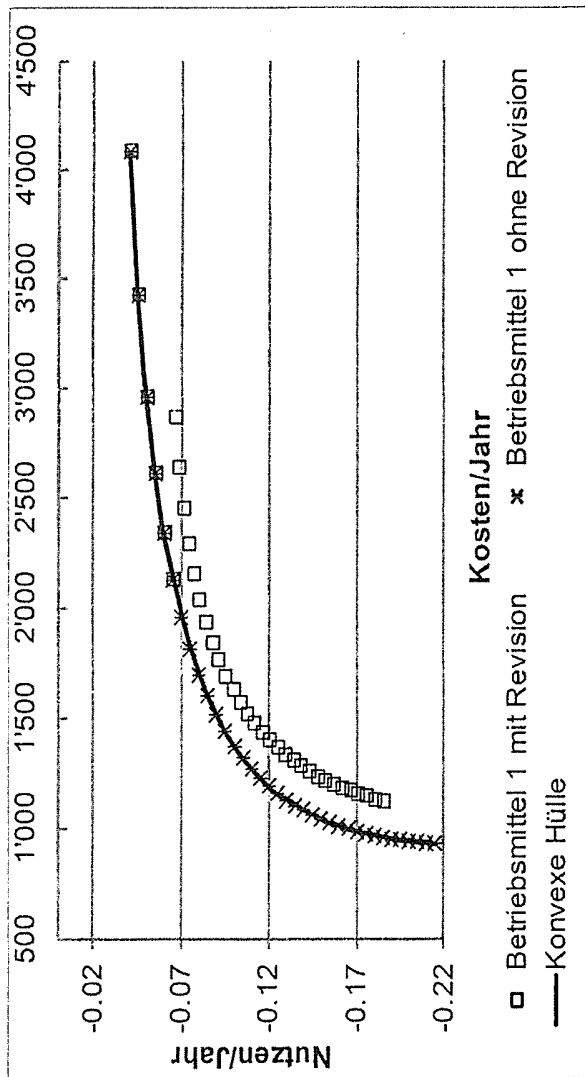


Fig. 11

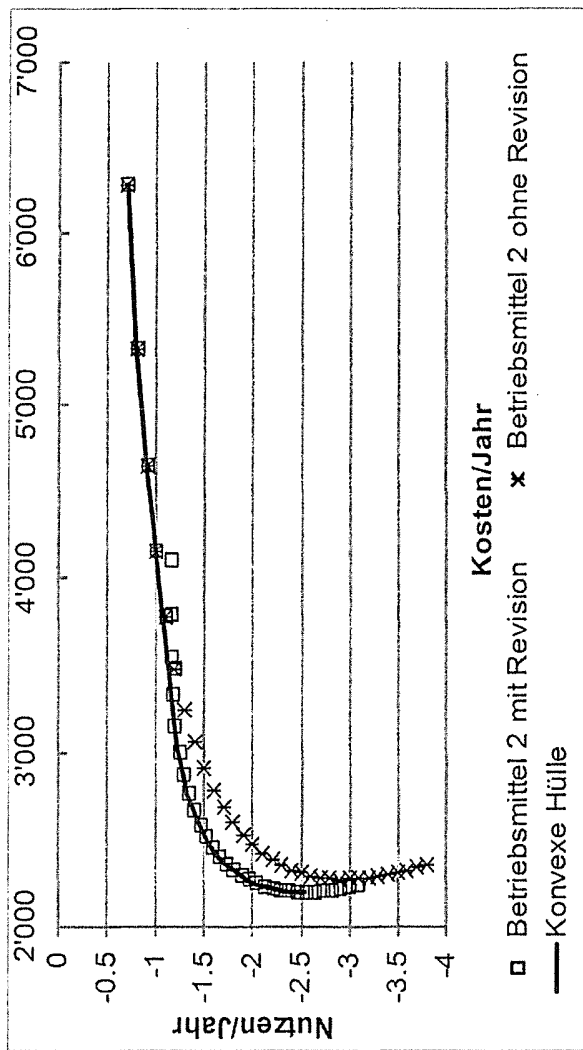


