

## Innovative Modellierungsansätze im Risikomanagement (Teil II)

# Finanzmarktnetzwerke – Anwendungsmöglichkeiten einer neuen Technologie

In Ausgabe 20 der Zeitschrift RISIKO MANAGER wurde das Modellierungswerkzeug der Finanzmarktnetzwerke vorgestellt. Im vorliegenden zweiten Teil des Beitrags werden die Basisalgorithmen beschrieben und insbesondere konkrete Anwendungsmöglichkeiten aus dem Bereich Risikokonzentrationsanalyse, Assetallokation, Portfolio-konstruktion und Handel vorgestellt.

### Eingangsdaten

Primäre Eingangsdatenquelle von Finanzmarktnetzwerken sind die Renditezeitreihen derjenigen Finanzinstrumente, die gemeinsam untersucht werden sollen. Es können Netzwerke innerhalb einer Assetklasse modelliert werden wie beispielsweise Netzwerke, die nur aus Aktien bestehen. Es können aber auch Währungen, Rohstoffe, CDS, ETF, FX, Fonds oder andere Instrumente/Märkte/Risikoprämien untersucht werden. Sogar die assetklassenübergreifende Erstellung von Netzwerken ist möglich, um beispielsweise eine institutsweite Assetallokation vorzunehmen oder eine Multi-Asset-Fondsstrategie aufzusetzen. Ausgangspunkt der Netzwerkkonstruktion ist häufig die Messung der paarweisen Korrelationen der Eingangszeitreihen, aber es können auch überlineare Zusammenhänge wie etwa Randabhängigkeiten („Tail Correlations“) als Netzwerk dargestellt werden, je nach Kontext der Analyse. Eine Kante im Netzwerk steht meist für einen gemessenen Zusammenhang zwischen Asset A und B (beispielsweise eine Korrelation); es können aber auch Einflüsse von A auf B oder von B auf A modelliert werden. Die Netzwerkalgorithmen dienen dazu, Abhängigkeitsstrukturen auf der Basis großer Datenmengen zu verstehen und transparent zu machen. Die Netzwerke filtern diese Datenmengen nach den grundlegenden Zusammenhängen, so dass die Komplexität effizient auf eine signifikante Struktur reduziert wird. Die Netzwerke können auch zu unterschiedlichen Zeitpunkten erstellt werden, um die dynamische Evolution einer Serie von Netzwerken zu analysieren. Ein Beispiel ist die Analyse des Einflusses marktweiter Ereignisse wie EZB-Liquid-

tätsoperationen oder bestimmte politische Ereignisse. Es kann jeweils ein Netzwerk vor und eines nach dem Ereignis erstellt werden, um den Einfluss des Ereignisses sowie die Strukturänderung zu verstehen. Der Einstieg in die Netzwerkmodellierung erfolgt oft über Spann bäume. Dies ist die maximale Menge an Kanten, ohne dass Netzwerkzyklen entstehen bzw. minimale Anzahl an Kanten, so dass alle Knoten miteinander verbunden sind. Daraus ergeben sich Netzwerke mit hoher Komplexitätsreduktion der Datenmengen. Diese lassen sich gut mit graphentheoretischen Maßen und Netzwerkstatistiken (auch im zeitdynamischen Kontext) analysieren und visualisieren.

### Netzwerkmodellierung der DAX-Aktien

Im Folgenden anschaulichen Beispiel sollen die  $n=30$  Aktien des DAX als Netzwerkknoten dargestellt werden. Die Kanten stehen für die Abhängigkeiten auf der Basis der paarweisen Korrelation der Renditezeitreihen der Aktien. Der Netzwerkalgorithmus basiert auf einer Distanzmetrik zwischen den Zeitreihen, die man durch Transformation der Korrelationsmatrix erreicht: Wenn die Korrelation 1 ist (perfekter linearer Zusammenhang) resultiert daraus eine Distanz von 0. Aus der Transformation ergibt sich eine Matrix mit  $n*(n-1)/2 = 435$  unterschiedlichen Einträgen. Der Netzwerkfilter reduziert diese Datenmengen nun auf  $n-1 = 29$  Distanzen, so dass das fundamentale Rückgrat der Abhängigkeiten herausgearbeitet wird. Diese Art der Filterung ist relativ stark (es gibt selbstverständlich auch weniger extreme Formen der Filterung). Es existiert eine Vielzahl

möglicher Spann bäume, aber der so genannte „minimale Spannbaum“ ist derjenige, bei dem die Summe aller Kantengewichte minimal ist. Da die Kantengewichte aus Distanzen bestehen, ist der minimale Spannbaum also derjenige mit den höchsten Korrelationen. Folgender Algorithmus fasst diese Filterung zusammen:

