

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
2. April 2015 (02.04.2015)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2015/044082 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G05B 17/02 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2014/070118

(22) Internationales Anmeldedatum:
22. September 2014 (22.09.2014)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2013 016 378.1
30. September 2013 (30.09.2013) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **EVONIK INDUSTRIES AG** [DE/DE];
Rellinghauser Straße 1-11, 45128 Essen (DE).

(72) Erfinder; und

(71) Anmelder (nur für US): **DADHE, Kai** [DE/DE];
Behrensstraße 6 a, 45701 Herten (DE). **FERDINAND,
Dennis** [DE/DE]; Vennkamp 29, 45772 Marl (DE).

BIEHL, Carmen [DE/DE]; Paul-Schneider-Str. 3, 45770
Marl (DE). **HAANE, Christof** [DE/DE]; Bebelstraße 11,
45770 Marl (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,
ZW.

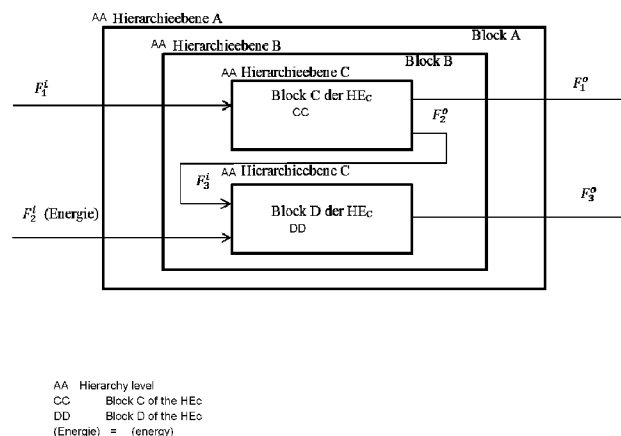
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,
KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: COMPUTER-IMPLEMENTED AGGREGATION METHOD, AND METHOD, COMPUTER SYSTEM, AND
COMPUTER PROGRAM FOR MONITORING THE OPERATION OF CHEMICAL-INDUSTRY DEVICES

(54) Bezeichnung : COMPUTER-IMPLEMENTIERTES AGGREGATIONSVERFAHREN SOWIE VERFAHREN,
COMPUTERSYSTEM UND COMPUTERPROGRAMM ZUR BETRIEBSÜBERWACHUNG VON
CHEMIEINDUSTRIEEINRICHTUNGEN

FIG. 2



(57) Abstract: The invention relates to a computer-implemented method for calculating and storing at least one aggregation for an input flow and/or an output flow of at least one mass flow and/or energy flow, which flows through a directed connection between two units of a chemical-industry device, for at least one unit of the chemical-industry device, and a further computer-implemented method building thereon for monitoring the operation of chemical-industry devices by means of at least one characteristic value, which method calculates at least one characteristic value for monitoring the operation of the chemical-industry device, on the basis of at least one stored characteristic-value determination rule from the one or more aggregations, which were calculated according to the method according to the invention mentioned first, for a particular input flow and/or the particular output flow of a particular mass flow and/or energy flow and/or information flow of a unit or of units of the chemical-industry device and stores the at least one characteristic value for further processing or display.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2015/044082 A1



CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

Computer-implementiertes Verfahren zur Bildung und Speicherung zumindest einer Aggregation für einen Zugangs-Strom und/oder einen Abgangs-Strom zumindest eines Massenstroms und/oder Energiestroms, der durch eine gerichtete Verbindung zwischen zwei Einheiten einer Chemieindustrieeinrichtung fließt, für zumindest eine Einheit der Chemieindustrieeinrichtung, und hierauf aufbauendes weiteres computer-implementiertes Verfahren zur Betriebsüberwachung von Chemieindustrieeinrichtungen mittels zumindest einer Kenngröße, das anhand zumindest einer gespeicherten Kenngrößen-Ermittlungsregel aus der oder den nach dem erstgenannten erfindungsgemäßen gebildeten Aggregation(en) für einen jeweiligen Zugangs-Strom und/ oder den jeweiligen Abgangs- Strom eines jeweiligen Massenstromes und/oder Energiestromes und/oder Informationsstromes von einer Einheit oder von Einheiten der Chemieindustrieeinrichtung zumindest eine Kenngröße zur Betriebsüberwachung der Chemieindustrieeinrichtung bildet und zur Weiterverarbeitung oder Anzeige speichert.

Titel: Computer-implementiertes Aggregationsverfahren sowie Verfahren, Computersystem und Computerprogramm zur Betriebsüberwachung von Chemieindustrieeinrichtungen

Die vorliegende Erfindung betrifft ein computer-implementiertes Aggregationsverfahren zur Bildung und Speicherung zumindest einer Aggregation für einen Zugangs-Strom (auch *Input-Strom* genannt) und/oder einen Abgangs-Strom (auch *Output-Strom* genannt) zumindest eines Massenstroms und/oder Energiestroms, der durch eine gerichtete Verbindung zwischen zwei Einheiten einer Chemieindustrieeinrichtung fließt für zumindest eine Einheit der Chemieindustrieeinrichtung, sowie ein hierauf aufbauendes computer-implementiertes Verfahren und ein ebenfalls hierauf aufbauendes Computersystem jeweils zur Betriebsüberwachung von Chemieindustrieeinrichtungen.

10 Nach dem Stand der Technik existiert kein Verfahren und kein System das es erlaubt technische Kenngrößen auf unterschiedlichen Hierarchieebenen einer als Verbundsystem ausgestalteten Chemieindustrieeinrichtung zu erfassen, konsistent zu modellieren und auf dieser Grundlage zunächst zur Überwachung der Chemieindustrieeinrichtung, letztlich aber auch zur ihrer Steuerung und/oder Optimierung zur Verfügung zu stellen.

15 Zwar sind aus der Betriebswirtschaftslehre Kennzahlensysteme bekannt, die einen hierarchischen Bezug vorweisen und komplexe Vorgänge abzubilden suchen, allerdings sind diese aufgrund ihrer rein betriebswirtschaftlichen Zielsetzung für die Überwachung, Steuerung oder gar Optimierung eines komplexen technischen Systems, wie es eine komplexe Verbundeinrichtung der chemischen Industrie ist, ungeeignet. Ein derartiges allein an betriebswirtschaftlichen Erfordernissen ausgerichtetes Kennzahlensystem ist das sogenannte DuPont(eingetragene Marke)-System (Vgl. auch: Staehle, W.; *Kennzahlen und Kennzahlensysteme als Mittel der Organisation und Führung von Unternehmen*, überarbeitete Auflage, Wiesbaden, 1973; Bausch, A./Kaufmann, L.; *Innovationen im Controlling am Beispiel der Entwicklung monetärer Kennzahlensysteme*, Controlling 2000, 122ff.).

25 Ein weiterer Ansatz zur Modellierung eines Verbundsystems nach dem Stand der Technik findet sich bei von Viere, Brünner und Hedemann (Vgl. Viere, T. et al.; *Material Flow Based Planning and Optimization of Highly Integrated Production Systems*, Chem. Eng. Technol 2010, 33 (4), 582ff.). Hier werden

mit Hilfe eines *Umberto* genannten Programms Stoffströme und Energieströme eines Produktionssystems in sogenannten Sankey-Diagrammen visualisiert. Allerdings wird dabei nicht auf Basis spezifischer technischer Kenngrößen optimiert, sondern der Verbund als Ganzes betrachtet. Das heißt, dass hiernach eine Betrachtung oder gar Auswertung einzelner Elemente verschiedener Hierarchie-

5 ebenen eines komplexen technischen Verbundsystems nicht vorgesehen ist. Zudem bestehen Zweifel an der Geeignetheit des Programms *Umberto* für die bestehende Problematik, was auf einen diesbezüglichen Test bei der Anmelderin in der Vergangenheit gründet.

Eine weiterer Ansatz mit Hilfe eines Optimierungs-Algorithmus auf der Basis von sogenannten Petri-Netzen, wird bei *von Moeller, Prox, Lambrecht* und *Schmidt* vorgestellt (Vgl. Moeller, A. et al.; *Simulation and Optimization of Material and Energy Flow Systems* in: Rossetti, M. D. et al. (Hrsg.); *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference IEEE*, Baltimore 2009, 1444ff.)

10

Moeller et al. definieren jedoch keine Kenngrößen für technische Hierarchieebenen, sondern betrachten den jeweiligen Verbund vielmehr als Ganzes, wobei vor allem auf die Simulation, die Visualisierung und die Optimierung eines Verbund-Systems fokussiert wird.

15 Weitere Veröffentlichungen zu sogenannten Manufacturing-Execution-Systeme enthalten lediglich allgemein gehaltene Hinweise zur Erstellung solcher System, nicht jedoch explizite Beschreibungen einer tatsächlichen Realisierung (Vgl. etwa ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e. V. , Fachverband Automation (Hrsg.); *Automation: Manufacturing Execution Systems – Branchenspezifische Anforderungen und herstellerneutrale Beschreibung von Lösungen* Frankfurt, 2010.)

20 Auch beschreibt zwar die DIN EN ISO 50001 die Einführung von sogenannten Energiemanagementsystemen (Vgl. DIN EN ISO 50001: *Energiemanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung*), geht allerdings nur sehr allgemein und vor allem nur branchenunabhängig, d.h. insbesondere ohne die Berücksichtigung der spezifischen Belange chemischer Industrieeinrichtungen, wie etwa von Verbundsystemen der chemischen Industrie auf die Einführung derartiger Systeme ein.

25 Ein Beispiel hierfür gibt ihre Darstellung, dass aussagekräftige Energiekennzahlen (sogenannte *EnPI's*) gebildet werden müssen, die selbst aber nicht in der Norm definiert werden. Die Norm beschreibt somit nur die Rahmenbedingungen zur Einführung derartiger Systeme und nicht etwa ihre explizite Implementierung.

Ferner gehen *von Steinbach, Winkenbach* und *Ehmsen* (Vgl. Steinbach, A. et al.; *Materialeffizienz und Nachhaltigkeit in der Chemie: Wo stehen wir heute?*, Chemie Ingenieur Technik 2011, 295ff.) auf Kenn-

30

zahlen zur Bestimmung der Materialeffizienz ein, indem sie beschreiben, dass sich die Gesamt-Kenngrößen aus den Kenngrößen der jeweiligen Einzelprozesse zusammensetzen, also nicht einheitlich für jede Hierarchieebene definiert sind, gleichwohl wird aber auch gesagt, dass zwar Daten zur Auswertung von Kenngrößen vorhanden seien, aber in der chemischen Industrie keine einheitlichen Kenngrößen zur Auswertung der Prozesse vorliegen.

Kenngrößen zur Charakterisierung der Energie-Effizienz werden zudem bei *Kumana* und *Sidhwa* (Vgl. Kumana, J. et al.; *Meaningful Energy Efficiency Performance Metrics for the Process Industries*, Proceedings of the Thirty-First Industrial Energy Technology Conference, New Orleans, Louisiana, 2009.) vorgestellt. Außerdem werden dort allgemeine Anforderungen an derartige Kenngrößen festgelegt.

So wird etwa vorgeschlagen, dass die Schlüssel-Leistungskenngrößen (also die sogenannten *Key Performance Indicators*) in vier verschiedene Kategorien unterteilt werden, welche da sind sind

- Anlagenausstattung (sogenanntes *Equipment*),
- Verarbeitungseinheit (sogenannte *Process Unit*), sowie
- Produkt- und Geschäftseinheit (sogenannte *Product and Business Unit*).

Anschließend werden sodann beispielhaft Kennzahlen für die Kategorien diskutiert und als ein wichtiger Aspekt zur Aufschlüsselung von Prozessunstimmigkeiten, die Aufteilung der Kennzahlen in Kategorien angeführt. Die Kategorien unterliegen dabei aber keiner hierarchischen Auswahl, sondern werden frei und zum Teil unabhängig voneinander gewählt, so dass in jeder Kategorie verschiedene Kennzahlen definiert werden. Somit wird auch hier kein generisches Kenngrößensystem über verschiedene Hierarchieebenen gezeigt, das die informationstechnische Modellierung einer als Verbundsystem arbeitenden Chemieindustrieeinrichtung und damit eines Überwachungssystems für eine solche Anlage erlauben würde.

Nach dem diesseitig bekannten Stand der Technik wird somit bis heute nirgends der konkrete Einsatz von Kenngrößen in einem hierarchischen Verbundsystem der chemischen Industrie beschrieben. Auch ist somit dem Stand der Technik nicht zu entnehmen, ob und wenn ja in welcher Weise solche Kenngrößen in einer Chemieindustrieeinrichtung, insbesondere in einem derartigen Verbundsystem erfaßt bzw. aus erfaßten – vorzugsweise automatisch gemessenen - Primärgrößen ermittelt werden können, um die Einrichtung damit zunächst - etwa auf des Erreichens bestimmter Werte für solche Kenngrößen hin - zu überwachen und infolge dessen damit womöglich auch eine Pro-

zesssteuerung und/oder Prozessoptimierung der Chemieindustrieeinrichtung vornehmen zu können.

Im Vordergrund steht jedoch die grundlegende Problematik, die Betriebsweise der Chemieindustrieeinrichtung zu überwachen, um sie sodann - etwa hinsichtlich ihrer Ressourceneffizienz – steuern und/oder optimieren zu können.

Betreffend vorgenannte Ressourceneffizienz und ihrer Realisierung wurden im Jahr 2011 gleich drei VDI-Richtlinien angegangen (VDI 4597 *Rahmenrichtlinie Ressourceneffizienz – Grundlagen und Bewertungsmethoden*, VDI 4598 und VDI 4599). Bis dato ist aber keine dieser Richtlinien fertiggestellt oder veröffentlicht, so dass hier auch kein Bezug auf sie genommen werden kann und ihr (potentieller) Inhalt bislang auch nicht öffentlich bekannt ist.

Ferner haben Diskussionen des Erfinders mit Softwareherstellern für die Prozessindustrie zu der Erkenntnis geführt, dass auch im nicht druckschriftlich belegten Stand der Technik keine Verfahren oder Systeme existieren, die technische Kenngrößen auf unterschiedlichen Hierarchieebenen in einer als Verbundsystem ausgestalteten Chemieindustrieeinrichtung zu erfassen, konsistent zu modellieren und auf dieser Grundlage zur Überwachung der Chemieindustrieeinrichtung einzusetzen.

Vor dem Hintergrund dieses Standes der Technik ist es daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein solches Verfahren und System zur Überwachung der Chemieindustrieeinrichtung anzugeben, das in der Lage ist, auf Einheiten unterschiedlicher Hierarchieebenen einer als Verbundsystem ausgestalteten Chemieindustrieeinrichtung bezogene technische Kenngrößen zu bilden und so die Chemieindustrieeinrichtung, vorzugsweise im Hinblick auf deren Ressourceneffizienz anhand dieser technischen Kenngrößen zu überwachen.

Diese Aufgabe wird zunächst durch ein computer-implementiertes Verfahren zur Bildung und Speicherung zumindest einer Aggregation für einen Zugangs-Strom (auch *Input-Strom* genannt) und/oder einen Abgangs-Strom (auch *Output-Strom* genannt) zumindest eines Massenstroms und/oder Energiestroms, der durch eine gerichtete Verbindung zwischen zwei Einheiten einer Chemieindustrieeinrichtung fließt für zumindest eine Einheit der Chemieindustrieeinrichtung nach Anspruch 1 gelöst, indem es dieses Verfahren ermöglicht, sowohl (Massen- oder Energie-, vorzugsweise auch Informations-)Zugangs-Ströme, als auch (Massen- oder Energie-, vorzugsweise auch Informations-)Abgangs-Ströme für eine jeweilige Einheit, die auf einer bestimmten Hierarchieebenen einer als Verbundsystem ausgestalteten Chemieindustrieeinrichtung liegt so zu aggregieren, dass die

in der jeweiligen Einheit nur intern fließenden Massen- oder Energieströme (vorzugsweise auch Informationsströme [auch Informationsflüsse genannt]) ausgeblendet werden, indem nur noch die auf der jeweiligen Hierarchieebene relevanten Ströme betrachtet werden. Dies sind einerseits die zufließenden Ströme, also die Zugangs-Ströme, deren Beginn außerhalb und deren Ende innerhalb der jeweiligen Einheit liegen und zwar einschließlich aller der zu dieser Einheit gehörigen Teileinheiten der Chemieindustrieeinrichtung. Ebenso sind dies andererseits auch alle abfließenden Ströme, also die Abgangs-Ströme, deren Beginn innerhalb der jeweiligen Einheit und deren Ende außerhalb dieser Einheit liegen und zwar wiederum ebenfalls einschließlich aller der zu dieser Einheit gehörigen Teileinheiten der Chemieindustrieeinrichtung.

Diese Aggregation wird bei dem erfindungsgemäßen computerimplementierten Verfahren nach Anspruch 1 dadurch ermöglicht, dass hier einerseits eine Datenstruktur – nämlich die Block-Datenstruktur - vorgesehen ist, die die Hierarchie der jeweiligen Einheiten der Chemieindustrieeinrichtung abbildet, wobei sich diese Hierarchie vorzugsweise an der Norm ANSI/ISA-95.00.01-2010 (IEC 62264-1 Mod) Part 1: *Models and Terminology* orientiert, nach der als obere Ebene das Unternehmen, hiernach auf der nächst niedrigeren Ebene der Standort, hiernach wiederum eine Hierarchieebene niedriger der Betrieb, dann die Anlage und schließlich auf einer unteren Hierarchieebene die Teilanlage (vorzugsweise mit entsprechendem Equipment auf der niedrigsten Hierarchieebene) vorgesehen ist und andererseits auch eine Datenstruktur – nämlich die Verbindungs-Datenstruktur – vorgesehen ist, die die gerichteten Verbindungen zwischen den realen Einheiten der Chemieindustrieeinrichtung (dort oft Rohrleitungen für Massenströme oder Energieleitungen etwa für elektrischen Strom oder Datenleitungen für Informationsströme) in dieser Datenstruktur modelliert und so einen Computer in die Lage versetzt, anhand dieser beiden Datenstrukturen, die nicht unbedingt voneinander separiert vorliegen müssen, sondern auch – etwa speicherplatzüberlappend - ineinandergreifen können, festzustellen, wo die zu einer Einheit gehörigen gerichteten Verbindungen beginnen und wo sie enden, um so die vorstehend beschriebene Ausblendung der nur intern innerhalb der jeweiligen Einheit interessierenden Ströme vornehmen zu können. Die Speicherung der Datenelemente in der jeweiligen Datenstruktur kann dabei in beliebiger Weise erfolgen, sei es explizit, sei es implizit. So sei daran erinnert, dass etwa ein Graph durch eine Vielzahl von Datenstrukturen im Speicher eines Computers abgespeichert werden kann, so etwa als zweidimensionale Verbindungsmatrix, deren Indizes dann eine implizite vorliegende Speicherung die Knoten des Graphen – hier etwa die Block-Datenelemente – darstellen.

Auch kann etwa die Hierarchie der Einheiten der Chemieeinrichtung in der Block-Datenstruktur dadurch repräsentiert werden, dass das jeweilige übergeordnete Block-Datenelement das jeweilig übergeordnete Block-Datenelement auf das ihm jeweilig untergeordnete Block-Datenelement verweist oder umgekehrt das jeweilige untergeordnete Block-Datenelement auf das ihm jeweilig übergeordnete Block-Datenelement verweist. Ebenso kann aber das jeweilig übergeordnete Block-Datenelement auch das ihm jeweilig untergeordnete Block-Datenelement enthalten, etwa wenn eine Mengen oder Listenstruktur als Datenstruktur für die Block-Datenelemente verwendet wird.