Fig. 12

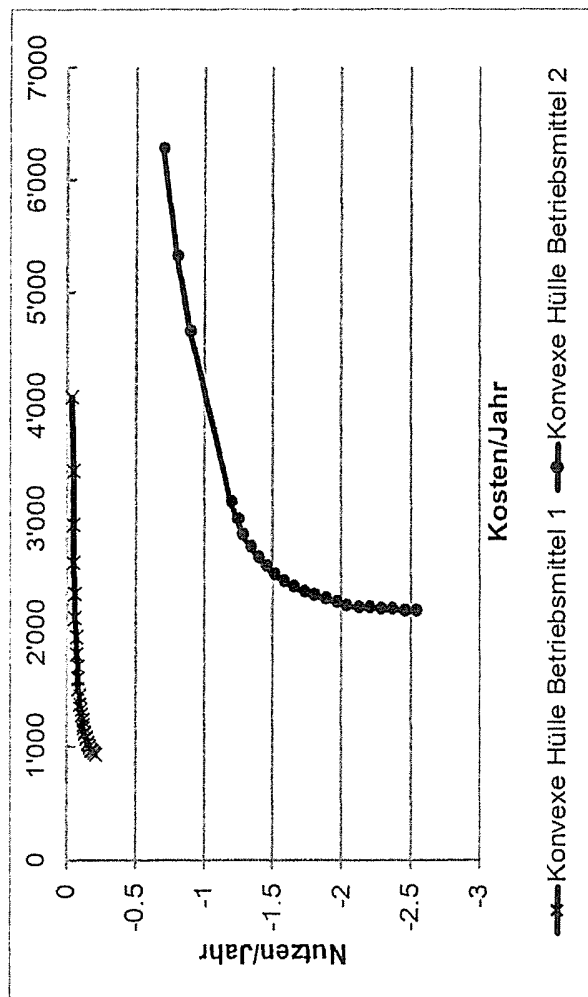


Fig. 13