1. Messe die paarweisen Distanzen aller Zeitreihen (etwa auf der Basis von Korrelationen).
2. Erstelle eine geordnete Liste aller paarweisen Distanzen (in aufsteigender Reihenfolge).
3. Wähle das erste Element der Liste und füge eine gewichtete Kante hinzu.
4. Wähle das nächste Elemente der Liste und füge eine gewichtete Kante hinzu. Ergibt sich ein Kantenzyklus, so eliminiere die letzte Kante wieder.
5. Iteriere den Prozess aus Schritt 4, bis die Liste der Distanzen aufgebraucht ist.

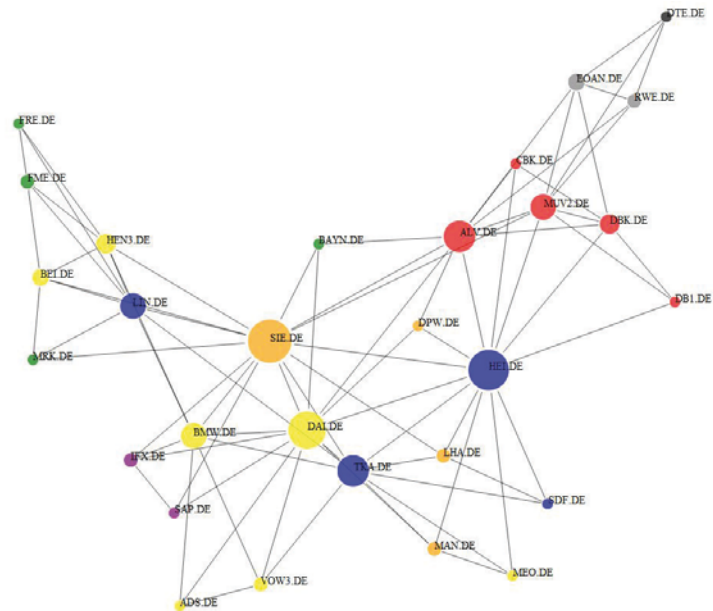
Das Ergebnis dieses Prozesses ist das in **► Abb. 01** gefilterte Korrelationsnetzwerk des DAX.

Einzelne Branchen und Industrien haben ihre eigene Knotenform und Farbe. Man kann erkennen, dass sich die Branchen automatisch in bestimmten Regionen formieren. Es kommt auf die Kantengrade der einzelnen Aktien an sowie auf die Länge der Kanten, die gemäß der Korrelation skalieren. Die Verteilung der Kantengrade folgt oft einer Paretoverteilung, so dass relativ wenige Knoten eine Vielzahl an Kanten haben. Bereits hier werden die empirischen Vorzüge der Netzwerke sichtbar, denn in der Natur und der Ökonomie stößt man immer wieder auf diese Art der Zusammenhänge. Im dynamischen Zeitablauf findet man oft Schwergewichte wie Deutsche Bank, Allianz, Daimler und Siemens im

Zentrum des DAX-Netzwerkes. Allerdings kann auch beobachtet werden, dass die deutschen Banken seit Krisenbeginn immer weniger netzwerkzentral sind: Früher schienen sie eher die klassische Rolle der zentralen Kreditvergabe an die anderen Branchen eingenommen zu haben, heute sind dagegen deutliche Marktverwerfungen und Änderungen von Geschäftsmodellen beobachtbar, die dazu geführt haben, dass die Banken eine weniger zentrale Rolle im DAX-Netzwerk spielen. Das Netzwerkzentrum wird dabei metrisch bestimmt, denn die Netzwerktopologie bietet die Messung lokaler und globaler Netzwerkzentralität. Ein Beispiel ist der von Suchmaschinen bekannte Page-Rank-Algorithmus: Ein Knoten ist netzwerkzentral, wenn er mit anderen Knoten verbunden ist, die wiederum mit vielen anderen stark verbundenen Knoten verbunden sind. Bildet man die durchschnittliche Konnektivität eines einzelnen Netzwerkes und berechnet dieses Maß auch für alle anderen Netzwerke im Zeitablauf, so ergibt sich eine Näherung