Ist die Ausblendung der irrelevanten Ströme anhand der Informationen der in der Block-Datenstruktur gespeicherten Block-Datenelemente und der in der Verbindungs-Datenstruktur gespeicherten Verbindungs-Datenelemente, die die reale Chemieindustrieeinrichtung informationstechnisch modellieren (also hinsichtlich ihrer für die vorliegende Erfindung interessierenden [also relevanten] Eigenschaften im Speicher abbilden) geschehen, so brauchen die für die jeweilige Einheit verbliebenen Zugangs- und Abgangs-Ströme nur noch entsprechend einer Aggregationsregel aggregiert zu werden, was etwa durch Aufsummierung, durch Mittelwertbildung (nicht nur im engeren Sinne eines arithmetischen Mittels, sondern auch etwa als geometrisches Mittel oder als Median oder auch - etwa falls eine Bildung über die Zeit erfolgt, auch als gleitendes Mittel -) oder durch Extremwertbildung (Minimum oder Maximum) geschehen kann, was insbesondere sinnvoll sein kann, wenn etwa eine bestimmter Zeitraum für die Aggregation gewählt werden soll, was nach der vorliegenden Erfindung vorzugsweise ebenfalls möglich ist. Diese Aggregation der jeweiligen Ströme oder des jeweiligen Stromes geschieht so, dass Größen - vorzugsweise Meßgrößen - die dem jeweiligen Strom (Zugangs- oder Abgangs-Strom) zugeordnet (*attribuiert*) sind, erfaßt und entsprechend der Aggregationsregel aggregiert, also etwa aufsummiert werden.

Eine Aufsummierung über die Hierarchieebenen kann beispielsweise bei Durchfluss-Messungen oder auch bei Kosten erfolgen, wohingegen bei Temperaturen, Drücken und Zusammensetzungen nur das Bilden eines Mittelwertes sinnvoll ist. Ströme, von denen etwa ein Maximum ermittelt werden soll, können zum Beispiel Dampfverbräuche sein.

Grundsätzlich gibt es somit zwei Arten der Aggregation. Zum einen erfolgt eine Aggregation über das betrachtete Block-Datenelement einer Hierarchieebene (nach verschiedenen möglichen Aggregationsregeln, die sich etwa der Aufsummierung, der Mittelwertbildung oder auch der Extremwertbildung bedienen können) und zum anderen eine Aggregation über die Zeit, wobei beide vorgenannte

arten auch miteinander kombiniert werden können. Eine detailliertere Betrachtung zu den vorstehend angeführten Aggregationsmöglichkeiten findet sich im weiteren in der Besprechung der Fig. 1 und 2, die sich auch einer formalen Spezifikation bedient.

Das vorstehende computer-implementierte Verfahren zur Bildung und Speicherung zumindest einer Aggregation für einen Zugangs-Strom und/oder einen Abgangs-Strom zumindest eines Massenstroms und/oder Energiestroms - vorzugsweise auch eines Informationsstroms -, der durch eine gerichtete Verbindung zwischen zwei Einheiten einer Chemieindustrieeinrichtung fließt, für zumindest eine Einheit der Chemieindustrieeinrichtung, löst so die Aufgabe auf Einheiten unterschiedlicher Hierarchieebenen einer als Verbundsystem ausgestalteten Chemieindustrieeinrichtung bezogene Kenngrößen überhaupt erst bilden zu können, indem es die Kenngrößenbildung auf der Grundlage einer durch die erfindungsgemäße Aggregation hierarchieangepaßten Berücksichtigung der Massen- und Energieströme - vorzugsweise auch Informationsströme - ermöglicht.

Das vorstehend erläuterte erfindungsgemäße Aggregationsverfahren wird so zur Ermittlung von Kenngrößen (sogenannten KPI's [Key Performance Indicators]) verwendet. Je nachdem welcher Massen-, Energie oder auch Informationsstrom zur KPI-Ermittlung aggregiert wird, kann eine der vorgenannten prinzipiellen Aggregationsvorschriften (Aufsummierung, Mittelwertbildung oder auch Extremwertbildung) genutzt werden. Dabei ist zu erwähnen, dass die vorerwähnten Kenngrößen (KPI's) nicht nur technische Kenngrößen (auch technische Kennzahlen genannt), sondern auch betriebswirtschaftliche Kennzahlen (auch betriebswirtschaftliche Kenngrößen genannt) sein können, wie etwa die monetäre Bewertung eines Lagerbestandes oder etwa ein Strom der einen „Wert“ darstellt, wie etwa ein Informationsfluß mit der Einheit „Euro“. Grundsätzlich sind darüber hinaus selbstverständlich auch andere, weitere Aggregationsvorschriften als die genannten (Aufsummierung, Mittelwert- oder Extremwertbildung) im Rahmen des Verfahrens nach der vorliegenden Erfindung möglich

Das erfindungsgemäße Aggregationsverfahren schafft so also die technischen Voraussetzungen zur Betriebsüberwachung von Chemieindustrieeinrichtungen mittels zumindest einer Kenngröße (KPI), wobei anhand zumindest einer gespeicherten Kenngrößen-Ermittlungsregel aus der oder den nach dem vorstehend beschriebenen Verfahren nach der vorliegenden Erfindung gebildeten Aggregation(en) für einen jeweiligen Zugangs-Strom und/oder den jeweiligen Abgangs-Strom eines jeweiligen Massenstromes und/oder Energiestromes von einer Einheit oder von Einheiten der Chemieindust-

rieinrichtung zumindest eine - vorzugsweise - technische Kenngröße (KPI) zur Betriebsüberwachung der Chemieindustrieeinrichtung gebildet und zur Weiterverarbeitung oder Anzeige gespeichert wird oder werden.

Es muß somit also für jede Einheit der Chemieindustrieeinrichtung, für die zumindest
5 ne - vorzugsweise technische - Kenngröße gebildet werden soll zunächst eine oder mehrere Aggregationen der Massen- oder Energieströme (und/oder Informationsströme) erfolgen, die für die Bildung der Kenngröße nötig sind. Sodann kann die Kenngröße selbst aus den so gebildeten Aggregationen ermittelt werden.

Auf diese Weise kann als technische Kenngröße vorzugsweise ein Energieleistungsindikator (sogennannter Energy Performance Indicator, kurz auch EnPI genannt) für eine diesbezüglich interessierende Einheit der Chemieindustrieeinrichtung ermittelt (oder gebildet) werden, wobei die Kenngrößen-Ermittlungsregel für diesen Energieleistungsindikator dahingehend lautet, dass der durch Aufsummierung über einen gewählten Zeitraum nach dem Verfahren dem entsprechenden erfindungsgemäßen Verfahren aggregierte Zugangs-Energiestrom aller Energien zu der jeweiligen Einheit der
10 Chemieindustrieeinrichtung hin durch den durch Aufsummierung über den gewählten Zeitraum nach dem Verfahren nach der vorliegenden Erfindung aggregierten Abgangs-Massenstrom aller Produkte von der jeweiligen Einheit der Chemieindustrieeinrichtung weg dividiert wird, um so den Energieleistungsindikator für die jeweilige Einheit der Chemieindustrieeinrichtung als die technische Kenngröße zu erhalten.

Eine bevorzugte Ausführungsform des computer-implementierten Verfahren zur Betriebsüberwachung von Chemieindustrieeinrichtungen nach der vorliegenden Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass zumindest auch ein Bestand – vorzugsweise ein Lagerbestand oder Füllstand –, eines Materials das einer Einheit der Chemieindustrieeinrichtung zugehört, erfaßt und jeweils als dieser Einheit der Chemieindustrieeinrichtung zugeordnet abgespeichert wird, und dass zumindest eine der
15 technischen Kenngrößen zur Betriebsüberwachung der Chemieindustrieeinrichtung zumindest auch anhand eines dieser Bestände des jeweiligen Materials zumindest einer der jeweiligen Einheiten der Chemieindustrieeinrichtung ermittelt wird.

Somit kommen als weitere Kennzahlen (KPI's) damit etwa in Betracht:

- der Umsatz, die Ausbeute und/oder die Selektivität,
- der Massenbilanzfaktor und/oder die Materialeffizienz,

- der Produktverlustindikator (sogenannter Product-Waste-Indicator),
- die Lagerumschlaghäufigkeit, die Lagerreichweite und/oder die Durchlaufzeit.

Die Details derartiger Kenngrößenermittlungen sind dabei im Folgenden ebenfalls der Besprechung der Fig. 1 und 2 zu entnehmen.

- 5 Auch ist vorzugsweise ein Computersystem zur Betriebsüberwachung von Chemieindustrieeinrichtungen vorgesehen, wobei das Computersystem zumindest einen Computer und zumindest einen Prozessor und mindestens einen Computersystem-Speicher sowie zumindest eine Erfassungseinrichtung zur Erfassung von Massenströmen und/oder Energieströmen - vorzugsweise auch Informationsströmen -, die durch eine jeweilige gerichtete Verbindung zwischen zwei Einheiten der Chemieindustrieeinrichtung fließen, aufweist und das erfindungsgemäß dadurch gekennzeichnet ist, dass
- 10 das Computersystem mittels eines Computerprogramms zur Durchführung der erfindungsgemäßen Verfahren eingerichtet ist, und zwar vorzugsweise so, dass das Computersystem, wenn es wie vorstehend eingerichtet in Betrieb gesetzt ist, mittels zumindest eines Prozessors nach dem vorstehend beschriebenen Verfahren zur Bildung und Speicherung zumindest einer Aggregation für
- 15 einen Zugangs-Strom und/oder einen Abgangs-Strom zumindest eines Massenstroms und/oder Energiestroms, der durch eine gerichtete Verbindung zwischen zwei Einheiten einer Chemieindustrieeinrichtung fließt, für zumindest eine Einheit der Chemieindustrieeinrichtung und/oder dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Betriebsüberwachung von Chemieindustrieeinrichtungen nach der vorliegenden Erfindung arbeitet.
- 20 Vorzugsweise weist dabei das Computersystem als Erfassungseinrichtung zur Erfassung von Massenströmen und/oder Energieströmen - oder auch Informationsströmen - zumindest einen Sensor, vorzugsweise einen Durchflusssensor, wie etwa einen Massendurchflußmesser oder auch einen Energiezähler zur Messung der elektrischen Energie oder ein Leistungsmeßgerät zur Messung der elektrischen Leistung auf. Die Erfassung kann aber auch – etwa wenn noch entsprechender Sensor
- 25 zur automatischen Erfassung fehlt – durch entsprechende Eingabe der Daten, etwa mittels einer Tastatur erfolgen.

In einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Computersystems zur Betriebsüberwachung von Chemieindustrieeinrichtungen sieht dieses auch zumindest eine Erfassungseinrichtung zur Erfassung von zumindest einem Bestand - vorzugsweise einen Lagerbestand oder einen Füll-

30 stand -, der einer Einheit der Chemieindustrieeinrichtung zugehört, vor. Dabei kann als Erfassungs-

einrichtung zur Erfassung zumindest eines der Bestände - vorzugsweise eines Lagerbestands oder eines Füllstands -, der einer Einheit der Chemieindustrieeinrichtung zugehört, ein Füllstandssensor oder ein Gewichtssensor vorgesehen sein. Gleichwohl kann die Erfassung auch hier – wenn etwa noch ein entsprechender Sensor zur automatischen Erfassung fehlt – durch entsprechende Eingabe
5 der Daten, etwa vermittelt einer Tastatur erfolgen.

Auch kann das erfindungsgemäße Computersystem zur Betriebsüberwachung von Chemieindustrieeinrichtungen in einer besonders bevorzugten Ausführungsform nach der vorliegenden Erfindung zumindest auch eine Anzeigevorrichtung aufweisen, die zur – vorzugsweise graphisch veranschaulichten - Anzeige des oder der entsprechend der Aggregationsregel(n) für den jeweiligen Zugangs-
10 Strom und/oder den jeweiligen Abgangs-Strom des jeweiligen Massen- oder Energiestromes der Einheit oder der Einheiten der Chemieindustrieeinrichtung ermittelten Aggregation oder Aggregationen und/oder entsprechend der oder den Kenngrößen-Ermittlungsregel(n) ermittelten Kenngröße(n) dient und auf der die entsprechenden Größen vorzugsweise – besonders bevorzugterweise graphisch – auch dargestellt werden.

Schließlich dient der Durchführung der vorliegenden erfindungsgemäßen Verfahren auch ein Computerprogramm, das Instruktionen aufweist, die zur Durchführung der Verfahrens nach der vorliegenden Erfindung eingerichtet sind. Mit anderen Worten, ein Computerprogramm, das so aufgebaut ist, dass es bei seiner Ausführung auf einem (geeigneten) Computer - vorzugsweise auf einem Computersystem wie hier vorstehend beschrieben - das entsprechende in ihm codierte erfindungsgemäße
15 Verfahren nach der vorliegenden Erfindung ausführt.

Gleiches gilt für ein Computerprogrammprodukt, welches ein computerlesbares Medium mit Computerprogramm-Code-Mitteln aufweist, bei dem jeweils nach Laden des Computerprogramms in einen (geeigneten) Computer (vorzugsweise in ein Computersystem wie hier vorstehend beschrieben), der Computer durch das Programm zur Durchführung eines Verfahrens nach der vorliegenden Erfindung eingerichtet ist. Mit anderen Worten, ein Computerprogrammprodukt mit einem
25 Computerprogramm etwa auf einem Datenträger als computerlesbares Medium (also etwa einem Speicherstick, etwa einem USB-Speicherstick oder einer Compact Disc (CD) oder DVD oder dergleichen) befindlich, wobei das Computerprogramm so aufgebaut ist, dass es bei seiner Ausführung auf einem (geeigneten) Computer - vorzugsweise auf einem Computersystem wie hier vorstehend

beschrieben - das entsprechend in ihm codierte erfindungsgemäße Verfahren nach der vorliegenden Erfindung – vorzugsweise auf zumindest einem Prozessor - ausführt.

Ebenso gehört zur vorliegenden Erfindung auch ein Computerprogrammprodukt, welches ein Computerprogramm auf einem elektronischen Signal aufweist, bei dem jeweils nach Laden des
5 Computerprogramms in einen (geeigneten) Computer der Computer zur Durchführung eines Verfahrens nach der vorliegenden Erfindung eingerichtet ist, da heutzutage Computerprogramme häufig auch zum sogenannten *Download*, also zum Herunterladen auf einem (elektronischen) Signal, vorzugsweise einem Trägersignal angeboten oder in Verkehr gebracht werden.

Im Folgenden werden nicht einschränkend zu verstehende Ausführungsbeispiele anhand der Zeichnung
10 nung besprochen. In dieser zeigt:

Fig. 1 die Veranschaulichung eines Teils eines formalen Modells zur Modellierung einer als Verbundsystem ausgestalteten hierarchisch strukturierten Chemieindustrieeinrichtung im Rahmen der vorliegenden Erfindung in Gestalt von zu Blöcken gehörigen sogenannte Pfa-
den, die zu hierarchisch höher liegenden Blöcken führen und wobei der jeweilige Block in
15 seiner informationstechnischen Modellierung als Block-Datenelement in einer Block-Datenstruktur in einem Speicher eines Computers abgespeichert wird und jeweils eine Einheit der Chemieindustrieeinrichtung repräsentiert,

Fig. 2 die Darstellung eines einfachen Beispiels der informationstechnischen Modellierung einer als Verbundsystem ausgestalteten hierarchisch strukturierten Chemieindustrieeinrichtung
20 mit zugehörigen Blöcken, die Einheiten der Chemieindustrieeinrichtung repräsentieren und zugehörigen Zugangs- und Abgangs-Strömen,

Fig. 3 die schematische Darstellung eines fiktiven Verbundsystems als Beispiel einer Chemieindustrieeinrichtung in gleicher Art und Weise wie in Fig. 2 dargestellt,

Fig. 4 die Struktur einer relationalen Datenbank zur Implementierung des Datenmodells für die
25 Modellierung des fiktiven Verbundsystems nach Fig. 3 im Überblick,

Fig. 5 einen sogenannten „*Hierarchy-View*“, einen sogenannten „*Flow-View*“ und einen sogenannten „*Block-View*“ auf die Struktur einer relationalen Datenbank zur Implementierung des Datenmodells für die Modellierung des fiktiven Verbundsystems nach Fig. 3 in gemeinsamer Darstellung,

Fig. 6 den sogenannten ‚*Hierarchy-View*‘ nach Fig. 5 in isolierter Darstellung,

Fig. 7 den sogenannten ‚*Flow-View*‘ nach Fig. 5 in isolierter Darstellung,

Fig. 8 den sogenannten ‚*Block-View*‘ nach Fig. 5 in isolierter Darstellung,

Fig. 9 einen sogenannten ‚*Model-View*‘, und

5 Fig. 10 einen sogenannten ‚*REM-View*‘.

Fig. 1 zeigt als Teil eines formalen Modells zur Modellierung einer als Verbundsystem ausgestalteten hierarchisch strukturierten Chemieindustrieeinrichtung im Rahmen der vorliegenden Erfindung die Veranschaulichung von zu Blöcken gehörigen sogenannten Pfaden, die zu hierarchisch höher lie-
10 genden Blöcken führen und wobei der jeweilige Block in seiner informationstechnischen Modellierung als Block-Datenelement in einer Block-Datenstruktur in einem Speicher eines Computers abgespeichert wird und jeweils eine Einheit der Chemieindustrieeinrichtung repräsentiert und Fig. 2 die Darstellung eines einfachen Beispiels der informationstechnischen Modellierung einer als Verbundsystem ausgestalteten hierarchisch strukturierten Chemieindustrieeinrichtung mit zugehörigen Blö-
15 cken, die Einheiten der Chemieindustrieeinrichtung repräsentieren sowie zugehörigen Zugangs- und Abgangs-Strömen.

Anhand dieser beiden Darstellungen soll nun im Detail das erfindungsgemäße Aggregationsverfahren, aber auch die hierauf basierende Bestimmung von Kenngrößen (KPI's) anhand diverser Beispiele erläutert werden.

20 Hier soll jedoch zunächst eine formale Grundlage gelegt werden, auf der diese Erläuterungen dann nachfolgenderweise basieren.

Grundlegende Bestandteile der vorliegenden Erfindung und der in ihrem Zusammenhang erfolgten Modellbildung stellen Ströme, namentlich Massenströme, Energieströme oder auch Informationsströme und Blöcke dar, wobei die Blöcke und ihre informationstechnische Abbildung als Block-
25 Datenelemente jeweils einer Einheit einer Chemieindustrieeinrichtung entsprechen, in einer Hierarchie angeordnet sind und die Ströme zwischen vorgenannten durch die Blöcke repräsentierten Einheiten der Chemieindustrieeinrichtung fließen. Nachfolgend soll hierzu nun zunächst eine formale Darstellung dieser Modellbildung erfolgen, wozu Hierarchieebenen, Ströme und Blöcke definiert werden. Dabei wird mit dem Begriff der Hierarchieebenen begonnen.

Wie bereits dargelegt, knüpft der im Rahmen der vorliegenden Erfindung verwendete Hierarchiebegriff an die ISA 95 Norm an, wo sechs verschiedene Hierarchieebenen definiert sind. Diese lauten in absteigender Reihenfolge:

- Unternehmen,
- Standort,
- Betrieb,
- Anlage, und schließlich
- Teilanlage, sowie als Bestandteil dieser,
- deren Equipment.