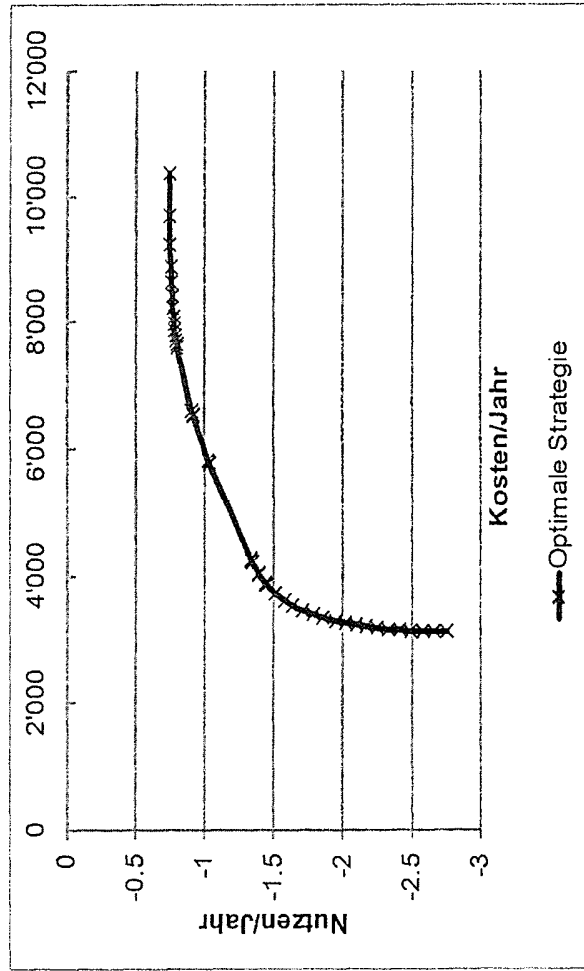
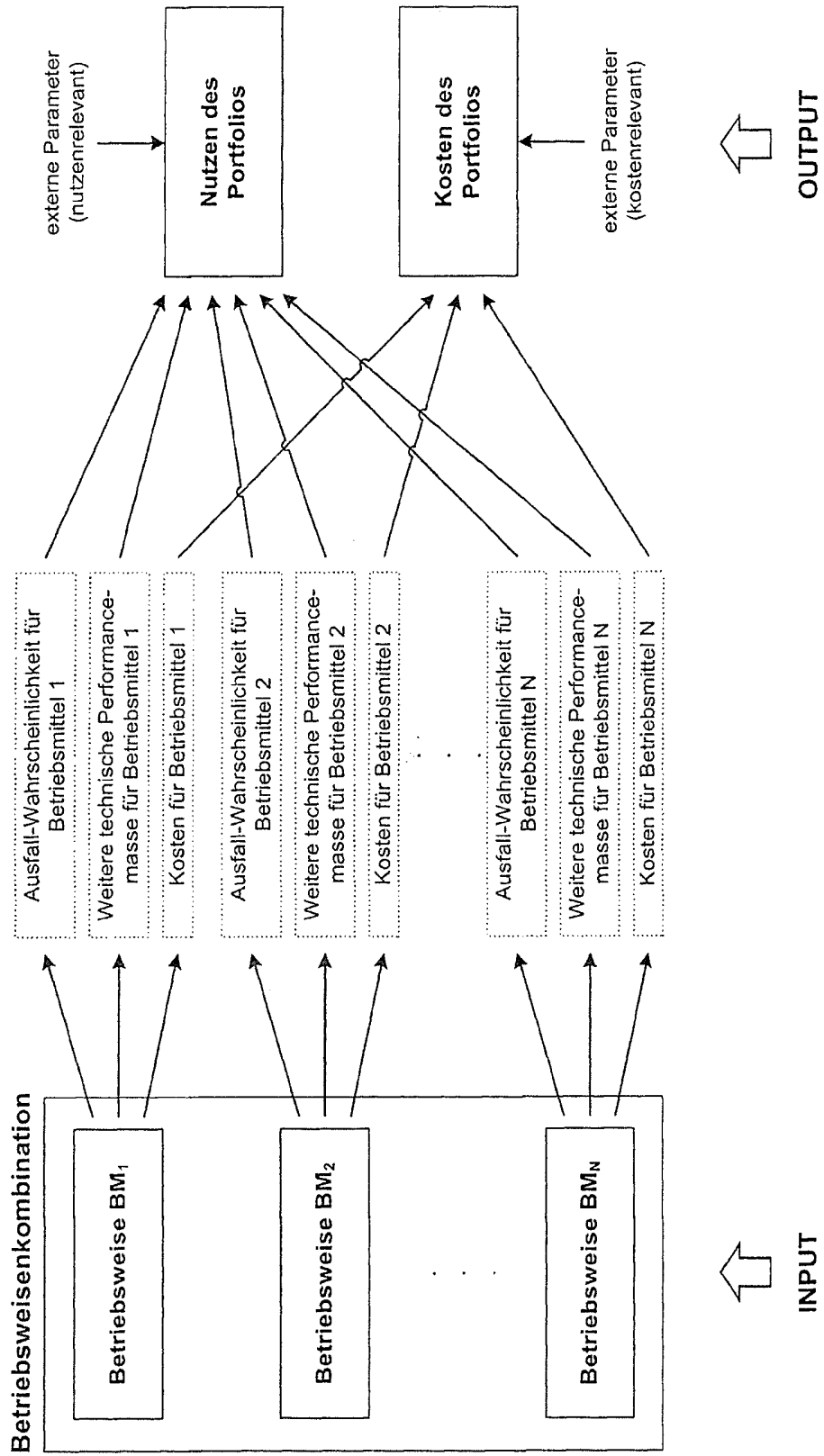