### Minimaler Spannbaum des DAX gewonnen aus Marktpreisen

► Abb. 01



Visualisierung mit FNA ([www.fna.fi](http://www.fna.fi))

für den Diversifikations- bzw. Konzentrationsgrad der einzelnen Marktphasen. Stressphasen sind oft daran zu erkennen, dass weite Marktbereiche stark konzentriert sind, dass es aber auch stark separierte Cluster gibt, die sich von der Krise entkoppelt haben. Somit kann die Aussage einer Korrelation im Markt von 1 nunmehr differenziert im Netzwerk analysiert und genauer quantifiziert werden. Die Netzwerke und sich ergebende Cluster können im Zeitablauf als „Film“ dargestellt werden, um die konkrete Krisendynamiken eines Marktes zu analysieren und Maßnahmen abzuleiten. An dieser Stelle wird bereits deutlich, welchen Zugewinn die Netzwerke im Diversifikationsprozess, in der Risikokonzentrationsanalyse, der Assetallokation und im Stresstesting bieten.

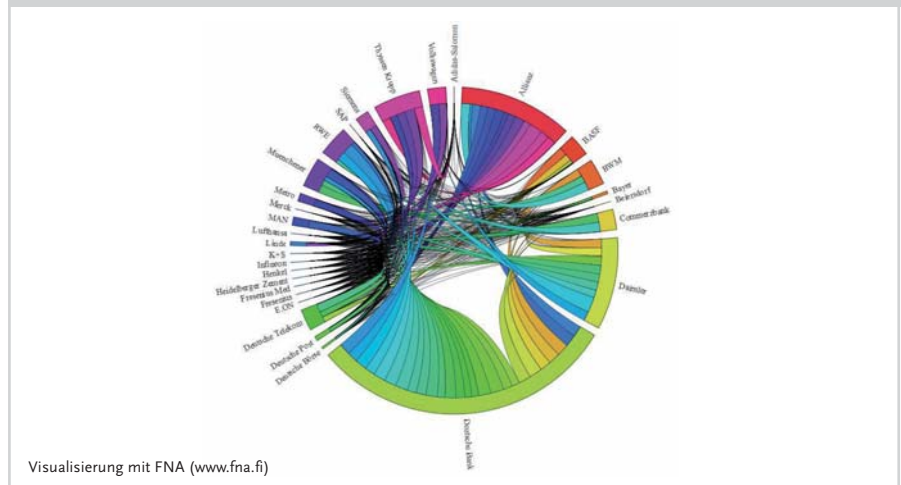
### Einflussnetzwerke

Eine ganz andere Informationsbasis bieten die Einflussnetzwerke. Sie basieren auf partiellen Korrelationen, die messen, wie eine dritte Variable die Korrelation zwischen zwei Variablen beeinflusst. Daraus werden gerichtete Graphen abgeleitet, welche die Einflüsse innerhalb eines Marktsystems darstellen. ► **Abb. 02** zeigt ein solches Einflussnetzwerk einer Vorkrisenperiode des DAX. Es wird der Einfluss der Finanzwerte Deutsche Bank und Allianz sichtbar, denn Aktien mit großem Einfluss belegen einen großen Teil des äußeren Kreises dieses Diagramms. Aktie A beeinflusst Aktie B umso stärker, je dicker das von A ausgehenden Band zu Aktie B ist. Kreisanteile und Bandbreiten können in die ser Visualisierung im Zeitablauf variieren und somit ergeben sich „Filme“ der Einflussänderung im Zeitablauf. Auch diese Netzwerkkategorie kann mit umfangreichen Netzwerkstatistiken dynamisch und automatisiert ausgewertet werden, um sie beispielsweise an ein Handels- oder Risikomanagementsystem anzuschließen. Nach diesem mathematisch-statistischem Einstieg widmen sich die folgenden Abschnitte nun konkreten Anwendungen.