Auf diese Weise lässt sich jeder Teil einer chemischen Industrieeinrichtung bzw. eines Unternehmens in diese Anlagenhierarchie einordnen. Ein Beispiel gibt nachfolgende Tabelle wieder:

Bezeichnung der Hierarchieebene nach ISA 95-Norm	Deutsche Bezeichnung	Beispiel
1. Enterprise	Unternehmen	Evonik
2. Site	Standort	Marl
3. Area	Betrieb	Butadien-Betrieb
4. Plant	Anlage	NMP-Anlage
5. Subplant	Teilanlage	Destillation
6. Equipment	Equipment	Kolonne 201

Bei der vorstehend erwähnten Modellbildung im Rahmen der vorliegenden Erfindung kennzeichnet ein Strom F_j eine Verbindung zwischen zwei Blöcken, d.h. ein Strom hat einen Start- und Endpunkt, wobei Start- und Endpunkt Blöcke darstellen. Dabei ist es nicht relevant, auf welcher Hierarchieebene sich Start- und End-Block befinden. Demnach sind Ströme Hierarchieebenen-übergreifend definiert. Bei der Modellierung der Ströme wird schnell deutlich, welche Vorteile diese Definition hat. In der Realität kommt es häufig vor, dass ein Strom von einem Block einer höheren Hierarchieebene, z.B. einem Hafentanklager, zu einer niedrigeren, z.B. einer Teilanlage, fließt. Aufgrund der Definition ist dies möglich. Der Start-Block und der End-Block müssen verschieden sein, d.h. ein Strom kann nicht in demselben Block enden, in dem er auch begonnen hat. Eine Aufteilung oder eine Verzweigung eines Stromes ist nicht möglich. Es gibt immer nur einen einheitlichen Strom mit definiertem Anfang und Ende. Muss eine Aufteilung eines Stromes abgebildet werden, so muss ein

zusätzlicher Block hinzugefügt werden, in welchem ein Strom eingeht und zwei wieder austreten. Zusammengefasst führt dies zu den nachfolgenden Definitionen.

Für jeden Strom gilt:

$$SP(F_j) = B_k \text{ und } EP(F_j) = B_z \quad (1)$$

mit:

$$SP(F_j) \neq EP(F_j) \quad (2)$$

Für die Menge aller Ströme gilt:

$$\Psi = \{F_j, j = 1 \dots J\} \quad (3)$$

- 5 Ein Block B_k stellt in dem System ein Element einer bestimmten Hierarchieebene der Chemieindustrieinrichtung dar, bzw. kann auch eine Hierarchieebene (Bsp. Enterprise also Unternehmen) repräsentieren. Dabei ist der Anzahl der Blöcke auf den jeweiligen Hierarchieebenen keine Limitierung gesetzt. Lediglich die Anzahl der Blöcke auf der höchsten Hierarchieebene, des Unternehmens (Enterprise)-Ebene, ist auf drei beschränkt (External-In, External-Out und Unternehmen). Blöcke
10 können also für ein Unternehmen, einen Standort, einen Betrieb, eine Anlage, eine Teilanlage oder für ein Equipment stehen und werden in der erfindungsgemäßen informationstechnischen Modellierung als Block-Datenelemente in eine Block-Datenstruktur in einem Speicher hinterlegt. Blöcke bilden die Start- und Endpunkte von Strömen, wobei dieses Kriterium nicht von jedem Block erfüllt werden muss. Ein Block einer Hierarchieebene, außer der niedrigsten, kann auch nur durchflossen
15 werden, sodass ein Strom In- oder Output-Strom für diesen Block ist. Jedem Block können beliebige, einfache Attribute zugeordnet, werden, z.B. ein Hold-up, also ein Füllstand eines Behälters. Für jeden Block lassen sich Input- und Output-Ströme definieren. So kann ein Strom für Block B_k ein Output-Strom und für Block B_z ein Input-Strom sein. Die Hierarchieebene HE_m ist direkt abhängig von einem Block und ergibt sich zu:

$$HE(B_k) = m \quad (4)$$

- 20 Die Variable m kann einen Wert zwischen 1 und 6 annehmen, da diese für eine feste Tiefe in der gegebenen Hierarchie steht. Ein Wert von $m = 3$ bedeutet zum Beispiel, dass ein Block auf der dritten Hierarchieebene betrachtet wird. Für die Menge aller Blöcke gilt:

$$\Gamma = \{B_k, k = 1 \dots K\} \quad (5)$$

Außerdem gilt, dass jedem Block nur ein eindeutiger Parent-Block zugeordnet werden kann. Ein Parent-Block kann dagegen mehrere Blöcke unter sich beinhalten. Eine Ausnahme stellt die höchste

Hierarchieebene ($m = 1$) dar. Blöcke auf dieser Hierarchieebene besitzen keinen Parent-Block. Diese Struktur ist als hierarchische Baumstruktur aufzufassen. Dies führt zur Definition für den Parent-Block:

$$P(B_k^m) = \begin{cases} B_z^{m-1}, & \text{falls } m > 1 \\ \emptyset, & \text{falls } m = 1 \end{cases} \quad (6)$$

Für die nachfolgenden Definitionen muss die Parent-Block-Definition jedoch erweitert werden.

- 5 Eine Betrachtung des dem Parent-Block übergeordneten Parent-Blockes erfordert die doppelte Anwendung der Parent-Block-Vorschrift, was in nachfolgender Notation durch eine hochgestellte Zwei wiedergegeben ist:

$$P^2(B_k^m) = P(P(B_k^m)) \quad (7)$$

Unter Verwendung dieser Definitionen kann ein Pfad eines Blockes beschrieben werden. Der Pfad eines Blockes enthält alle dem Block eindeutig übergeordneten Parent-Blöcke einschließlich des Blockes der höchsten Ebene. Dies führt zu der folgenden, allgemeinen Definition eines Pfades:

$$Pf(B_k^m) = \{P^{m-1}(B_k), \dots, P^2(B_k), P(B_k), B_k^m\} \quad (8)$$

Damit folgt für die Blöcke eines Pfades eines beliebigen Blockes die Definition:

$$Pf(B_k) = \begin{cases} B_k, & \text{falls } m = 1 \\ B_k \cup Pf(P(B_k)), & \text{falls } m > 1 \end{cases} \quad (9)$$

Anhand des in Fig. 1 dargestellten Beispiels wird dabei nachfolgend erläutert, was unter einem Pfad zu verstehen ist. Dort sind auf der linken Seite der Darstellung Blöcke in einer Baumstruktur angeordnet. Anhand des hochgestellten m kann die jeweilige Hierarchieebene bestimmt werden. Auf der rechten Seite ist eine Tabelle zusehen, die den jeweiligen Pfad enthält. Anhand des Blockes mit der Kennziffer (hier also dem Sub-Index von B) 5 der Hierarchieebene 3 ($m = 3$) wird dies erläutert. Zu dem Pfad von Block 5 gehört damit der Parent-Block B_2 und der Parent-Block B_1 des Blockes B_5 :

$$Pf(B_5^3) = \{B_1, B_2, B_5\}$$

Eine Betrachtung der Blöcke, die einem Block untergeordnet sind, führt zu der Definition, dass alle Blöcke zu diesen untergeordneten Blöcken zu zählen sind, die den betrachteten Block in ihrem Pfad besitzen:

$$\theta(B_k) = \{B_z \in \Gamma \mid B_k \in Pf(B_z)\} \quad (10)$$

Dementsprechend sind die Blöcke, die dem Block nicht untergeordnet sind, alle anderen und somit das Komplement von θ . Geschrieben werden kann dies wie folgt:

$$\bar{\theta}(\mathbf{B}_k) = \mathbf{1} - \theta(\mathbf{B}_k) \quad (11)$$

Zugangs- und Abgangs-Ströme

In jedem Chemie-Verbund bzw. in jeder Produktionsanlage gibt es Zugangs- und Abgangs-ströme (auch Input- und Output-Ströme genannt). Im Modell nach der vorliegenden Erfindung fließen die Ströme immer in einem bestimmten Block hinein oder aus einem bestimmten Block heraus.

5 In der Darstellung nach Fig. 2 ist eine derartige Struktur, bestehend aus den drei Grundelementen, nämlich den Elementen

- Ströme,
- Hierarchieebenen und
- Blöcke

10 zu sehen.

Wie in Fig. 2 zu sehen ist, ist ein Block immer einer bestimmten Hierarchieebene zugeordnet. Zum Beispiel kann Block A der Hierarchieebene A, Block B der Hierarchieebene B und der Block C und D der Hierarchieebene C zugeordnet werden. In der Darstellung hier – die in dieser Art und Weise auch an anderer Stelle der hier vorliegenden Beschreibung verwendet wird – ist der innenliegende
 15 Block immer mindestens eine Hierarchieebene niedriger einzuordnen als der umfassende Block. So kann etwa der Block B als auf Hierarchieebene B befindlich angesehen werden, dessen Hierarchieebene mithin niedriger ist als diejenige von Block A, zugleich aber als höherliegend als diejenige der Blöcke C und D. Werden zusätzlich die Ströme betrachtet so wird deutlich, dass es Zugangs-Ströme (sogenannte Input-Ströme) und Abgangs (sogenannte Output-Ströme) gibt. Eine Besonderheit stellt
 20 der Strom zwischen Block C und Block D dar. Dieser ist für den Block C ein abgangs-Strom (Output-Strom), aber für den Block D ein Zugangs-Strom (Input-Strom), dies eine Tatsache, die in der Modellierung der Ströme beachtet werden muß. Nachfolgend werden Zugangs- und abgangs-Ströme (Input- und Output-Ströme) allgemein und auf Blöcke bezogen definiert, wobei zunächst die Definition der Zugangs-Ströme (Input-Ströme) und dann die der abgangs-Ströme (Output-Ströme)
 25 erfolgt.

F_j ist ein Zugangs-Strom (Input-Strom) für einen Block k (B_k) der Hierarchieebene m (HE_m), wenn F_j nicht in B_k der HE_m oder einer Hierarchieebene niedrigerer als HE_m innerhalb des B_k startet und in B_k der HE_m oder einer Hierarchieebene niedrigerer der HE_m innerhalb des B_k endet.

Ein Zugangs-Strom (Input-Strom) kann laut Definition demnach auch für mehrere Hierarchieebenen ein Zugangs-Strom (Input-Strom) sein, aber er endet immer in einem bestimmten Block. Für die Menge Ψ^i aller Zugangs-Ströme (Input-Ströme) eines Blockes k der Hierarchieebene m gilt:

$$\Psi^i(B_k) = \{F_j \in \Psi \mid SP(F_j) \in \bar{\theta}(B_k) \wedge EP(F_j) \in \theta(B_k)\} \quad (12)$$

Das nachfolgende Beispiel bezieht sich wiederum auf Fig. 2:

- 5 $F_1^i F_1^i$ ist ein Zugangs-Strom (Input-Strom) der Hierarchieebene A und von Block A (B_A), der Hierarchieebene B und von Block B (B_B) sowie der Hierarchieebene C und von Block C (B_C). Mathematisch heißt dies:

$$\Psi^i(B_A) = F_1^i; \Psi^i(B_B) = F_1^i; \Psi^i(B_C) = F_1^i$$

- 10 F_j ist ein Abgangs-Strom (Output-Strom) für ein Block k (B_k) der Hierarchieebene m (HE_m), wenn F_j in B_k der HE_m oder in einem Block niedrigerer als HE_m innerhalb des B_k startet und nicht in B_k der HE_m oder in einem Block niedrigerer der HE_m innerhalb des B_k endet. Ein Abgangs-Strom (Output-Strom) kann laut Definition demnach auch für mehrere Hierarchieebenen ein abgangs-Strom sein, aber er startet immer in einem bestimmten Block. Für die Menge Ψ^o aller Abgangs-Ströme eines Blockes k der Hierarchieebene m gilt:

$$\Psi^o(B_k) = \{F_j \in \Psi \mid SP(F_j) \in \theta(B_k) \wedge EP(F_j) \in \bar{\theta}(B_k)\} \quad (13)$$

Auch im folgenden Beispiel, das sich wiederum auf Fig. 2 bezieht, wird der Strom $F_3^o F_3^o$ betrachtet:

- 15 $F_3^o F_3^o$ ist ein Abgangs-Strom (Output-Strom) der Hierarchieebene A und von Block A, der Hierarchieebene B und von Block B, sowie der Hierarchieebene C und von Block D. Die mathematische Formulierung hierzu lautet demnach wie folgt:

$$\Psi^o(B_A) = F_3^o; \Psi^o(B_B) = F_3^o; \Psi^o(B_D) = F_3^o$$

Aggregation von Strömen

- 20 Ströme, also etwa Zugangs- oder Abgangs-Ströme, die jeweils als Massenstrom, als Energiestrom oder auch als Informationsstrom vorliegen können, können durch bestimmte meßbare Größen, wie etwa Durchflüsse, Temperaturen, Drücke, Kosten etc. (informationstechnisch spricht man hier auch von einem Attribut) charakterisiert (informationstechnisch gesprochen *attribuiert*) sein. Somit werden zu einem Strom bestimmte (Meß-)Größen zugeordnet, die auch – etwa mittels geeigneter Meß-
- 25 fühlern – erfasst werden können. Jedem Strom muß mindestens eine solche (Meß-)Größe zuzuordnen

sein. Auch ein Block, der ja eine Einheit der Chemieindustrieeinrichtung repräsentiert, kann – muß aber nicht - durch eine solche (Meß-)Größe charakterisiert sein, da Blöcke ja in der nach der vorliegenden Erfindung verwendeten Modellbildung hauptsächlich als Start- und Endpunkte für die Ströme (zwischen ihnen) fungieren. Auch unterscheiden sich den Blöcken und den Strömen (etwaig) zugeordnete (Meß-)Größen ihrer Art nach. Blöcken können - jedenfalls zu einem bestimmten jeweils betrachteten Zeitpunkt - statische Größen, etwa Bestandsgrößen, wie etwa ein Füllstand zugeordnet (*attribuiert*) werden. Hingegen kann einem Strom keine solche statische (Meß-)Größe wie ein Füllstand zugeordnet werden und umgekehrt weist ein Block keinen Durchfluß etwa in Liter pro Minute auf, der aber sehr wohl einem entsprechenden Strom als (Meß-)Größe zuzuordnen (zu *attribuieren*) ist.

Bezogen auf die Ströme bedeutet dies, dass den Zugangs- und Abgangs-Strömen (Input- und Output-Strömen) (Meß-)Größen unterschiedliche Attribute zugeordnet werden können. Je nach (Meß-)Größe kommen verschiedene Aggregationsregeln für die jeweiligen (Meß-)Größen zur Anwendung. So kann etwa dadurch aggregiert werden, dass (Meß-)Größen aufsummiert werden. Für andere wiederum ist es sinnvoll über einen Mittelwert (sei es das arithmetische Mittel, sei es das geometrische Mittel oder auch der Median) der jeweiligen (Meß-)Größe(n) zu aggregieren oder einen entsprechenden Extremwert (etwa Maximum oder Minimum) der (Meß-)Größe(n) hierzu zu bilden. So erfolgt eine Aufsummierung über die Hierarchieebenen etwa bei Durchfluss-Messungen oder Kosten, wohingegen bei zugeordneten (Meß-)Größen wie Temperaturen, Drücken oder Zusammensetzungen das Bilden eines Mittelwertes sinnvoll sein kann. Ein Maximum der (Meß-)Größe(n) zu ermitteln, kann etwa bei Dampfverbräuchen sinnvoll sein.

Grundsätzlich gibt es – wie bereits dargelegt - zwei verschiedene Arten der Aggregation der Attribute. Zum einen erfolgt eine Aggregation über den betrachteten Block der Hierarchieebene und zum anderen eine Aggregation über die Zeit, wobei aber beide Arten auch miteinander kombiniert werden können.

Im Folgenden wird zunächst die Aggregation über einen jeweiligen Block der betrachteten Hierarchieebene definiert.

Aggregiert man durch Aufsummierung der (Meß-)Größe eines Stromes (Kategorie **A**), so wird vorzugsweise die folgende Aggregations-Regel über den Block der Hierarchieebene und ohne Berücksichtigung der Zeit angewandt:

$$F^A(B_k) = \sum F_j, \text{ falls } F_j \in \Psi(B_k) \quad (14)$$

Wird oder werden die (Meß-)Größe(n) über den Mittelwert aggregiert (Kategorie **B**), so wird vorzugsweise folgende Aggregations-Regel angewandt:

$$F^B(B_k) = \frac{1}{n} \sum F_j, \text{ falls } F_j \in \Psi(B_k) \quad (15)$$

- 5 Dabei steht in voranstehender Formel n für die Anzahl der Ströme, die in der Summe betrachtet werden.

Aggregationen bei denen ein Maximum der (Meß-)Größe(n) ermittelt wird (Kategorie **C**), erfolgen vorzugsweise nach nachfolgender Aggregations-Regel:

$$F^C(B_k) = \max \left[\sum F_j \right], \text{ falls } F_j \in \Psi(B_k) \quad (16)$$

- 10 Die Betrachtung des Maximalwertes der Summe von Strömen kommt in der Regel dann in Betracht, wenn ein zeitlicher Aspekt mit einbezogen wird, da andernfalls über die Summe immer nur ein absoluter Wert bestimmt werden kann. Demzufolge ist der Einbezug der Zeit der nächste Schritt. (Meß-)Größen die im Wege der Aufsummierung aggregiert werden (Kategorie **A**) werden zeitlich über die Summe der (Meß-)Größe(n) aggregiert. (Meß-)Größen die über eine Mittelwertbildung (Ka-
- 15 tegorie **B**) aggregiert werden, werden zeitlich über den entsprechenden Mittelwert (z.B. das arithmetische Mittel) aggregiert und (Meß-)Größen, die über eine Extremwertbildung (z.B. Maximalwertbildung) aggregiert werden, werden zeitlich über den entsprechende Extremwert (z.B. Maximalwert) der Summe der einzelnen Ströme aggregiert. Die bisherigen Aggregationsvorschriften ohne den Einbezug der Zeit sind im Folgenden um die Komponente der zeitlichen Aggregation erweitert (so-
- 20 genannte vollständige Aggregation). Es gilt, dass zunächst die zeitliche Aggregation gebildet werden muss. Alle Messwerte werden zuvor zusätzlich mit der Abtastzeit t_A multipliziert, womit aus einem zeitbezogenem Messwert (z.B. kg/h) ein absoluter Wert wird (z.B. kg). Die Abtastzeit kann in dem Datenmodell für jede einzelne Messstelle individuell festgelegt werden.

- Die Anzahl der Abtastpunkte wird in den nachfolgenden Definitionen mit n bezeichnet. Vereinfacht
- 25 gilt:

$$F(t_0 + n \cdot t_{A_j}) \equiv F(n) \quad (17)$$

Die Variable N steht für die Anzahl der Betrachtungszeiträume. Ein Betrachtungszeitraum kann zum Beispiel ein Tag, ein Monat oder ein Jahr sein. Für die weiteren Definitionen gilt die folgende vereinfachte Formulierung:

$$F(t_0 + N \cdot t_B) \equiv F(N) \quad (18)$$

Mit Hilfe eines zusätzlichen Faktors κ können die Aggregationsvorschriften definiert werden:

$$\kappa_j = \frac{t_B}{t_{A_j}} \quad (19)$$

- 5 Da für verschiedene Messstellen unterschiedliche Abtastzeiten definiert werden können, muss der Betrachtungszeitraum größer oder gleich der Abtastzeit sein. Dies führt zu der nachfolgenden Formulierung:

$$t_B \geq t_{A_j} \forall j \quad (20)$$

Für die vollständige Aggregation der Ströme, für die (Meß-)Größen zur Aggregation aufsummiert werden (Kategorie **A**) gilt:

$$F^A(B_k)(N) = \sum_j \sum_{n=\kappa_j(N-1)+1}^{\kappa_j N} F_j(n), \text{ falls } F_j \in \Psi(B_k) \quad (21)$$

- 10 Die vollständige Aggregation der Ströme, für die (Meß-)Größen zur Aggregation gemittelt werden (Kategorie **B**) gilt entsprechend:

$$F^B(B_k)(N) = \sum_j \left[\frac{1}{\kappa_j} \sum_{n=\kappa_j(N-1)+1}^{\kappa_j N} F_j(n) \right], \text{ falls } F_j \in \Psi(B_k) \quad (22)$$

Schließlich erfolgt die vollständige Aggregation der Ströme, für die ein Maximum zur Aggregation gebildet wird (Kategorie **C**) wie folgt:

$$F^C(B_k)(N) = \max \left[\sum_j \sum_{n=\kappa_j(N-1)+1}^{\kappa_j N} F_j(n) \right], \text{ falls } F_j \in \Psi(B_k) \quad (23)$$

- 15 Für das Minimum als ein anderer Extremwert gilt vorstehende Formel entsprechend.