Fig. 14



**VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT
AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS**

BERICHT ÜBER DIE RECHERCHE INTERNATIONALER ART

KENNZEICHNUNG DER NATIONALEN ANMELDUNG		AKTENZEICHEN DES ANMELDERS ODER ANWALTS	
		P3913 CH	
Nationales Aktenzeichen:		Anmeldedatum	
1492/2013		02-09-2013	
Anmeldeland		Beanspruchtes Prioritätsdatum	
CH			
Anmelder (Name)			
am-tec switzerland ag			
Datum des Antrags auf eine Recherche internationaler Art		Nummer, die die internationale Recherchenbehörde dem Antrag auf eine Recherche internationaler Art zugeteilt hat	
08-10-2013		SN 60817	
I. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDS <small>(treffen mehrere Klassifikationssymbole zu, so sind alle anzugeben)</small>			
<small>Nach der internationalen Patentklassifikation (IPC) oder sowohl nach der nationalen Klassifikation als auch nach der IPC</small>			
G06Q10/06			
R. RECHERCHIERTE SACHGEBIETE			
Recherchierter Mindestprüfstoff			
Klassifikationssystem		Klassifikationssymbole	
IPC		G06Q	
<small>Rechenhierte, nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Sachgebiete fallen</small>			
III. <input type="checkbox"/> KEINIGE ANSPRÜCHE HABEN SICH ALS NICHT RECHERCHIERBAR ERWIESEN <small>(Bemerkungen auf Ergänzungsbogen)</small>			
IV. <input type="checkbox"/> MANGELNDE EINHEITLICHKEIT DER ERFINDUNG <small>(Bemerkungen auf Ergänzungsbogen)</small>			

Formblatt PCT/ISA 201 a (11/2000)

BERICHT ÜBER DIE RECHERCHE INTERNATIONALER ART

Nr. des Antrags auf Recherche

CH 14922013

<p>A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDEGEGENSTANDES INV. G06Q10/06 ADD.</p> <p>Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK</p>								
<p>B. RESEARCHIERTE BACHBEREICHE Recherchierte Mindestanforderung (Klassifikationssystem und Mindestpatentanspruch) G06Q</p> <p>Recherchiere, aber nicht zum Mindestanforderung gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die reservierten Gebiete fallen:</p> <p>Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Namen der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal</p>								
<p>C. ALS WESENTLICH ANGEBEHENE VERÖFFENTLICHUNGEN</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Kategorie*</th> <th>Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile</th> <th>Seit. Anzeigeh. Nr.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>L</td> <td> <p>EPO: "Mitteilung des Europäischen Patentamts vom 1. Oktober 2007 über Geschäftsmethoden = Notice from the European Patent Office dated 1 October 2007 concerning business methods = Communiqué de l'Office européen des brevets, en date du 1er octobre 2007, concernant les méthodes dans le domaine des activités". JOURNAL OFFICIEL DE L'OFFICE EUROPEEN DES BREVETS, OFFICIAL JOURNAL OF THE EUROPEAN PATENT OFFICE, AMTSBLATT DES EUROPÄISCHEN PATENTAMTS, OEB, MÜNCHEN, DE, Bd. 30, Nr. 11, 1. November 2007 (2007-11-01), Seiten 592-593, XP007905525, ISSN: 0170-9291 * Der Gegenstand der Ansprüche, unter angemessener Berücksichtigung der Beschreibung und der Zeichnungen, bezieht</p> </td> <td>1-17</td> </tr> </tbody> </table>			Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Seit. Anzeigeh. Nr.	L	<p>EPO: "Mitteilung des Europäischen Patentamts vom 1. Oktober 2007 über Geschäftsmethoden = Notice from the European Patent Office dated 1 October 2007 concerning business methods = Communiqué de l'Office européen des brevets, en date du 1er octobre 2007, concernant les méthodes dans le domaine des activités". JOURNAL OFFICIEL DE L'OFFICE EUROPEEN DES BREVETS, OFFICIAL JOURNAL OF THE EUROPEAN PATENT OFFICE, AMTSBLATT DES EUROPÄISCHEN PATENTAMTS, OEB, MÜNCHEN, DE, Bd. 30, Nr. 11, 1. November 2007 (2007-11-01), Seiten 592-593, XP007905525, ISSN: 0170-9291 * Der Gegenstand der Ansprüche, unter angemessener Berücksichtigung der Beschreibung und der Zeichnungen, bezieht</p>	1-17
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Seit. Anzeigeh. Nr.						
L	<p>EPO: "Mitteilung des Europäischen Patentamts vom 1. Oktober 2007 über Geschäftsmethoden = Notice from the European Patent Office dated 1 October 2007 concerning business methods = Communiqué de l'Office européen des brevets, en date du 1er octobre 2007, concernant les méthodes dans le domaine des activités". JOURNAL OFFICIEL DE L'OFFICE EUROPEEN DES BREVETS, OFFICIAL JOURNAL OF THE EUROPEAN PATENT OFFICE, AMTSBLATT DES EUROPÄISCHEN PATENTAMTS, OEB, MÜNCHEN, DE, Bd. 30, Nr. 11, 1. November 2007 (2007-11-01), Seiten 592-593, XP007905525, ISSN: 0170-9291 * Der Gegenstand der Ansprüche, unter angemessener Berücksichtigung der Beschreibung und der Zeichnungen, bezieht</p>	1-17						
<p><input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie</p> <p>* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist *B* Abstrakt Dokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldetermin veröffentlicht worden ist *C* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelsfrei zu bestätigen zu lassen, oder durch die eine Veröffentlichungsbildung einer anderen im Recherchenantragsbereich genannten Veröffentlichung belegt werden soll, oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) *D* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Ausstellung, eine Ausstellung oder andere Maßnahme bezieht *E* Veröffentlichung, die vor dem Anmeldetermin, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist *F* Weitere Veröffentlichung, die nach dem Anmeldetermin oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht korrespondiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist *G* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden *H* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Veröffentlichungen für einen Fachmann nachvollziehbar ist *I* Veröffentlichung, die Mängel der/dieser Patentfamilie ist 								
<p>Datum des tatsächlichen Abschlusses der Recherche internationaler Art</p> <p>5. Dezember 2013</p>		<p>Absendezeitpunkt des Berichts über die Recherche internationaler Art</p> <p>13 DEC 2013</p>						
<p>Name und Postanschrift der internationalen Rechercheinrichtung</p> <p>Europäisches Patentamt, P. B. 2018 Patentstr. 2 NL - 2000 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 240-2040, Fax (+31-70) 240-0018</p>		<p>Bevollmächtigter Beauftragter</p> <p>Streit, Stefan</p>						