Die Bildung der Aggregation zweier Abgangs-Ströme (Output-Ströme) mittels eines Maximalwertes sei vor diesem Hintergrund nachfolgend anhand eines Beispiels beschrieben:

Wenn die bereits mit der Abtastzeit multiplizierten Messwerte einer Messung $\mathcal{A}$ für verschiedene Zeitpunkte (hier t_1, t_2, t_3 und t_4) angenommen werden mit:

$$F_1^o F_1^o: t_1 = 10; t_2 = 9; t_3 = 11; t_4 = 11$$

und Messwerte einer Messung B mit:

$$F_2^o F_2^o: t_1 = 12; t_2 = 13; t_3 = 10; t_4 = 12$$

Dann ergibt sich das Maximum der Summe der Elemente zu:

$$F^{o,C} = F_1^{o,C}(t_4) + F_2^{o,C}(t_4) F^{o,C} = F_1^{o,C}(t_4) + F_2^{o,C}(t_4) = 11 + 12 = 23$$

- 5 Ergänzend ist zu erwähnen, dass nicht nur Ströme vermittels ihrer (Meß-)Größen, sondern auch die den Einheiten der Chemieindustrieeinrichtung entsprechenden Blöcke über (etwaige) ihnen zugeordnete (Meß-)Größen hinsichtlich dieser Größen, wie etwa hinsichtlich Lagerbeständen, vorzugsweise durch Aufsummierung (aber gegebenenfalls auch durch Mittelwertbildung oder auch Extremwertbildung) – vorzugsweise auch über die Zeit - aggregiert werden können.
- 10 Die drei exemplarisch formulierten Aggregationsregeln (Aufsummierung, Mittelwertbildung oder Extremwertbildung) bilden sodann die Grundlage für die Ermittlung nachfolgend beschriebenen – vorzugsweise technischen - Kenngrößen (KPI's). Je nachdem welcher Strom vermittels welcher (Meß-)Größe zur Ermittlung einer jeweiligen Kenngröße (KPI) wie aggregiert werden muss, kann etwa eine der hier vorstehend beschriebenen Aggregationsregeln genutzt werden.
- 15 Nachfolgend sollen einige dieser Kenngrößen (KPI's) näher beschrieben werden:

Energieleistungsindikatoren als Kenngrößen

Nach der DIN-EN ISO 50001, muß jedes Unternehmen, das plant ein Energiemanagementsystem einzuführen, entsprechende Energieleistungskennzahlen verwenden. Diese werden im Folgenden mit Energieleistungsindikatoren (sogenannte Energy Performance Indicators [EnPI's]) bezeichnet.

- 20 Als Beispiel wird in der vorgenannten Norm die aufgewendete Energie für die Herstellung von einer bestimmten Menge an Produkt genannt. Der EnPI beschreibt den Energieaufwand bezogen auf ein hergestelltes Produkt für einen bestimmten Block B_k einer bestimmten Hierarchieebene m .

Der EnPI kann wie folgt über die zugeführten Energien und den abgehenden Produkten nach folgender Kenngrößen-Ermittlungsregel bestimmt werden:

$$EnPI(B_k) = \frac{\sum \text{zugeführte Energien eines Blockes}}{\sum \text{abgehenden Produktströme eines Blockes}} \left[\frac{kWh}{t_{Produkt}} \right] \quad (24)$$

Die zugeführten Energieströme setzen sich etwa aus verschiedenen Dampf-Strömen unterschiedlichen Druckes zusammen. Die Umrechnung der Dampf-Ströme in die Zieleinheit kWh erfolgt über die folgende Formel:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot h_v \quad (25)$$

Die Berechnungsvorschrift für den EnPI lautet:

$$EnPI(B_k)(t) = \frac{F^{i,Dampf}(B_k)(t)}{F^{o,Pr}(B_k)(t)} \quad (26)$$

Der EnPI ist, wie der Formel zu entnehmen ist, von dem Block B_k und der Zeit t abhängig. Die Aggregation über die Zeit und den betrachteten Block der Hierarchieebene erfolgt jeweils durch Aufsummierung, das heißt die Ströme werden vermittels ihrer zugehörigen (Meß-)Größen über die Summen aggregiert.

Umsatz, Ausbeute und Selektivität als Kenngrößen

Durch den Umsatz X_a kann bestimmt werden, wie viel einer im Eingangsstrom definierten Komponente noch im Ausgangsstrom vorhanden ist. Mathematisch kann dies über das Verhältnis der umgesetzten Menge zu der eingesetzten Menge ausgedrückt werden. Ein Umsatz ist für eine chemische Reaktion definiert. Der Umsatz sollte demnach immer zwischen 0-100 % liegen, wobei 100 % den Idealfall darstellt, weil dann das gesamte Edukt umgesetzt wurde.

Da in der Praxis zumeist viele Trennsequenzen innerhalb einer Anlage existieren, ist die nachfolgende Kenngrößen-Ermittlungsregel für den Umsatz auch für Trennsequenzen gültig. Dies hat den Vorteil, dass nahezu für jeden Block der Hierarchie ein Umsatz bestimmt werden kann. Hierzu wird, analog der klassischen Definition, eine Leitkomponente x_a in dem/den Zugangs-/Abgangsströmen definiert und der Umsatz auf den Restgehalt der Leitkomponente in den Abgangs-Strömen bezogen. Die Aggregation erfolgt sowohl über den Block der Hierarchieebene als auch über die Zeit im Wege der Aufsummierung als Aggregationsregel. Da zu den Abgangs-Strömen auch Ströme wie Abgas gehören, die nicht in die Betrachtung mit einbezogen werden sollen, darf der Umsatz nur auf be-

stimmte Abgas-Ströme, nämlich die Produkt-Ströme, bezogen werden. Die Berechnung des Komponentenmassenstromes durch das Multiplizieren mit x_a muss vor den Aggregationsschritten erfolgen, da der Komponentenmassenstrom aggregiert werden muss. Die Kenngrößen-Ermittlungsregel für den Umsatz X_a lautet somit:

$$X_a(B_k)(t) = 1 - \frac{F^{o,Pr} \cdot x_a(B_k)(t)}{F^i \cdot x_a(B_k)(t)} \quad (27)$$

- 5 Bei der Anwendung dieser Formel ist zu beachten, dass die absoluten Werte sich zwischen Trennsequenzen und Reaktionen unterscheiden. Bei einer Reaktion ist ein 100%iger Umsatz ideal, wohingegen bei einer Trennsequenz ein Wert der gegen 0 % geht ideal wäre. Dies hat den Hintergrund, dass bei einer Trennung kein Stoff umgewandelt wird. Das heißt, die Komponente, die im Eingangsstrom definiert wurde, sollte idealerweise auch vollständig im Produktstrom vorhanden sein. Bei
- 10 einer Reaktion ist es ideal, wenn die entsprechende Komponente nicht mehr vorhanden ist, denn dann ist diese vollständig abreagiert. Anhand eines Beispiels sei die Auflösung des Zählers aus der Umsatz-Definition erläutert: Die Berechnungsschritte, die in den weiteren KPI-Definitionen auftauchen, sind analog zu lösen.

- Angenommen es liegen die in nachfolgender Tabelle gezeigten Messwerte für Zugangs-Ströme für
- 15 drei verschiedene Zeitpunkte wie folgt vor:

Zeitpunkt	Strom F_1	Komponente A in Gewichts %	Strom F_2	Komponente A in Gewichts %
t_1	10	50	20	50
t_2	12	10	25	20
t_3	11	50	20	20

Zunächst werden die jeweiligen Komponentenmassenströme für den jeweiligen Zeitpunkt gebildet und über die Summe aggregiert. Die Ergebnisse dieses Lösungsschrittes sind in der weiteren nachfolgenden Tabelle zusammengefasst:

	Zeitpunkt	$F_1 \cdot \text{Gewichts \%}$ [Masse/h]	$F_2 \cdot \text{Gewichts \%}$ [Masse/h]
5	t_1	5	10
	t_2	1,2	5
	t_3	5,5	4
10	$\sum_t F_j^{i,A} \cdot x_a(t)$	11,7	19

Der nächste Schritt stellt dann die Auflösung der Summe über den Hierarchieebenen dar, zusammengefasst in einer weiteren, wiederum nachfolgenden Tabelle:

Zeit-Aggregation	Komp.-Strom F_1	Komp.-Strom F_2	$\sum_j F_j^{i,A} \cdot x_a(B_k)$
$\sum_t F_j^{i,A} \cdot x_a(t)$	11,7	19	30,7

Das bedeutet der Zähler in diesem Beispiel liefert das Ergebnis 30,7. Die Auflösung des Nenners könnte auf die gleiche Weise erfolgen. Da die Berechnungsvorschriften der anderen Kenngrößen (KPI's) ähnliche mathematische Formulierungen beinhalten, ist dieses Beispiel exemplarisch für nachfolgende Kenngrößen.

Die Ausbeute Y_p setzt den tatsächlichen Ertrag eines Produktes mit dem maximal möglichen Ertrag laut der Stöchiometrie in Relation. Das Edukt, das am schnellsten vollständig abreagiert ist, wirkt sich limitierend auf die Ausbeute aus. Dies liegt vor allem an den Neben- und Folgereaktionen. Aus diesem Grund können Ausbeute und Umsatz auch voneinander abweichen, wobei die Ausbeute meistens geringer ausfällt.

Vereinfacht wird bei der Definition der Ausbeute für das Modell angenommen, dass die Stöchiometrie bei Reaktionen keine Rolle spielt und die Ausbeute auch für Trennverfahren bestimmt werden kann. Dafür werden gleiche Komponenten im Zähler und Nenner zugelassen. Das bedeutet, dass für Trennverfahren die Menge einer Komponente im Edukt betrachtet wird und die Menge der gleichen Komponente im Produkt. Dennoch wird zwischen der Definition für Trennungen bzw.

Lagerbehältern und Reaktionen unterschieden. Zunächst folgt die Kenngrößen-Ermittlungsregel der Ausbeute für Trennsequenzen und Lagerbehälter:

$$Y_p(\mathbf{B}_k)(t) = \frac{\mathbf{F}^{o,Pr} \cdot \mathbf{x}_a(\mathbf{B}_k)(t)}{\mathbf{F}^i \cdot \mathbf{x}_a(\mathbf{B}_k)(t)} \quad (28)$$

Die Ausbeute ist abhängig von dem Block und der Zeit. Das in der Formel verwendete x_a steht wiederum für den Komponentenanteil. Analog zum Umsatz werden auch an dieser Stelle nur die Produkt-Ströme in die Berechnung mit einbezogen.

Die Kenngrößen-Ermittlungsregel für die Ausbeute einer Reaktion, unter Vernachlässigung der Stöchiometrie, lautet dann wie folgt:

$$Y_p = \frac{\mathbf{F}^{o,Pr} \cdot \mathbf{y}_a(\mathbf{B}_k)(t)}{\mathbf{F}^i \cdot \mathbf{x}_a(\mathbf{B}_k)(t)} \quad (29)$$

Der Unterschied zur ersten Kenngrößen-Ermittlungsregel liegt im Zähler. Durch die chemische Reaktion ist die Komponente im Edukt (y_a) nicht identisch mit der Komponente im Produkt (x_a), da eine chemische Umsetzung des Eduktes stattfindet. Die Berechnungsvorschriften sind überdies identisch aufgebaut.

Zum Abschluss folgt die Kenngrößen-Ermittlungsregel für die Selektivität. Die Selektivität beschreibt, wie viel von dem umgesetzten Edukt auch tatsächlich in das gewünschte Produkt umgesetzt wurde. Aufgrund von Neben- oder Folgereaktionen kann es sein, dass auch unerwünschte Produkte entstanden sind. Deshalb wird eine möglichst hohe Selektivität angestrebt, da dies bedeutet, dass viel von dem Edukt in das gewünschte Produkt umgesetzt wurde.

Es besteht ein Zusammenhang zwischen dem Umsatz, der Ausbeute und der Selektivität. Dies hat den Vorteil, dass mit Hilfe der zuvor bestimmten Ausbeute und dem Umsatz die Selektivität berechnet werden kann.

Der Zusammenhang spiegelt sich in der nachfolgenden Kenngrößen-Ermittlungsregel für Selektivität wieder:

$$S_a = \frac{Y_p}{X_a} \quad (30)$$

Es nicht notwendig die Aggregationsregeln zur Ermittlung der Selektivität einzubinden. Dies ist deshalb so, weil die Aggregationen schon bei der Ermittlung der Umsatz- und Ausbeute erfolgt sind. Dies bedeutet allerdings zugleich, dass es zur Ermittlung der Selektivität zunächst immer erforderlich ist, zunächst den Umsatz und die Ausbeute zu ermitteln.

5 Massenbilanzfaktor und Materialeffizienz als Kenngrößen

Sodann sollen die Kenngrößen Massenbilanzfaktor und Materialeffizienz betrachtet werden. Der Massenbilanzfaktor M_B bezieht sich auf alle Stoffströme im System. Anhand des Massenbilanzfaktors kann überprüft werden, ob die Massenbilanz eines Systems aufgeht, d.h. ob die Masse der Zugangs-Ströme mit der der Abgangs-Ströme korreliert. Sind in einem Prozess keine nennenswerten Verluste zu verzeichnen, so sollte die Massenbilanz aufgehen. Da eine Prozesskette sehr lang sein kann und an verschiedenen Stellen Lagerbehälter mit inbegriffen sein können, wird die Massenbilanz in den meisten Fällen (je nach Betrachtungszeitraum) nicht vollständig aufgehen. Um zu ermitteln, an welchen Anlagen oder Teilanlagen dies vorrangig liegt, ist das im Rahmen der vorliegenden Erfindung hier verwendete Modell ideal. Der Massenbilanzfaktor setzt sich aus den gesamten Zugangs-Strömen und den gesamten Abgangs-Strömen zusammen, woraus sich für ihn die folgende Kenngrößen-Ermittlungsregel ergibt:

$$M_B(\mathbf{B}_k)(t) = \frac{\mathbf{F}^o(\mathbf{B}_k)(t)}{\mathbf{F}^i(\mathbf{B}_k)(t)} \quad (31)$$

Die Aggregation erfolgt sowohl zeitlich als auch über den Block der Hierarchieebene durch Aufsummierung. Ist die Lösung des Massenbilanzfaktors $M_B=1$, so geht die Massenbilanz auf, d.h. es fließt in dem betrachteten Zeitraum die gleiche Masse in und aus dem System. Liegt der M_B unter 1 ($M_B < 1$), so ist der Massenstrom, der das System verlässt, in dem betrachteten Zeitraum kleiner als der Massenstrom, der in das System fließt.

Um eine Aussage über die Effektivität der Materialnutzung zu machen, wird die Kennzahl Materialeffizienz M_E herangezogen. Diese bezieht alle Edukte ein, die zur Herstellung des Produktes relevant sind. Unter der Materialeffizienz wird in anderen Zusammenhängen auch die Materialproduktivität verstanden. Nach der Deutschen Materialeffizienzagentur wird unter Materialeffizienz „das Verhältnis der Materialmenge in den erzeugten Produkten zu der für ihrer Herstellung eingesetzten Materialmenge“ verstanden. In der chemischen Industrie und in der folgenden Definition wird die Vereinfachung getroffen, dass das Verhältnis aus Hauptproduktmenge zur Einsatzstoffmenge gemeint ist.

Die Kenngrößen-Ermittlungsregel für die Materialeffizienz M_E kann demnach wie nachfolgend angegeben werden:

$$M_E(\mathbf{B}_k)(t) = \frac{\mathbf{F}^{o,Pr}(\mathbf{B}_k)(t)}{\mathbf{F}^{i,Ed}(\mathbf{B}_k)(t)} \quad (32)$$

Die Aggregation der Ströme erfolgt durch Aufsummierung ihrer jeweiligen (Meß-)Größen sowohl zeitlich als auch über den Block der Hierarchieebenen. Die Materialeffizienz kann für jeden Block des Modells berechnet werden, so dass eine, auf einer hohen Hierarchieebene festgestellte Variation der Materialeffizienz auf den Blöcken der niedrigeren Ebenen untersucht werden kann. Die Optimierung kann je nach Modellierungsebene punktuell erfolgen.

Produkt-Abfall-Indikator als Kenngröße

Bei einem Prozess ist nicht nur die Produktmenge im Vergleich zur eingesetzten Eduktmenge interessant, sondern auch, wie viel Produkt über die Abgas- oder Abfallströme ausgetragen wird. Je effektiver eine Trennung ist, desto weniger Produkt geht über Abgas- oder Abfallströme verloren. Allerdings bedeutet eine hohe Produktausbeute bei einer Trennung zugleich einen hohen Energieaufwand. Das heißt, mit Hilfe der entwickelten Kenngrößen (KPI's) und der Zuordnung verschiedener Prioritäten, kann eine Prozesssteuerung betrieben werden. Der Produkt-Abfall-Indikator (so genannter Product-Waste-Indicator [PWI]) beschreibt den Produktverlust, d.h. Produktkomponenten, die über Abgas-/Abfallströme ausgetragen werden. Das anzustrebende Ziel ist es, einen möglichst geringen Produktverlust zu erleiden. Dies kann durchaus im Widerspruch mit den Kenngrößen (KPI's) stehen, die einen Bezug zu Energien aufweisen. Für den PWI kann die folgende Kenngrößen-Ermittlungsregel angegeben werden:

$$PWI(\mathbf{B}_k)(t) = \frac{\mathbf{F}^{o,Ab} \cdot \mathbf{x}_a(\mathbf{B}_k)(t)}{\mathbf{F}^i \cdot \mathbf{x}_a(\mathbf{B}_k)(t)} \quad (33)$$

Der PWI ist abhängig von dem betrachteten Block und der Zeit. Sowohl über die Zeit, als auch über den Block der Hierarchieebene wird über die entsprechende Aggregationsregel im Wege der Aufsummierung aggregiert. Das Ziel ist es einen möglichst geringen PWI zu erreichen, denn dies bedeutet, dass wenig Produkt über die Abgas-/Abfallströme das System verlassen. Der PWI sollte demnach unter Berücksichtigung anderer relevanter Kenngrößen (KPI's) gegen einen Wert von Null optimiert werden.

Lagerumschlagshäufigkeit, Lagerreichweite und Durchlaufzeit als Kenngrößen

Nachfolgend werden nun lagerbezogene Kenngrößen (KPI's) behandelt. Kenngrößen aus diesem Bereich stammen zumeist aus der Fertigungsindustrie und sind für diskontinuierliche Prozesse entwickelt worden. Trotzdem können diese Kenngrößen (KPI's) unter gewissen Annahmen auch auf die chemische Industrie und dort speziell auf kontinuierliche Prozesse übertragen werden. Für Kenngrößen aus diesem Bereich gilt, dass der Lagerbestand und die Lagerdauer möglichst gering bzw. kurz gehalten werden müssen. Dadurch ist wenig gebundenes Kapital in Form von Produkten oder Edukten in dem modellierten Verbundsystem vorhanden. Nachfolgend werden drei lagerbezogene Kenngrößen (KPI's) vorgestellt.

Die Lagerumschlagshäufigkeit LU gibt an, wie oft ein durchschnittlicher Lagerbestand (hier ein Füllstand eines Behälters) komplett geleert und ersetzt wird. Zusammengesetzt wird diese Kenngröße (KPI) aus den Lagerabgängen bzw. den gesamten Abgangs-Strömen und dem durchschnittlichen Lagerbestand, welcher dem durchschnittlichen Füllstand L_a entspricht. Die Lagerumschlagshäufigkeit kann vermittels folgender Kenngrößen-Ermittlungsregel gebildet werden:

$$L_U(\mathbf{B}_k)(t) = \frac{\text{Lagerabgänge}}{\emptyset \text{ Lagerbestand}} = \frac{\mathbf{F}^o(\mathbf{B}_k)(t)}{\emptyset L_a(\mathbf{B}_k)(t)} \quad (34)$$

Der Füllstand wird dabei vermittels einer Aggregationsregel zur Mittelwertbildung über die Zeit aggregiert. Das heißt die Füllstände werden über die Zeit gemittelt und anschließend über den betrachteten Block der Hierarchieebene aufsummiert. Hier erfolgt also nicht nur eine Erfassung und Aggregation von (Meß-)Größen von Strömen, sondern auch die Erfassung (und Aggregation) eines zu einem Block zugehörigen Bestand, nämlich eines Lagerbestandes.

Mit Hilfe der Lagerreichweite LR kann eine Aussage darüber getroffen werden, wie lange ein Lagerbestand zur Belieferung von Kunden ausreicht. In einem kontinuierlichen Betrieb der chemischen Industrie können vor allem Aussagen darüber getroffen werden, wann die Produktion gesteigert

werden muß, da oft eine direkte Abhängigkeit in dem Verbundsystem besteht. Das bedeutet, wenn die Produktionsanlage ausfällt, ist es möglich eine Aussage über die Reichweite der Versorgung der nachfolgenden Produktionsanlagen zu treffen. Die Kenngrößen-Ermittlungsregel der Lagerreichweite LR wird demnach wie folgt definiert:

$$L_R(\mathbf{B}_k)(t) = \frac{\phi \text{Lagerbestand}}{\phi \text{Lagerabgang}} = \frac{\emptyset L_a(\mathbf{B}_k)(t)}{\emptyset \mathbf{F}^o(\mathbf{B}_k)(t)} \quad (35)$$

- 5 Die Lagerreichweite wird über den Quotienten des durchschnittlichen Lagerbestandes und des durchschnittlichen Lagerabgangs ermittelt. Die Aggregation über die Zeit erfolgt im Wege einer Mittelwertbildung, das heißt es wird der Mittelwert über der Zeit betrachtet. Anschließend werden die Ergebnisse dadurch aggregiert, dass sie über den betrachteten Block der Hierarchieebene aufsummiert. Die Lagerreichweite in der chemischen Industrie spielt für die voneinander abhängigen
- 10 Betriebe des Verbundes eine wichtige Rolle. Mit einer ausreichend hohen Lagerreichweite wird sichergestellt, dass die Folgeproduktionen im Verbund weiterhin versorgt werden können.

Schließlich soll noch die Kenngröße der Durchlaufzeit (DLZ) betrachtet werden. Die Durchlaufzeit wird aus dem Quotienten aus Umlaufbestand (hier angenommen als Lagerbestand) und Edukt-Durchsatz gebildet. Das Ziel ist es eine möglichst geringe Durchlaufzeit zu erreichen, d.h. einen

15 niedrigen Umlaufbestand zu haben und einen hohen Durchsatz zu fahren. Die Kenngrößen-Ermittlungsregel lautet wie folgt:

$$DLZ(\mathbf{B}_k)(t) = \frac{\text{Umlaufbestand}(\equiv \text{Lagerbestand})}{\text{Edukt} - \text{Durchsatz}} = \frac{L_a(\mathbf{B}_k)(t)}{\mathbf{F}^{i,Ed}(\mathbf{B}_k)(t)} \quad (36)$$

- Der Umlaufbestand kann in der chemischen Industrie vereinfacht als Füllstand der jeweiligen Behälter verstanden werden, welcher zeitlich über den Mittelwert und über den Block der Hierarchieebene über die Summe aggregiert werden muss. Der Durchsatz wird auf den Edukt-Durchsatz reduziert,
- 20 welcher in der Regel aus dem Haupt-Edukt besteht. Mit Hilfe der Durchlaufzeit können zum Beispiel Zeiträume für Fehlproduktionen bestimmt werden. Wenn an einer Messung vor dem ersten Produktionsschritt eine Analyse eine Überschreitung eines Grenzwertes mit Folgen für die Produktqualität meldet, kann in einem kontinuierlichen Betrieb der chemischen Industrie nicht sofort die Anlage heruntergefahren werden. Unter Berücksichtigung der Durchlaufzeit kann bestimmt werden,
- 25 wann diese Menge die Anlage durchlaufen hat. Für diesen Zeitraum kann das qualitativ schlechtere Produkt zum Beispiel in einen gesonderten Behälter gefahren werden und nach Normalisierung der

Messwerte auf normale Weise den Betrieb verlassen. So wird verhindert, dass ein Kunde ein Produkt mit verminderter Qualität erhält.

Fig. 3 zeigt die schematische Darstellung eines fiktiven Verbundsystems als Beispiel einer Chemieindustrieeinrichtung in gleicher Art und Weise wie in Fig. 2 dargestellt.

5 Aufbauend auf den Darlegungen zu der vorangegangenen Fig. 1 und 2 soll anhand der Darstellung hier beispielhaft eine Modellierungsvorschrift für ein Datenmodell erläutert werden. Das Ziel ist es dabei den Bezug zwischen den Strömen, Blöcken und Hierarchieebenen so zu modellieren, dass darauf aufbauend ein Kenngrößensystem (Kennzahlensystem, KPI's) entwickelt werden kann, dass eine Überwachung oder sogar Steuerung und/oder Optimierung des hier dargestellten Verbundsys-
10 tems erlaubt. Die Implementierung des Datenmodells erfolgt hier in Form einer relationalen Datenbank, deren Struktur in Fig.4 im Überblick zu sehen ist und auf deren einzelne Komponenten im Verlaufe der Besprechung der Modellierung des fiktiven Verbundsystems nach Fig. 3 näher eingegangen wird.

In der Darstellung in Fig. 3 sind verschiedene Blöcke auf verschiedenen Hierarchieebenen zu sehen.
15 Insgesamt besteht dieses Beispiel aus fünf verschiedenen Hierarchieebenen. Die Ebenen sind nach innen hin abgestuft. Das bedeutet der äußere **Block** (Unternehmen) 1 befindet sich auf der höchsten Hierarchieebene, der sogenannten Enterprise-Ebene und das Beispiel wird bis auf die Teilanlagen-Ebenen, dargestellt durch die innersten Blöcke, modelliert. Jeder Strom in der Darstellung ist durch ein Bezugszeichen gekennzeichnet. In der Zeichnung ist ein Block mit der Bezeichnung „**Split**“
20 **Anlage D** zu sehen. Dieser wurde beispielhaft eingeführt, da der **Strom 16** in die **Anlagen E** und **F** fließt, aber angenommen wird, dass nur eine Eingangsmessung zu diesem Strom vorliegt. Das heißt, der Strom wird über den **Split** aufgeteilt in die **Ströme 17** und **18**. Dies muss auf diese Weise erfolgen, da in der Definition festgelegt wurde, dass jeder Strom nur einen Zielpunkt haben kann. Insgesamt sind in diesem Beispiel zweiundzwanzig Blöcke aufgeführt und jeweils durch ein Bezugszeichen
25 rechts über dem jeweiligen Block gekennzeichnet. Links über dem Block ist die jeweilige Bezeichnung der Hierarchieebene kurz ausgewiesen, also etwa **Anlage A** bei **Block 7** oder **Standort München** bei **Block 3**. Die Blöcke sind durch die Ströme verbunden. Auf der linken Seite befindet sich der **External-In-Block**, in dem alle Ströme starten, die von außerhalb in das **Unternehmen** fließen. Umgekehrt befindet sich auf der rechten Seite der **External-Out-Block**, der alle Ströme
30 umfasst, die das **Unternehmen** verlassen. Die Ströme wurden so gewählt, dass möglichst viele Vari-

anten beispielhaft aufgeführt sind. Es fließen Ströme zwischen Blöcken auf gleicher Hierarchieebene, aber auch Ströme zwischen unterschiedlichen Hierarchieebenen. Der **External-In-** und der **External-Out-Block** sind dabei der höchsten Ebene, der Enterprise Ebene, zugeordnet. **Block 5** stellt eine weitere Besonderheit dar, ein **Tanklager**. In einem **Tanklager** befinden sich nur Speicherbe-

5 hälter und in der Regel sind die Ein- und Austrittsmengen über die Zeit identisch, d.h. es finden keine Reaktionen oder Trennungen statt. Der Zusammenhang zwischen den Strömen und den Blöcken wird im weiteren Verlauf in tabellarischer Form erfasst.

Die erste Tabelle wird unter der Bezeichnung **HierarchyDef** geführt und findet sich auch in der Überblicksdarstellung nach Fig. 4, wo

- 10 - eine 1:N Relationen durch das Symbol $\curvearrowright$, und
- eine N:1 Relation durch das Symbol $\curvearrowleft$

dargestellt ist.

Durch die Informationen, die in dieser Tabelle eingepflegt werden, wird die Hierarchie der Blöcke beschrieben. Mit Hilfe der Kennziffern bzw. ID's, die zuvor jedem Block vergeben wurden, kann

15 jedem Block ein sogenannter Parent-Block zugeordnet werden.

Nachfolgende Tabelle stellt einen Ausschnitt des Inhaltes für das hier vorliegende Beispiel dar:

ID_Block	BlockName	ID_ParentBlock
23	External_In	0
24	External_Out	0
1	Unternehmen	0
2	Standort Köln	1
3	Standort München	1

HierarchyDef-Tabelle

Die vorstehende Tabelle setzt sich aus drei Spalten zusammen, *ID_Block*, *BlockName* und *ID_ParentBlock*. Der Primärschlüssel in dieser Tabelle ist die *ID-Block*. Diese Spalte ordnet dem jeweiligen Block eine eindeutige ID zu. Wie zuvor bereits definiert, befinden sich External-In und -

20 Out, sowie das Unternehmen auf der höchsten Hierarchieebene und werden daher dem Parent-Block mit der ID 0 untergeordnet. Im Fall der Standorte, also **Standort Köln** und **Standort München** lauten die **ID-Block's 2** (Standort Köln) und **3** (Standort München). Beide sind dem **Unternehmen** (mit **ID_Block = 1**), welches sich auf der Enterprise-Ebene befindet, untergeordnet. Auf

diese Weise kann die gesamte Hierarchie in einer Tabelle erfasst und jeder Block eindeutig in die Hierarchie eingeordnet werden.

Sodann ist auf Grundlage dieser Strukturierung ist eine Abbildung der Ströme, die zwischen den Blöcken fließen möglich. Dies erfolgt in der sogenannten *FlowDef-Tabelle*. Die nachfolgende Tabelle
 5 gibt dabei einen kleinen Ausschnitt der *FlowDef-Tabelle* zusammen, die ebenfalls natürlich auch in der relationalen Datenbankübersicht in Fig. 4 zu sehen ist.

Nachfolgend ist dieser kleinere Ausschnitt dieser *FlowDef-Tabelle* zu sehen, der aber deren Funktion anhand des hiesigen Beispiels deutlich macht:

ID Flow	FlowDescription	ID Material	ID Category	ID SourceBlock	ID SinkBlock
1	Strom a	3	1	23	13
2	Dampf b	2	2	23	15
3	Strom c	3	1	13	14

FlowDef-Tabelle

- 10 Der Primärschlüssel dieser Tabelle steht in der ersten Spalte unter *ID_Flow*. Über die Spalte *Flow-Description* erhält jeder Strom eine Bezeichnung, wie *Dampf* oder die Stoffbezeichnung des Stromes, z.B. C4-Gemisch. Zwei Fremdschlüssel, d.h. eine Referenz auf einen Primärschlüssel einer anderen Tabelle, sind in dieser Tabelle durch *ID_Material* und *ID_Category* aufgeführt. Auf die betreffenden Tabellen wird im weiteren Verlauf noch eingegangen werden. Jedem Strom kann ein Material und
 15 eine Kategorie zugeordnet werden. Ein Material ist zum Beispiel 3bar Dampf und die zugehörige Kategorie wäre in diesem Fall Energie. Diese Informationen werden benötigt, um später bei der Berechnung der Kennzahlen nach Materialien oder Kategorien filtern zu können. Somit ist eine eindeutige Differenzierung der Ströme über zwei Ebenen möglich. Die ID's der letzten beiden Spalten, *ID_SourceBlock* und *ID_SinkBlock*, referenzieren beide auf den Primärschlüssel *ID_Block* der *HierarchyDef-Tabelle*. Die *ID_SourceBlock* bildet den Startpunkt und die *ID_SinkBlock* den Endpunkt eines
 20 Stromes. Der Strom mit der **ID_Flow 1** hat beispielsweise den Startpunkt, bzw. den Start-Block **External_In**, gekennzeichnet durch die **ID_SourceBlock 23** und den End-Block **Teilanlage A**, gekennzeichnet durch die **ID_SinkBlock 13**. Analog können die restlichen 22 Ströme definiert werden. Durch die rekursive Definition der einzelnen Blöcke in der *HierarchyDef-Tabelle*, kann das jeweilige Hierarchielevel des Start- und End-Blocks eines Stromes bestimmt werden. Dieser Aspekt ist
 25 wichtig für die spätere Kenngrößenermittlung (Ermittlung der KPIs), weil dadurch ermittelt werden

kann, für welche Blöcke der verschiedenen Hierarchieebenen der Strom ein Zugangs- oder ein Abgangs-Strom (Input- oder Output-Strom) ist. Zum Beispiel ist der **Strom 1** für alle Hierarchieebenen der entsprechenden Blöcke ein Zugangs-Strom, wohingegen der **Strom 16** nur für bestimmte Blöcke bis auf die Anlagen-Ebene ein Zugangs-Strom ist.

- 5 In einer sogenannten MaterialDef-Tabelle (vgl. auch hierzu die Datenbankstrukturübersicht in Fig. 4) sind alle verwendeten Materialien des Verbundes nach dem hier besprochenen Ausführungsbeispiel erfasst. Diese Informationen sind etwa in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

ID_Material	Material
1	Material A
2	Material B
3	Material C
4	Material D
5	Material E

MaterialDef-Tabelle

- 10 Die ID's der linken Spalte der Tabelle, die mit *ID_Material* bezeichnet ist, bilden den Primärschlüssel für das jeweilige Material. Die Spalte Material enthält die schlichte Bezeichnung. Materialien können beispielsweise Crack-C4, 3bar-Dampf, Kosten etc. sein.

Eine höhere Ebene bildet die *CategoryDef-Tabelle* (vgl. ebenfalls die Datenbankstrukturübersicht in Fig. 4). Diese faßt die verschiedenen Materialien zu einer von drei Kategorien zusammen:

ID_Category	Category
1	Energie
2	Stoff
3	Information

CategoryDef-Tabelle

- 15 Den Primärschlüssel in dieser Tabelle stellt die *ID_Category* dar. In der Spalte *Category* steht die schlichte Bezeichnung. Insgesamt gibt es drei Kategorien, Energie, Stoff und Information. Unter der Kategorie Energie kann zum Beispiel ein Dampf oder ein elektrischer Strom gefasst werden. Der Kategorie Stoff werden alle Ströme oder Blöcke untergeordnet, die Informationen über chemische Stoffe enthalten. Die Kategorie Information umfasst reine Informationsströme, wie zum Beispiel
- 20 Alarmraten.

Jeder Strom (Fluss) und bestimmte Blöcke haben unterschiedliche (Meß-)Größen, die im Datenmodell hier auch als Attribute bezeichnet werden. Diese können unter anderem Mengen, Drücke, Temperaturen etc. sein.

Um diese Größen bzw. Attribute in der Datenstruktur vorzusehen, ist eine weitere Tabelle, die *AttributeDef-Tabelle* (vgl. wiederum auch die Datenbankstrukturübersicht nach Fig. 4), erforderlich:

ID_Attribute	AttributeName	ID_AttributeEngUnit
1	Menge	1
2	Druck	3
3	Temperatur	2
4	Leistung	6
5	Komponente A	4
6	Komponente B	4
7	Komponente C	4
8	Komponente D	4
9	Komponente H	4
10	Komponente J	4
11	Kosten	5
12	Hold-up	7

AttributeDef-Tabelle

In dieser Tabelle wird jedem Attribut durch die Spalte *ID_Attribute* eine ID, der Primärschlüssel, zugewiesen. Der Name des jeweiligen Attributes wird in der Spalte *AttributeName* vermerkt, z.B. Menge oder Temperatur. Ein Fremdschlüssel ist die *ID_AttributeEngUnit*, welche auf die im weiteren Verlauf noch beschriebene *AttributeEngUnitDef-Tabelle* referenziert. Als Attribute werden auch einzelne Komponenten eines zusammengesetzten Stromes aufgefasst. Dies bringt den im weiteren Verlauf ersichtlichen Vorteil, des Umgangs mit Attributen, die in sich noch unterteilt werden. Eine Temperatur oder ein Druck sind absolute Werte, wohingegen das Attribut Zusammensetzung in die untergliederten Komponenten aufgeteilt werden muss. Durch die Aufführung jeder Komponente als eigenständiges Attribut mit eigenständigem Primärschlüssel, kann eine Zusammensetzung einfach abgebildet werden. Dabei ist die Differenzierung von der *MaterialDef-Tabelle* wichtig. Es ist zum Beispiel möglich, dass einem Strom unter dem Material 1,3 Butadien geführt wird. Das bedeutet jedoch nicht, dass sich der Strom nur aus der Komponente 1,3 Butadien zusammensetzt, es sei denn es ist ein Reinstrom, dann können Zusammensetzung und Material identisch sein. Ein Beispiel bei dem die Differenzierung und Notwendigkeit einer Materialeinordnung ersichtlicher wird, ist ein Strom der unter dem Material Crack-C4 geführt wird. Das Crack-C4 setzt sich aus verschiedenen Stoff-

fen/Komponenten zusammen, was erst durch die Aufteilung der Attribute in verschiedene Komponenten im Modell abgebildet werden kann.

Da das Abrufen der Einheiten nicht ausschließlich automatisch über ein Computersystem erfolgen kann, muss die Eingabe der Einheit eines Attributes in dem Modell in der Regel einmal initial per Hand erfolgen. Dies hat den Vorteil, dass bei einer Änderungen der Einheit im System ein schneller Abgleich mit den ursprünglich per Hand eingegebenen Einheiten erfolgen kann. Die später auf diesem Modell aufbauende Kenngrößenermittlung nutzt zum Teil feste Vorschriften zur Umrechnung von Einheiten. Das heißt, wenn sich eine Einheit ändert, spiegelt sich das mit hoher Wahrscheinlichkeit auch in den Kenngrößen (Kennzahlen oder auch KPI's) wieder. Der Fehler kann auf diese Weise schneller ermittelt und behoben werden. In der *AttributeEngUnitDef-Tabelle* (vgl. auch in Fig. 4), sind die Informationen über die Einheit des entsprechenden Attributes hinterlegt:

ID_AttributeEngUnit	AttributeEngUnit
1	t/h
2	°C
3	Bar
4	Gew%
5	€
6	kWh
7	T

AttributeEngUnitDef-Tabelle

Der Primärschlüssel in dieser Tabelle ist die ID, die in der Spalte *ID_AttributeEngUnit* steht. Die dazugehörige Einheit kann in der Spalte *AttributeEngUnit* abgelesen werden. Dies ist nur eine beispielhafte Auflistung von Attributen. Die Tabelle kann beliebig erweitert werden.

Nachdem die Ströme und Attribute definiert und im Modell eingepflegt worden sind, können weitere grundlegende Informationen und Verknüpfungen folgen.