BERICHT ÜBER DIE RECHERCHE INTERNATIONALER ART

Nr. des Antrags auf Recherche

CH 14922013

C (Fortsetzung). ALB WESENTLICH ANGESEHENE VERÖFFENTLICHUNGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Behr.-Anspruch-Nr.
	<p>sich auf ein abstraktes Verfahren für geschäftliche Tätigkeiten, das "als solches" von der Patentierbarkeit ausgeschlossen ist und nicht recherchiert werden muss. Die individuellen Verfahrensschritte die in den Ansprüchen definiert sind, beziehen sich weder auf konkrete Betriebsweisen noch auf konkrete Betriebsmittel, sie definieren nur ein abstraktes Verfahren der Betriebsoptimierung. Es wird weder ein konkretes technisches Problem gelöst noch erfordert die Ausführung des abstrakten Verfahrens technische Überlegungen. Abstrakte Konzepte und Verfahren auf dem Gebiet der Betriebsoptimierung weisen keinen technischen Charakter auf. Die einzigen technischen Aspekte des beanspruchten Gegenstands beziehen sich auf allgemein gebräuchliche, konventionelle Informationstechnologie in Form eines Computers. Die verwendete Informationstechnologie wird als allgemein bekannt angesehen, da sie zum Zeitpunkt der Priorität der vorliegenden Anmeldung für jeden unmittelbar verfügbar war. Aufgrund seiner weiten Verbreitung kann die allgemeine Bekanntheit eines solchen Standes der Technik vernünftigerweise nicht bezweifelt werden. Es wurde daher auch kein schriftlicher Nachweis für notwendig erachtet. *</p> <p>-----</p>	

1

Formblatt P/3/884/891 (Patentblatt vom Blatt 2) (Januar 2004)