Die Verbindung von den Attributen und den Flüssen wird in der *FlowAttributesDef-Tabelle* (vgl. wiederum Fig. 4) hergestellt. Der grundlegende Aufbau dieser Tabelle verhält sich wie folgt:

ID_ Flow- Measure- ment Tag	ID Flow	ID At- tri- bute	Aspen Tag Name	AspenTag Description	As- pen Tag Eng Unit	ID Source	ID Sam- ple Time	Start Date	End Date
1	1	1	F10001	Menge Edukt zur TA A	t/h	1	2	01.01.2013	30.06.2013
2	1	5	GC1001	Komp. A von Edukt	Gew %	1	2	01.01.2013	30.06.2013
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
6	2	1	F20002	Menge Edukt zur TA C	t/h	1	2	01.01.2013	30.06.2013
7	2	2	P20002	Druck Edukt vor TA C	bar	1	2	01.01.2013	30.06.2013
8	2	3	T20002	Temp. Edukt vor TA C	°C	1	2	01.01.2013	30.06.2013

FlowAttributesDef -Tabelle

Der Primärschlüssel in dieser Tabelle ist die ID, *ID_FlowMeasurementTag*. Jeder einzelnen dieser ID wird eine Messstelle zugeordnet. Zum Beispiel erhält die erste Zeile mit der ID 1 eine Zuordnung zu der Messstelle mit der *AspenTagName* F10001. Durch die beiden Fremdschlüssel *ID_Flow* und *ID_Attribute* wird auf die jeweilige Tabelle referenziert, in der diese ID ein Primärschlüssel ist. In der ersten Zeile bedeutet dies, dass dem Strom mit der ID 1 das Attribut mit der ID 1 zugeordnet wird. In diesem Fall wäre das ein Durchfluss. Die Informationen aus den Spalten *AspenTagName*, *AspenTagDescription* und *AspenTagEngUnit* stammen alle aus dem System und werden automatisch beim Abfragen der Messstelle generiert und bezeichnen Meßstellen eines weit verbreiteten Meßwerterfassungssystems der Firma Aspen (geschützte Marke), das sich auch zur Meßwerterfassung im Rahmen der vorliegenden Erfindung eignet. An dieser Stelle kommt die Information über die Einheit demnach automatisch von dem System und kann später mit der manuell eingegebenen Einheit abgeglichen werden. Die *AspenTagDescription* beschreibt die Messstelle näher, was bei der lokalen, örtlichen Zuordnung der Messstelle hilfreich sein kann. Wie in der Tabelle zu sehen ist, taucht ein Strom mehrfach auf (siehe Strom mit der ID_Flow 1 oder 2). Einem Strom können in dieser Tabelle mehrere Attribute zugeordnet werden. Im Fall des Stromes mit der ID_Flow 2 sind dies ein Durchfluss, eine Temperatur und ein Druck. Ist eine Zusammensetzung eines Stromes erforderlich, so taucht mehrfach der *AspenTagName* GC* in der Tabelle unter der gleichen ID des Stromes auf. Ein weiterer großer Vorteil bei der Modellierung auf diese Weise besteht darin, dass sich ein Strom aus beliebig vielen Komponenten zusammensetzen kann, d.h. es spielt keine Rolle, ob er aus drei oder fünf Komponenten besteht. In den letzten beiden Spalten, *Start-* und *EndDate*, kann vermerkt werden, für

welchen Zeitraum die jeweilige Messstelle abgefragt werden soll. In der Spalte mit der Bezeichnung *ID_Source* wird die ID hinterlegt, die angibt auf welchem Server sich die gespeicherten Daten zu der Messstelle befinden. Die zugehörige *SourceDef-Tabelle* (vgl. Fig. 4) mit dem Primärschlüssel ist nachfolgend dargestellt.

ID_Source	Source
1	Server 1
2	Server 2

5

SourceDef-Tabelle

In der Tabelle wird der ID der entsprechende Server (unter der Spalte *Source*) zugeordnet, wie in diesem Fall mit Server 1 bzw. Server 2 zu sehen ist. Eine weitere Information, die die *FlowAttributesDef-Tabelle* enthält, ist die *ID_SampleTime*. Die Tabelle, in der diese ID's hinterlegt sind, ist die *SampleTimeDef-Tabelle* (vgl. wieder auch Fig. 4):

ID_SampleTime	Zeitstempel
1	Tag
2	Stunde
3	Minute

10

SampleTimeDef-Tabelle

Jeder ID wird ein bestimmter Zeitstempel zugewiesen, so dass für die Abfrage der Messstellen ein individuelles Zeitintervall möglich ist. Dies kann zum Beispiel für Messungen interessant sein, wo ein Maximalwert bezogen auf einer viertelstündlichen Taktung für die Abrechnung relevant ist.

Da auch Blöcke Attribute haben können (nämlich Bestandsgrößen), muss eine Erfassung der Daten für die Blöcke auf eine ähnliche Weise erfolgen, wie bei den Strömen. Der Unterschied zu den Strömen liegt darin, dass ein Block, je nach Modellierungsebene, nur durch eine begrenzte Anzahl an Attributen charakterisiert werden kann. Das wichtigste Attribut ist dabei der sogenannte Hold-Up, also der Füllstand von Speichertanks oder -behältern.

Die zusammenfassenden Informationen für die Blöcke und deren Attribute werden in der *BlockAttributesDef-Tabelle* (vgl. wiederum Fig. 4) hinterlegt, die nachfolgend dargestellt ist:

ID Block Meas- ure- ment Tag	ID Blo ck	ID Attri- bute	ID Mat- erial	ID Ca- Te- gory	ID Source	Aspen Tag Name	AspenTag Description	As- pen Tag Eng Unit	ID Sam- ple Time	StartDate	EndDate
1	19	12	2	2	2	L10001	Level Behälter A	7	2	01.01.2013	30.06.2013
2	20	12	3	2	2	L20002	Level Behälter B	7	2	01.01.2013	30.06.2013

BlockAttributesDef -Tabelle

Diese Tabelle ist annähernd analog der FlowDef-Tabelle aufgebaut, bis auf den Unterschied, dass hier auf *ID_Block* referenziert wird und nicht auf *ID_Flow*. Desweiteren werden hier die Kategorie und das Material definiert. Wie zu Anfang beschrieben gibt es mehrere Möglichkeiten der Datenstrukturierung. Zur Vermeidung unnötiger Speicherplatzverschwendung wurde hier eine Differenzierung zwischen Strom- und Block-Attributen bevorzugt. Die weiteren Spalten der Tabelle sind identisch mit denen der *FlowAttributesDef-Tabelle*.

Um die Möglichkeiten der weiteren Verwendung der Daten flexibel zu gestalten, wird eine weitere Tabelle, die von bestimmten Blöcken geographische Informationen beinhaltet, im Beispiel des hiesigen Datenmodells verwendet. Bezeichnet wird diese mit *BlockDef* (vgl. auch hierzu Fig. 4):

ID Block	Latitude	Longitude	ISO	Country	State	Town	Zipcode
2	...	...	DE	Deutschland	NRW	Köln	50667
3	...	...	DE	Deutschland	Bayern	München	80331

BlockDef -Tabelle

Referenziert wird in dieser Tabelle auf die *ID_Block*. Für die spätere Darstellung auf Landkarten, zum Beispiel zur grafischen Auswertung zweier Standorte, werden alle notwendigen Daten eingepflegt. Diese sind, Längen- und Breitengrade (Latitude und Longitude), die Bezeichnung laut ISO, das Land (Country), das Bundesland (State), die Stadt (Town) und die dazugehörige Postleitzahl (Zipcode). Es ist nur bedingt sinnvoll diese Informationen für jeden Block zu speichern. Eine Modellierung bis auf die Betriebsebene ist beispielsweise denkbar, wenn an einem Standort zwischen den verschiedenen Betrieben auf Grundlage der genauen Längen- und Breitengraden unterschieden werden kann. Eine Modellierung der Anlagen- oder Teilanlagenebene ist an dieser Stelle weniger sinnvoll.

Ein gesamter Verbund kann nun auf diese Weise abgebildet werden, was bedeutet, dass das Datenmodell vollständig ist. Es ist möglich einen beliebigen Chemie-Verbund mit kontinuierlichen Betriebsweisen auf diese Weise zu modellieren. Das letzte fehlende Element, welches für die Berechnung der Kenngrößen (auch Kennzahlen oder KPI's genannt) erforderlich ist, sind die konkreten Messwerte, die bislang noch keine Berücksichtigung in dem Modell erfahren haben.

Die Anbindung der Messwerte an das modellierte Datenmodell erfolgt über die *MeasurementValues-Tabelle* (vgl. wieder in der Übersicht über die relationale Datenbankstruktur in Fig. 4) und wie nachfolgend für das hiesige Beispiel wiedergegeben:

	ID_MeasurementTag	TS	Value
10	1	01.01.2013 00:00	60,5
	1	01.01.2013 01:00	62
	1	01.01.2013 02:00	61,5
15	1	01.01.2013 03:00	64
	1	01.01.2013 04:00	63
	...	...	...

MeasurementValues-Tabelle

Die ID_MeasurementTag ist eine ID, die im Verlauf der Datenverarbeitung beim Erstellen sogenannter Views eingeführt wird, auf die noch nachfolgend eingegangen wird. Letztendlich ist diese ID der Bezug zu der *FlowMeasurement_ID* bzw. der *BlockMeasurement_ID*. Das bedeutet den Messstellen werden die Werte zugeordnet. Dies können, wie in diesem Beispiel, Werte aus der Vergangenheit sein oder Live-Werte bei der Anbindung an einer Schnittstelle zu den Live-Prozessdaten. Die Abkürzung TS aus der Tabelle kennzeichnet den sogenannten *TimeStamp*, das heißt den genauen Zeitpunkt an dem der entsprechende Wert erfasst wurde. In diesem Beispiel ist sind die ersten, stündlichen Messwerte einer Durchflussmessung erfasst.

Das hier vorgestellte für die Implementierung der vorliegenden Erfindung geeignete Datenmodell ist flexibel und auf sämtliche, kontinuierliche Produktionsverbunde übertragbar. Das Modell kann beliebig und einfach erweitert oder geändert werden, sodass ein Umbau oder Neubau von Anlagen kein Problem für die Anpassung des Modells darstellt.

Fig. 5 zeigt einen sogenannten „Hierarchy-View“, einen sogenannten „Flow-View“ und einen sogenannten „Block-View“ auf die Struktur einer relationalen Datenbank zur Implementierung des Datenmo-

dells für die Modellierung des fiktiven Verbundsystems nach Fig. 3 in gemeinsamer Darstellung, wohingegen Fig. 6 den sogenannten ‚Hierarchy-View‘ und Fig. 7 den sogenannten ‚Flow-View‘ und Fig. 8 den sogenannten ‚Block-View‘ nach Fig. 5 in isolierter Darstellung zeigen.

Ein sogenannter *View* ist eine Sicht auf eine Datenbankstruktur, die auch als virtuelle Tabelle bezeichnet wird. Eine solche virtuelle Datenbanktabelle wird über eine in der Datenbank hinterlegte Abfrage (sogenannte *Query*) definiert. Ein solcher *View* kann vom Datenbankbenutzer wie eine normale tatsächlich vorhandene Tabelle abgefragt werden. Hierdurch ist es möglich den Zugriff auf die Datenbank durch das Zurverfügungstellen geeigneter Views zu vereinfachen. Vorliegend werden vorzugsweise solche *Views* für die die abgebildete Chemieindustrieeinrichtungshierarchie betreffenden Daten (*Hierarchy-View*), für die die Ströme zwischen den Einheiten der Chemieindustrieeinrichtung (also die Ströme zwischen den Blöcken) betreffenden Daten (*Flow-View*) und für die die Einheiten der Chemieindustrieeinrichtung (also die Blöcke) betreffenden Daten (*Block-View*) eingerichtet, was in den Datenbankstrukturdarstellungen der Fig. 5, 6, 7 und 8 zu sehen ist, die genau wie die Gesamtdarstellung nach Fig. 4, die ohne *Views* auskommt, jeweils eine Darstellung der Relationen wählen, wo

- eine 1:N Relationen durch das Symbol $\curvearrowright$, und
- eine N:1 Relation durch das Symbol $\curvearrowleft$

dargestellt ist.

Fig. 9 zeigt einen sogenannten ‚Model-View‘. Dieser *Model-View* setzt sich aus den zuvor erzeugten *Hierarchy-View*, *Flow-View* und *Block-View* zusammen. Im *ModelView* wird *BlockDescription* und *Flow-Description* zu „Description“ umbenannt. Außerdem wird jeder Block nun über *Input / Output / State* (also Zugang, Abgang und Status) differenziert. Input oder Zugang bedeutet, dass der Strom mit der zugehörigen Messstelle in den Block hineinfließt also im Block endet, Output oder Abgang bedeutet, dass der Strom aus dem Block herausfließt also im Block startet und State oder Status, dass es sich um ein Attribut des Blockes handelt. Desweiteren wird der *FlowMeasurementTag* und der *Block-MeasurementTag* in „*MeasurementTag*“ umbenannt. Dies hat den Vorteil, dass in dem nachfolgend beschriebenen *REM-View* nur eine sogenannte „*Value-Table*“ notwendig ist, um die Messdaten einzulesen.

Fig. 10 zeigt einen sogenannten ‚REM-View‘. Der *REM-View* wird aus dem *Model-View* nach Fig. 9 und aus der *MeasurementValues-Tabelle* erzeugt. Dabei werden die Messwerte mit sämtlichen Informa-

tionsdaten, wie ihre jeweilige hierarchische Einordnung, ihre geographische Einordnung und den Eigenschaften der jeweiligen Messstelle zusammengeführt. Durch die Betrachtung der einzelnen Blöcke und deren Zugängen und Abgängen (Inputs und Outputs) kommt zwar jede Messstelle der Ströme doppelt vor, aber die Filterung im Tableau nach Zugangs- und Abgangs-Strömen (In- und Out-Strömen) der Blöcke wird vereinfacht. Zudem hat diese Aufstellung den Vorteil, dass etwaige Attribute der Blöcke (also etwa Bestände) leicht mit Attributen der Ströme (also etwa den jeweiligen Strömen zugeordnete [Meß-]Größen) zusammengeführt werden können.

Patentansprüche

1. Computer-implementiertes Verfahren zur Bildung und Speicherung zumindest einer Aggregati-
on für einen Zugangs-Strom und/oder einen Abgangs-Strom zumindest eines Massenstroms
5 und/oder Energiestroms, der durch eine gerichtete Verbindung zwischen zwei Einheiten einer
Chemieindustrieeinrichtung fließt, für zumindest eine Einheit der Chemieindustrieeinrichtung,
wobei das computer-implementierte Verfahren
 - mit einem Speicherinhalt in zumindest einem Speicher arbeitet, in dem die zu Chemiein-
dustrieeinrichtung dadurch informationstechnisch modelliert ist, dass der Speicherinhalt
10 zumindest eine Block-Datenstruktur zur Speicherung zumindest eines Block-
Datenelementes aufweist, das jeweils eine Einheit der Chemieindustrieeinrichtung in der
Datenstruktur repräsentiert, wobei
eine Hierarchie der Einheiten der Chemieeinrichtung dadurch in der Block-Datenstruktur
repräsentiert wird, dass zumindest ein Block-Datenelement vorgesehen ist, das ein über-
15 geordnetes Block-Datenelement ist, das wiederum zumindest ein untergeordnetes Block-
Datenelement aufweist, wobei
das jeweilige übergeordnete Block-Datenelement jeweils eine übergeordnete Einheit der
Chemieindustrieeinrichtung, und das jeweilige untergeordnete Block-Datenelement je-
20 weils eine in der übergeordneten Einheit enthaltene untergeordnete Teileinheit der Che-
mieindustrieeinrichtung in der Datenstruktur repräsentiert,
und, dass der Speicherinhalt
zumindest eine Verbindungs-Datenstruktur zur Speicherung von zumindest einem Ver-
bindungs-Datenelements aufweist, das jeweils einer gerichteten Verbindung zwischen je-
weils zwei zueinander unterschiedlichen Block-Datenelementen entspricht, die
25 eine jeweilige zugehörige gerichtete Verbindung zwischen den jeweiligen beiden entspre-
chenden in der Block-Datenstruktur repräsentierten Einheiten der Chemieindustrieein-
richtung repräsentiert,

und wobei

- zumindest ein Massenstrom und/oder ein Energiestrom, der jeweils durch die jeweilige gerichtete Verbindung zwischen zwei Einheiten der Chemieindustrieeinrichtung fließt, mit zumindest einer jeweiligen (Meß-)Größe erfaßt und jeweils als dieser gerichteten Verbindung abgespeichert wird, und

- anhand einer hierzu jeweils gespeicherten Aggregationsregel zumindest eine Aggregation für einen Zugangs-Strom und/oder einen Abgangs-Strom zumindest eines der vorgenannten Massenströme und/oder Energieströme für zumindest eine Einheit der Chemieindustrieeinrichtung derart vorgenommen wird, dass

für die jeweilige Einheit der Chemieindustrieeinrichtung die Aggregation des ihr zugehörigen Zugangs-Stroms oder der ihr zugehörigen Zugangs-Ströme oder des ihr zugehörigen Abgangs-Stroms oder der ihr zugehörigen Abgangs-Ströme des zumindest einen vorgenannten Massenstromes oder Energiestromes anhand der in der Block-Datenstruktur gespeicherten Block-Datenelemente und anhand der in der Verbindungs-Datenstruktur gespeicherten Verbindungs-Datenelemente vorgenommen wird, indem

jeder solche Massenstrom oder Energiestrom der jeweiligen Einheit der Chemieindustrieeinrichtung für die jeweilige Aggregation des zugehörigen Zugangs-Stromes verwendet wird, dessen zugehörige gerichtete Verbindung außerhalb der jeweiligen Einheit der Chemieindustrieeinrichtung einschließlich aller ihrer hierarchisch untergeordneten und in ihr enthaltenen Teileinheiten beginnt und innerhalb der jeweiligen Einheit der Chemieindustrieeinrichtung einschließlich aller ihrer hierarchisch untergeordneten und in ihr enthaltenen Teileinheiten endet, und ferner

jeder solche Massenstrom oder Energiestrom der jeweiligen Einheit der Chemieindustrieeinrichtung für die jeweilige Aggregation des zugehörigen Abgangs-Stroms verwendet wird, dessen zugehörige gerichtete Verbindung innerhalb der jeweiligen Einheit der Chemieindustrieeinrichtung einschließlich aller ihrer hierarchisch untergeordneten und in ihr enthaltenen Teileinheiten beginnt und außerhalb der jeweiligen Einheit der Chemieindust-

rieereinrichtung einschließlich aller ihrer hierarchisch untergeordneten und in ihr enthaltenen Teileinheiten endet,

und wobei

- die jeweilige Aggregation entsprechend der Aggregationsregel für den jeweiligen Zugangsstrom und/oder den jeweiligen Abgangs-Strom des zumindest einen vorgenannten Massenstromes oder Energiestromes der jeweiligen Einheit der Chemieindustrieeinrichtung gebildet und zur Weiterverarbeitung oder Anzeige gespeichert wird.

2. Computer-implementiertes Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren auch der Bildung und Speicherung der Aggregation des Zugangs-Stroms und/oder des Abgangs-Strom zumindest eines Informationsstroms dient, wobei

- zumindest auch ein Informationsstrom, der jeweils durch die jeweilige gerichtete Verbindung zwischen zwei Einheiten der Chemieindustrieeinrichtung fließt, mit zumindest einer jeweiligen (Meß-)Größe erfaßt und jeweils als dieser gerichteten Verbindung zugeordnet abgespeichert wird, und

- anhand der hierzu jeweils gespeicherten Aggregationsregel zumindest eine Aggregation für den Zugangs-Strom und/oder den Abgangs-Strom zumindest eines vorgenannten Informationsstromes für zumindest eine Einheit der Chemieindustrieeinrichtung derart vorgenommen wird, dass

für die jeweilige Einheit der Chemieindustrieeinrichtung die Aggregation des ihr zugehörigen Zugangs-Stroms oder der ihr zugehörigen Zugangs-Ströme oder des ihr zugehörigen Abgangs-Stroms oder der ihr zugehörigen Abgangs-Ströme des zumindest einen vorgenannten Informationsstromes anhand der in der Block-Datenstruktur gespeicherten Block-Datenelemente und anhand der in der Verbindungs-Datenstruktur gespeicherten Verbindungs-Datenelemente vorgenommen wird, indem

jeder solche Informationsstrom der jeweiligen Einheit der Chemieindustrieeinrichtung für die jeweilige Aggregation des zugehörigen Zugangs-Stromes verwendet wird, dessen zugehörige gerichtete Verbindung außerhalb der jeweiligen Einheit der Chemieindustrieein-

richtung einschließlich aller ihrer hierarchisch untergeordneten und in ihr enthaltenen Teileinheiten beginnt und innerhalb der jeweiligen Einheit der Chemieindustrieeinrichtung einschließlich aller ihrer hierarchisch untergeordneten und in ihr enthaltenen Teileinheiten endet, und ferner

jeder solche Informationsstrom der jeweiligen Einheit der Chemieindustrieeinrichtung für die jeweilige Aggregation des zugehörigen Abgangs-Stroms verwendet wird, dessen zugehörige gerichtete Verbindung innerhalb der jeweiligen Einheit der Chemieindustrieeinrichtung einschließlich aller ihrer hierarchisch untergeordneten und in ihr enthaltenen Teileinheiten beginnt und außerhalb der jeweiligen Einheit der Chemieindustrieeinrichtung einschließlich aller ihrer hierarchisch untergeordneten und in ihr enthaltenen Teileinheiten endet,

und wobei

- die jeweilige Aggregation entsprechend der Aggregationsregel für den jeweiligen Zugangs-Strom und/oder den jeweiligen Abgangs-Strom des zumindest einen vorgenannten Informationsstromes der jeweiligen Einheit der Chemieindustrieeinrichtung gebildet und zur Weiterverarbeitung oder Anzeige gespeichert wird.

3. Computer-implementiertes Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Hierarchie der Einheiten der Chemieeinrichtung in der Block-Datenstruktur dadurch repräsentiert wird, dass das jeweilige übergeordnete Block-Datenelement das ihm jeweilig untergeordnete Block-Datenelement in der Weise aufweist, dass das jeweilige übergeordnete Block-Datenelement auf das ihm jeweilig untergeordnete Block-Datenelement verweist oder umgekehrt das jeweilige untergeordnete Block-Datenelement auf das ihm jeweilig übergeordnete Block-Datenelement verweist.

4. Computer-implementiertes Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Hierarchie der Einheiten der Chemieeinrichtung in der Block-Datenstruktur dadurch repräsentiert wird, dass das jeweilige übergeordnete Block-Datenelement das ihm jeweilig untergeordnete Block-Datenelement in der Weise aufweist, dass das jeweilige übergeordnete Block-Datenelement das ihm jeweilig untergeordnete Block-Datenelement enthält.

5. Computer-implementiertes Verfahren nach einem der Ansprüche 1, 2, 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass als Aggregationsregel zur Aggregation des Zugangs-Stroms und/oder des Abgangs-Stroms des jeweiligen Massenstromes und/oder Energiestromes und/oder Informationsstromes der jeweiligen Einheit der Chemieindustrieeinrichtung eine Aufsummierung der jeweils erfaßten (Meß-)Größe der jeweils zur Aggregation zu verwendenden Masseströme und/oder Energieströme und/oder Informationsströme vorgesehen ist.
6. Computer-implementiertes Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass als Aggregationsregel zur Aggregation des Zugangs-Stroms und/oder des Abgangs-Stroms des jeweiligen Massenstromes und/oder Energiestromes und/oder Informationsstromes der jeweiligen Einheit der Chemieindustrieeinrichtung eine
10 dung - vorzugsweise die Bildung des arithmetischen oder geometrischen Mittels oder des Medians - der jeweils erfaßten (Meß-)Größe(n) der oder des jeweils zur Aggregation zu verwendenden Massestroms oder der Masseströme und/oder des Energiestroms oder der Energieströme und/oder des Informationsstroms oder der Informationsströme vorgesehen ist.
7. Computer-implementiertes Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass als Aggregationsregel zur Aggregation des Zugangs-Stroms und/oder des Abgangs-Stroms des jeweiligen Massenstromes und/oder Energiestromes und/oder Informationsstromes der jeweiligen Einheit der Chemieindustrieeinrichtung eine
15 dung - vorzugsweise eine Maximum- oder Minimumermittlung - der jeweils erfaßten (Meß-)Größe(n) der oder des jeweils zur Aggregation zu verwendenden Massestroms oder der Masseströme und/oder des Energiestroms oder der Energieströme und/oder des Informationsstroms oder der Informationsströme vorgesehen ist.
8. Computer-implementiertes Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Aggregation des Zugangs-Stroms und/oder des Abgangs-Stroms des jeweiligen Massenstromes und/oder Energiestromes und/oder Informationsstromes der jeweiligen
20 Einheit der Chemieindustrieeinrichtung über einen zu wählenden Zeitraum erfolgt.
9. Computer-implementiertes Verfahren zur Betriebsüberwachung von Chemieindustrieeinrichtungen vermittels zumindest einer Kenngröße, dadurch gekennzeichnet, dass anhand zumindest

einer gespeicherten Kenngrößen-Ermittlungsregel aus der oder den nach dem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 gebildeten Aggregation(en) für einen jeweiligen Zugangs-Strom und/oder den jeweiligen Abgangs-Strom eines jeweiligen Massenstromes und/oder Energiestromes und/oder Informationsstromes von einer Einheit oder von Einheiten der Chemieindustrieeinrichtung zumindest eine Kenngröße zur Betriebsüberwachung der Chemieindustrieeinrichtung gebildet und zur Weiterverarbeitung oder Anzeige gespeichert wird oder werden.

10. Computer-implementiertes Verfahren zur Betriebsüberwachung von Chemieindustrieeinrichtungen nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass als Kenngröße eine technische Kenngröße, nämlich zumindest ein Energieleistungsindikator für die Einheit oder die Einheiten der Chemieindustrieeinrichtung ermittelt wird, wobei die Kenngrößen-Ermittlungsregel lautet, dass der durch Aufsummierung über einen gewählten Zeitraum nach dem Verfahren nach Anspruch 8 und 5 aggregierte Zugangs-Energiestrom aller Energien zu der jeweiligen Einheit der Chemieindustrieeinrichtung hin durch den durch Aufsummierung über den gewählten Zeitraum nach dem Verfahren nach Anspruch 8 und 5 aggregierten Abgangs-Massenstrom aller Produkte von der jeweiligen Einheit der Chemieindustrieeinrichtung weg dividiert wird, um so den Energieleistungsindikator für die jeweilige Einheit der Chemieindustrieeinrichtung als die weitere technische Kenngröße zu erhalten.

11. Computer-implementiertes Verfahren zur Betriebsüberwachung von Chemieindustrieeinrichtungen nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest auch ein Bestand – vorzugsweise ein Lagerbestand oder Füllstand –, eines Materials das einer Einheit der Chemieindustrieeinrichtung zugehört, erfaßt und jeweils als dieser Einheit der Chemieindustrieeinrichtung zugeordnet abgespeichert wird, und dass zumindest eine der Kenngrößen zur Betriebsüberwachung der Chemieindustrieeinrichtung zumindest auch anhand eines dieser Bestände des jeweiligen Materials zumindest einer der jeweiligen Einheiten der Chemieindustrieeinrichtung ermittelt wird.

12. Computersystem zur Betriebsüberwachung von Chemieindustrieeinrichtungen, wobei das Computersystem zumindest einen Computer und zumindest einen Prozessor und mindestens einen Computersystem-Speicher sowie zumindest eine Erfassungseinrichtung zur Erfassung von Massenströmen und/oder Energieströmen und/oder Informationsströmen, die durch eine

jeweilige gerichtete Verbindung zwischen zwei Einheiten der Chemieindustrieeinrichtung fließen, aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass das Computersystem mittels eines Computerprogramms zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11 eingerichtet ist.

- 5 13. Computersystem zur Betriebsüberwachung von Chemieindustrieeinrichtungen nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass als Erfassungseinrichtung zur Erfassung von Massenströmen und/oder Energieströmen zumindest ein Sensor, vorzugsweise ein Durchflusssensor, wie etwa ein Massendurchflusssensor oder ein Energiezähler zur Messung der elektrischen Energie oder Leistungsmeßgerät zur Messung der elektrischen Leistung dient.
- 10 14. Computersystem zur Betriebsüberwachung von Chemieindustrieeinrichtungen nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Computersystem auch zumindest eine Erfassungseinrichtung zur Erfassung von zumindest einem Bestand - vorzugsweise einen Lagerbestand oder einen Füllstand -, der einer Einheit der Chemieindustrieeinrichtung zugehört, aufweist und das Computersystem mittels eines Computerprogramms zur Durchführung des
- 15 Verfahrens nach Anspruch 11 eingerichtet ist.
15. Computersystem zur Betriebsüberwachung von Chemieindustrieeinrichtungen nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass als Erfassungseinrichtung zur Erfassung zumindest eines der Bestände - vorzugsweise eines Lagerbestands oder eines Füllstands -, der einer Einheit der Chemieindustrieeinrichtung zugehört, ein Füllstandssensor oder ein Gewichtssensor dient.
- 20 16. Computersystem zur Betriebsüberwachung von Chemieindustrieeinrichtungen nach einem der Ansprüche 12 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass es zumindest auch eine Anzeigevorrichtung zur – vorzugsweise graphisch veranschaulichten - Anzeige des oder der entsprechend der Aggregationsregel(n) für den jeweiligen Zugangs-Strom und/oder den jeweiligen Abgangs-Strom des jeweiligen Massen- oder Energiestromes oder Informationsstromes der Einheit oder der
- 25 Einheiten der Chemieindustrieeinrichtung ermittelten Aggregation oder Aggregationen und/oder entsprechend der oder den Kenngrößen-Ermittlungsregel(n) ermittelten Kenngröße(n), aufweist, auf dem das oder die vorgenannten Aggregation(en) und/oder der oder die

Kenngröße(n) der Chemieindustrieeinrichtung – vorzugsweise graphisch veranschaulicht – angezeigt werden können.

17. Computerprogramm, das Instruktionen aufweist, die zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11 eingerichtet sind.
- 5 18. Computerprogrammprodukt, welches ein computerlesbares Medium mit Computerprogramm-Code-Mitteln aufweist, bei dem jeweils nach Laden des Computerprogramms in einen Computer der Computer durch das Programm zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11 eingerichtet ist.
- 10 19. Computerprogrammprodukt, welches ein Computerprogramm auf einem elektronischen Signal aufweist, bei dem jeweils nach Laden des Computerprogramms in einen Computer der Computer zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11 eingerichtet ist.

FIG. 1

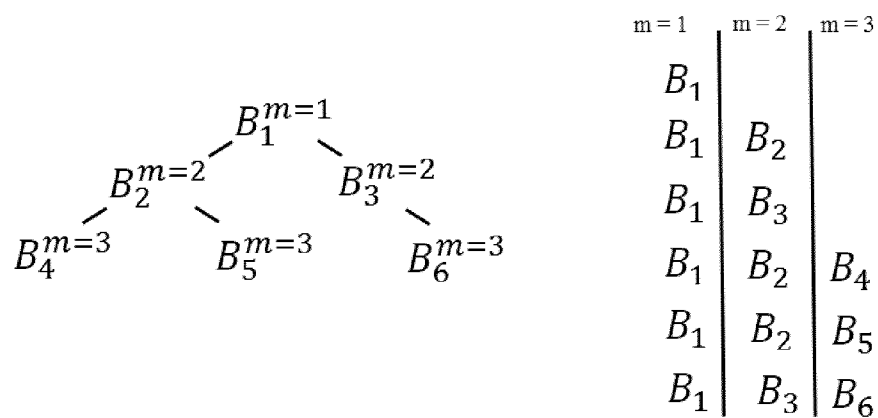
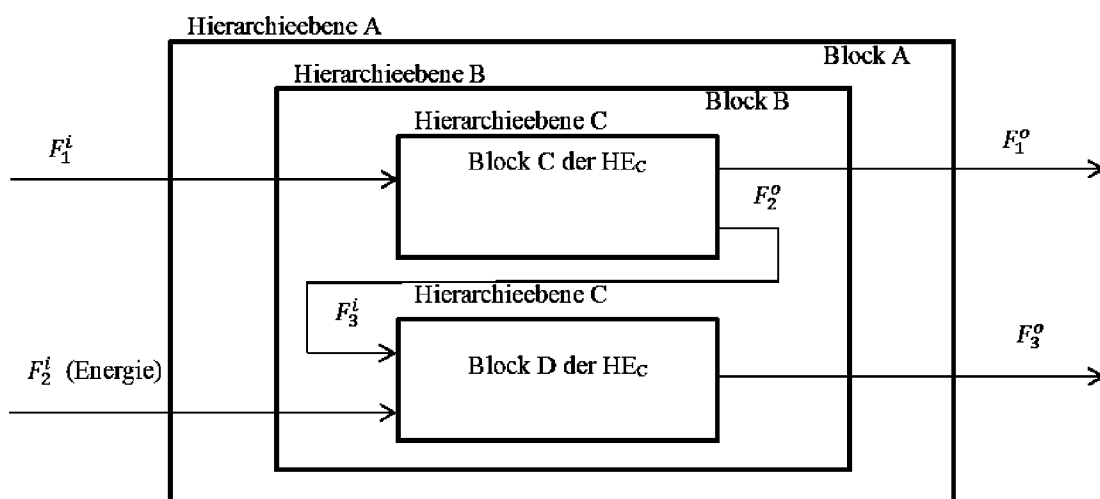


FIG. 2



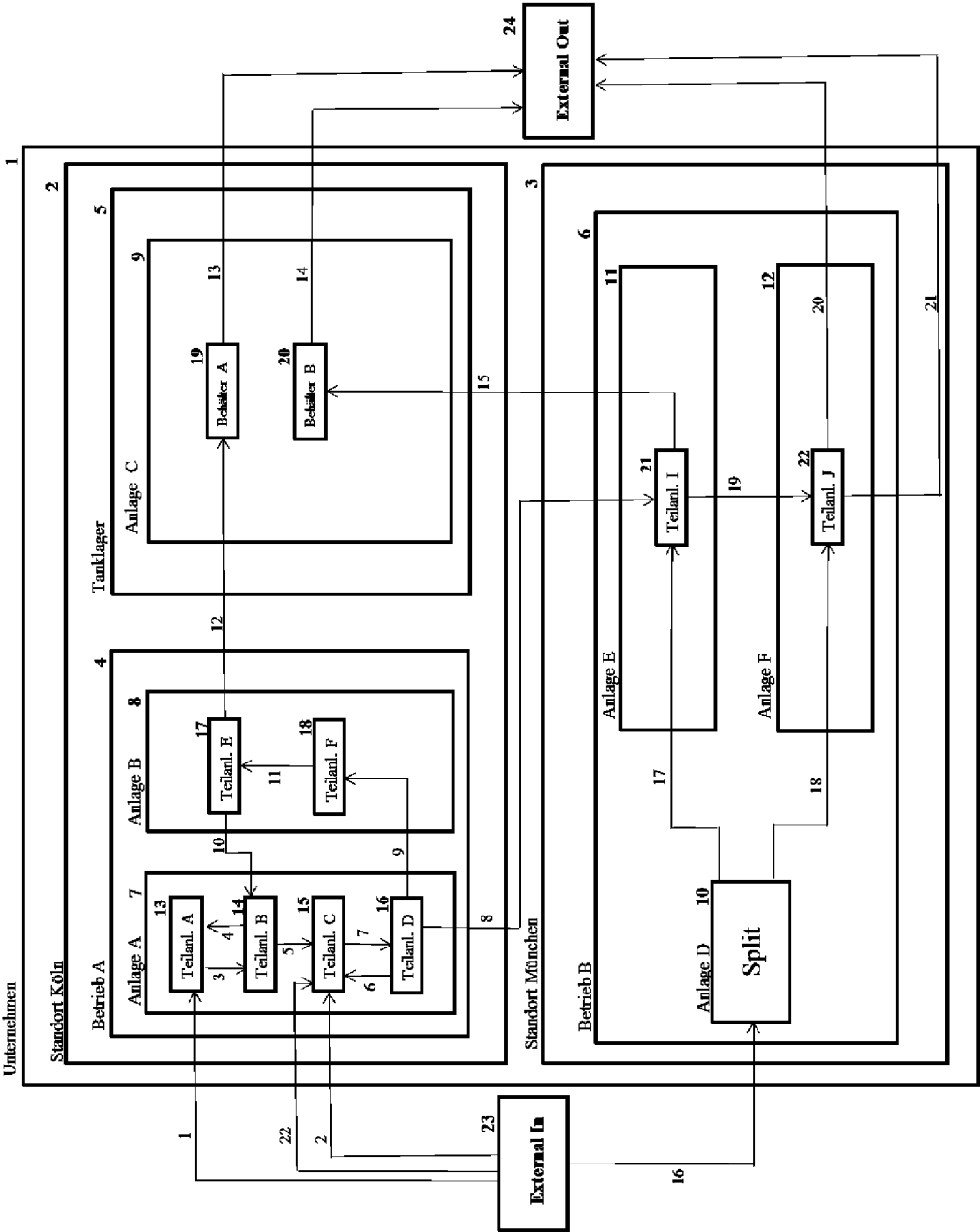


FIG. 3

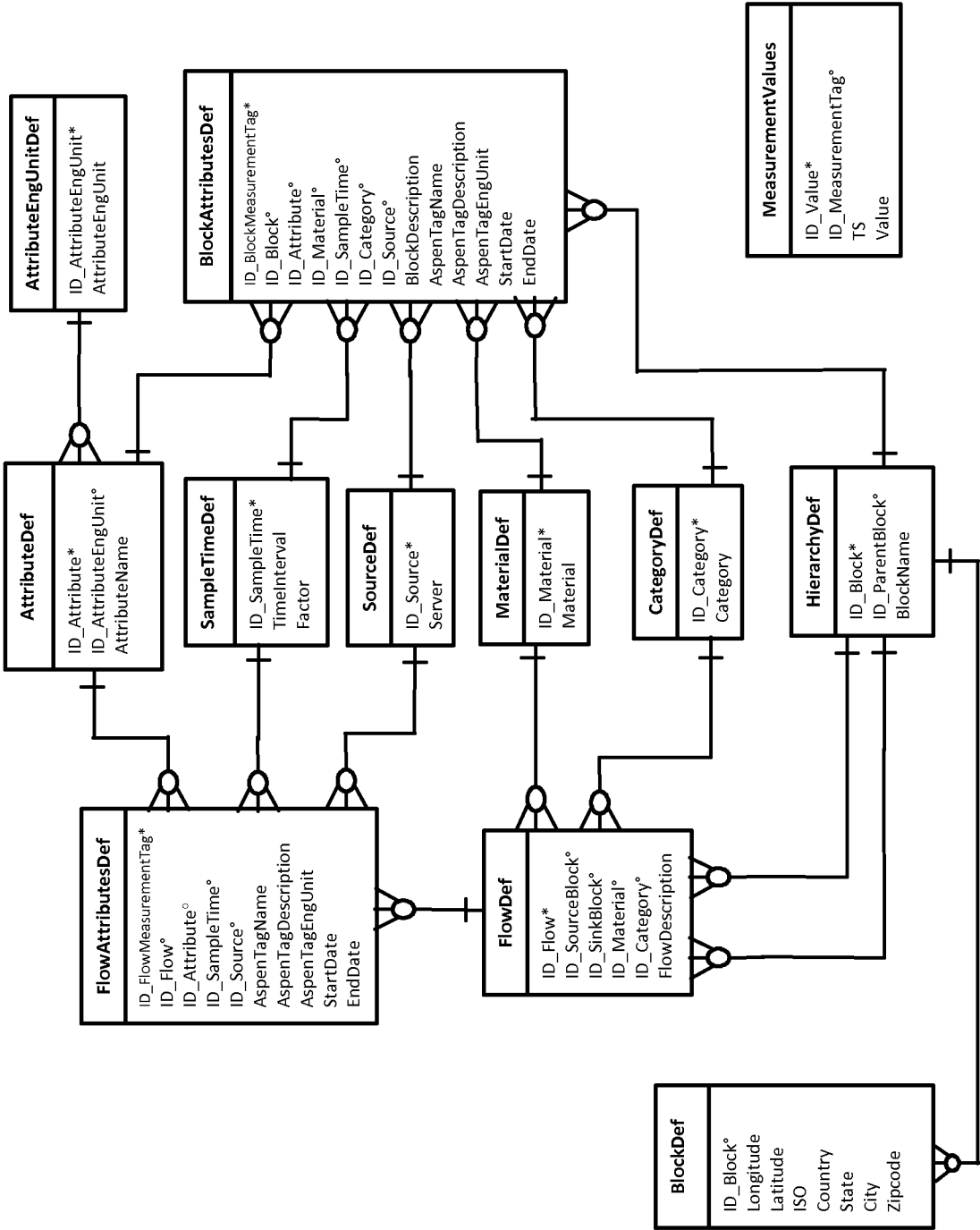


FIG. 4

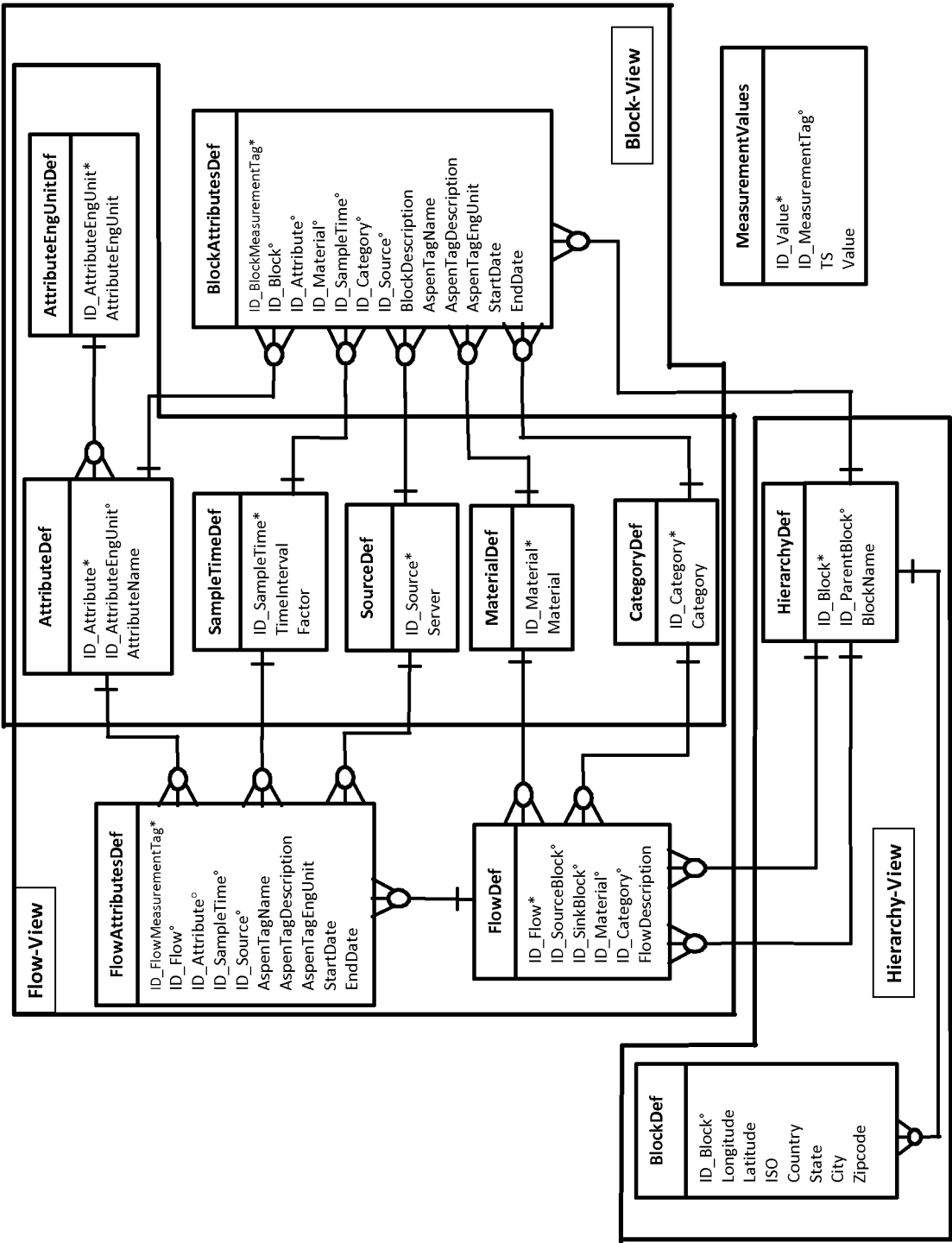


FIG. 5

FIG. 6

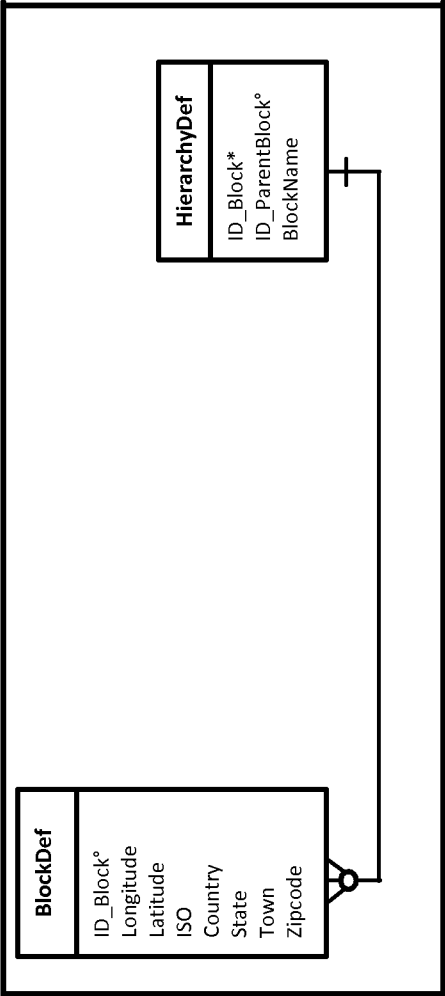


FIG. 7

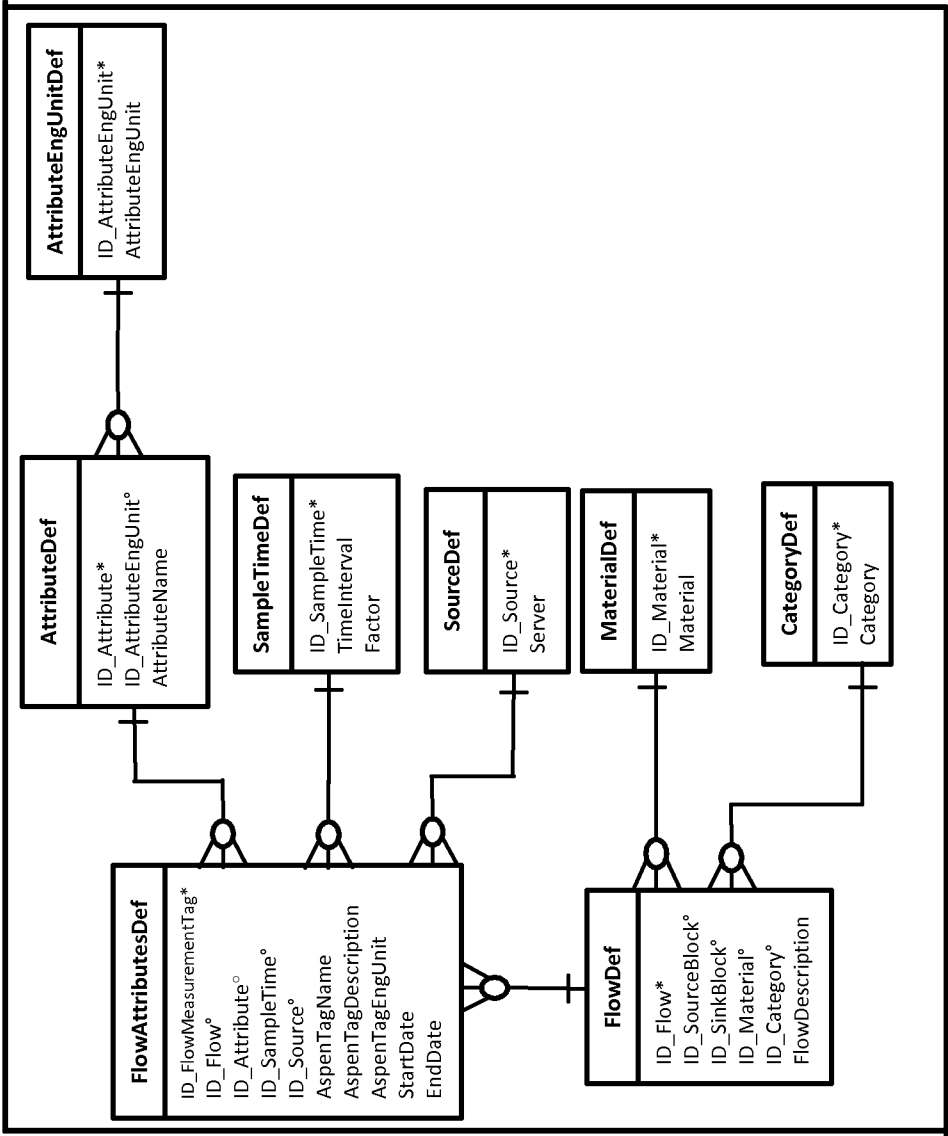


FIG. 8

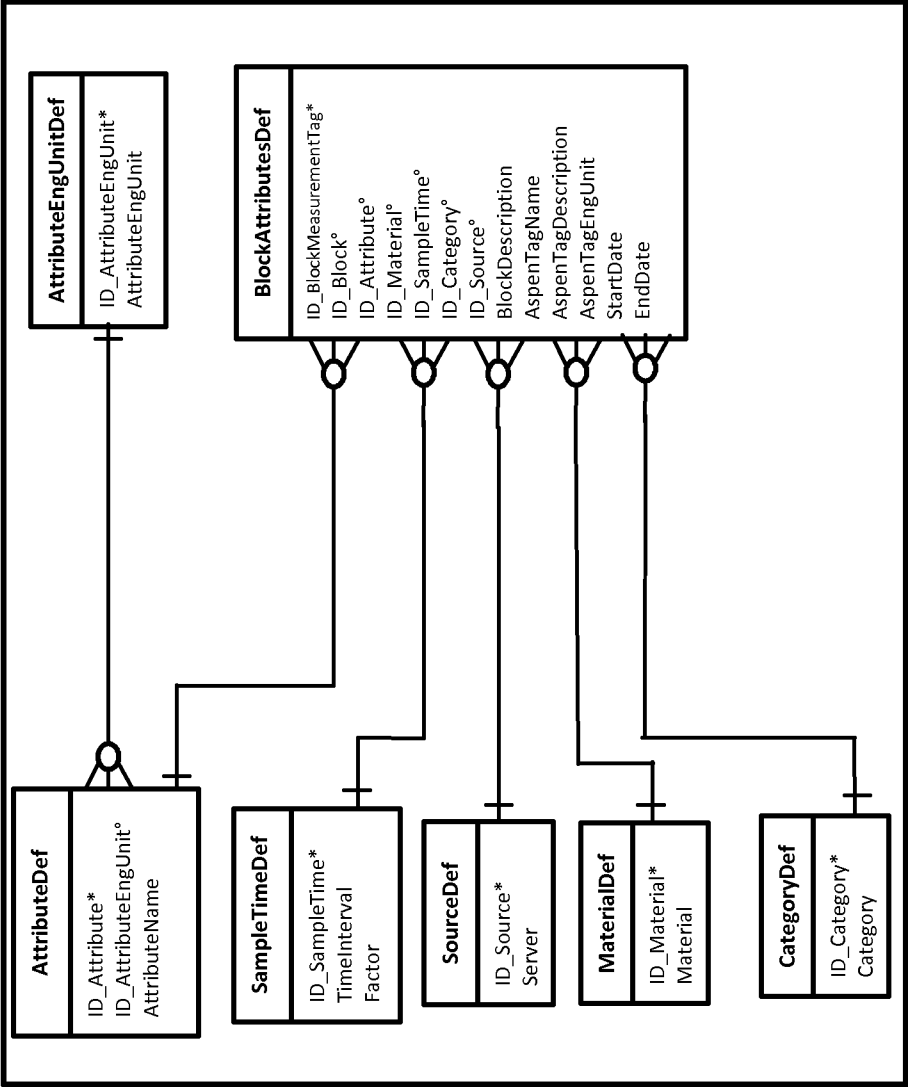


FIG. 9

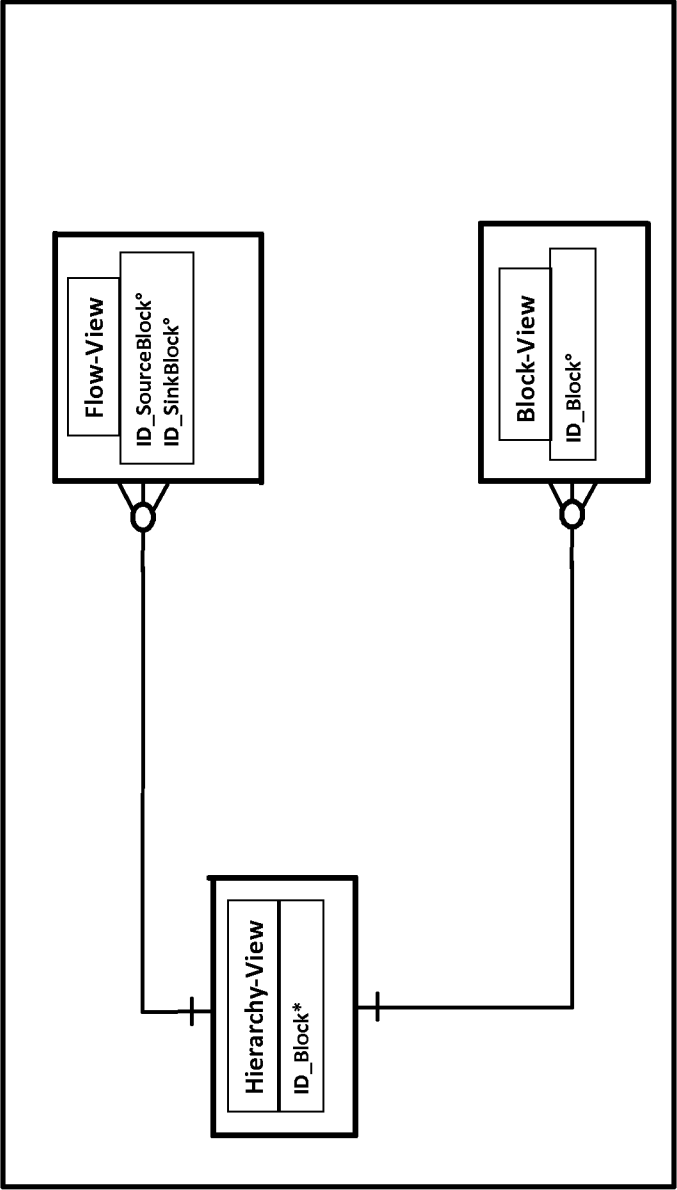
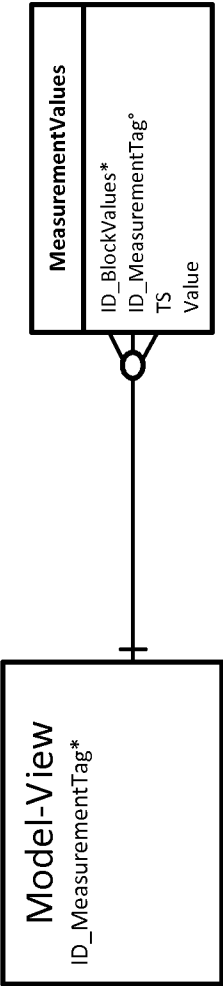


FIG. 10



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2014/070118

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G05B17/02
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G05B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2007/129917 A1 (BLEVINS TERRENCE L [US] ET AL) 7 June 2007 (2007-06-07) paragraph [0002] - paragraph [0014] paragraph [0030] - paragraph [0033]; figure 2 paragraph [0084] - paragraph [0093]; figures 4-6	1-19
X	US 5 914 875 A (MONTA KAZUO [JP] ET AL) 22 June 1999 (1999-06-22) column 1 - column 5; figures 1-4	1-19
A	EP 2 204 712 A1 (BAYER MATERIALSCIENCE AG [DE]) 7 July 2010 (2010-07-07) the whole document	9,10
	----- -/-	



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

11 February 2015

Date of mailing of the international search report

19/02/2015

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

José Luis Meseguer

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2014/070118

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 03/038618 A1 (GOALART AB [SE]; LARSSON JAN ERIC [SE]; DAHLSTRAND FREDRIK [SE]; OEHMA) 8 May 2003 (2003-05-08) the whole document -----	1-19

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2014/070118

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)		Publication date
US 2007129917	A1	07-06-2007	CN	101158872 A	09-04-2008
			CN	103631150 A	12-03-2014
			DE 102007046962	A1	24-04-2008
			GB	2444808 A	18-06-2008
			GB	2475200 A	11-05-2011
			HK	1116874 A1	02-09-2011
			HK	1151363 A1	08-06-2012
			JP	5117811 B2	16-01-2013
			JP	5623476 B2	12-11-2014
			JP	2008135010 A	12-06-2008
			JP	2013012218 A	17-01-2013
			US	2007129917 A1	07-06-2007
			US	2007208549 A1	06-09-2007

US 5914875	A	22-06-1999	CN	1160850 A	01-10-1997
			FR	2743642 A1	18-07-1997
			US	5914875 A	22-06-1999

EP 2204712	A1	07-07-2010	CA	2688700 A1	17-06-2010
			CN	101751620 A	23-06-2010
			EP	2204712 A1	07-07-2010
			EP	2204716 A2	07-07-2010
			JP	5577087 B2	20-08-2014
			JP	2010146567 A	01-07-2010
			US	2010168930 A1	01-07-2010

WO 03038618	A1	08-05-2003	NONE		

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G05B17/02
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G05B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2007/129917 A1 (BLEVINS TERRENCE L [US] ET AL) 7. Juni 2007 (2007-06-07) Absatz [0002] - Absatz [0014] Absatz [0030] - Absatz [0033]; Abbildung 2 Absatz [0084] - Absatz [0093]; Abbildungen 4-6 -----	1-19
X	US 5 914 875 A (MONTA KAZUO [JP] ET AL) 22. Juni 1999 (1999-06-22) Spalte 1 - Spalte 5; Abbildungen 1-4 -----	1-19
A	EP 2 204 712 A1 (BAYER MATERIALSCIENCE AG [DE]) 7. Juli 2010 (2010-07-07) das ganze Dokument -----	9,10
A	WO 03/038618 A1 (GOALART AB [SE]; LARSSON JAN ERIC [SE]; DAHLSTRAND FREDRIK [SE]; OEHMA) 8. Mai 2003 (2003-05-08) das ganze Dokument -----	1-19



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

11. Februar 2015

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

19/02/2015

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

José Luis Meseguer

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2014/070118

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 2007129917	A1	07-06-2007	CN	101158872 A	09-04-2008
			CN	103631150 A	12-03-2014
			DE	102007046962 A1	24-04-2008
			GB	2444808 A	18-06-2008
			GB	2475200 A	11-05-2011
			HK	1116874 A1	02-09-2011
			HK	1151363 A1	08-06-2012
			JP	5117811 B2	16-01-2013
			JP	5623476 B2	12-11-2014
			JP	2008135010 A	12-06-2008
			JP	2013012218 A	17-01-2013
			US	2007129917 A1	07-06-2007
			US	2007208549 A1	06-09-2007
US 5914875	A	22-06-1999	CN	1160850 A	01-10-1997
			FR	2743642 A1	18-07-1997
			US	5914875 A	22-06-1999
EP 2204712	A1	07-07-2010	CA	2688700 A1	17-06-2010
			CN	101751620 A	23-06-2010
			EP	2204712 A1	07-07-2010
			EP	2204716 A2	07-07-2010
			JP	5577087 B2	20-08-2014
			JP	2010146567 A	01-07-2010
			US	2010168930 A1	01-07-2010
WO 03038618	A1	08-05-2003	KEINE		