### Risikokonzentrationsmessung und Stresstesting

Ziel ist die Analyse eines globalen Portfolios mit verschiedenen Länder- und Branchenengagements. Dies kann etwa alle marktbasieren Positionen des Depot A oder alle Kreditinstrumente einer Bank

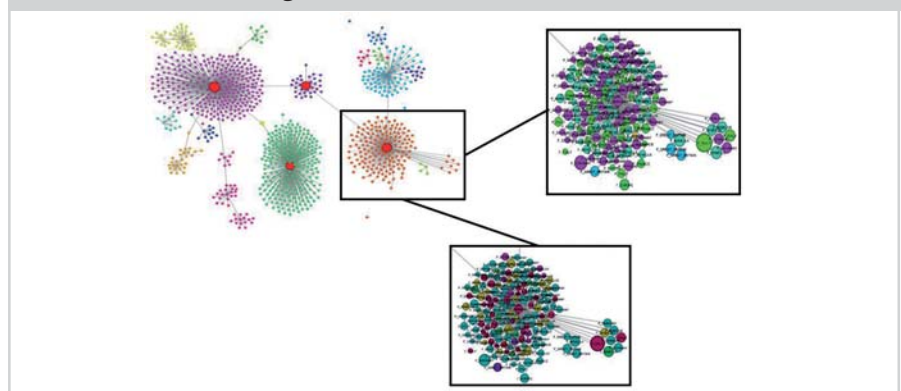
#### Einflussnetzwerk des DAX-Systems gewonnen aus partiellen Korrelationen

► **Abb. 02**

umfassen. Eine Fondsgesellschaft kann damit beispielsweise alle Instrumente des Anlageuniversums integriert analysieren. Im ersten Schritt wird eine übergreifende Matrix aus den Markt- bzw. Assetkorrelationen geschätzt. Für Kreditportfolios kann dies eine Unternehmenswert- oder Ausfallkorrelationsmatrix bzw. eine Korrelationsmatrix von CDS-Spreads sein. ► **Abb. 03** zeigt ein Beispielportfolio mit mehreren hundert Positionen. Durch einen Algorithmus werden die Netzwerkcluster automatisch gefunden und mit verschiedenen Farben codiert. Ein Cluster stellt einen hochkorrelierten Bereich des Portfolios da, dem offensichtlich ein fundamentaler empirischer Risikotreiber zugrunde liegt. Eines dieser Cluster wird nun näher analysiert (siehe sie beiden Kästen unten in der ► **Abb. 03**, indem man die beteiligten Branchen bzw. Herkunftsländer der Positionen einfärbt. Aus der Menge mehrerer dutzend möglicher Länder und Branchen weist dieses Beispielcluster aber nur we-

nige Länder und Branchen auf, die somit einen kombinierten Risikotreiber darstellen, den man mit herkömmlichen Analysen (beispielsweise nur auf der Länder- oder Branchendimension) nicht gefunden hätte. Herkömmliche Dimensionen der Risikoanalyse werden also durch eine gleichberechtigte neue Dimension ergänzt, die zudem einen besonderen Wert hat, da sie ohne Vorklassifizierung oder Annahmen rein datengetrieben in kurzer Zeit ermittelt wurde. Jeder Netzwerkknoten bzw. jede Position kann nun noch mit weiteren Eigenschaften belegt werden wie etwa einer auf dem internen Modell basierenden Risiko-, Performance- bzw. Ertragsschätzung. Im Risikobereich von Banken können dies beispielsweise ökonomische Credit-Value-at-Risk-Maße bzw. aufsichtsrechtliche risikogewichtete Aktiva (RWA) auf Positionsebene sein. In der Visualisierung wird dies durch die Knotendicke, -breite oder -höhe repräsentiert. Zusätzlich können bei Kreditportfolios noch

#### Einführung neuer Dimensionen der Risiko- und Performancemessung in Form von Netzwerkclustern

► **Abb. 03**

die Verbundstrukturen berücksichtigt und durch den Netzwerkansatz auch validiert werden. Nun stehen alle Instrumente zur Verfügung, um folgende neue Analysen zu durchzuführen:

1. Quantifizierung der Summe aller Einzelrisiken und -erträge pro Cluster sowie Verteilung dieser Größen über alle Cluster (die Risiken und Erträge sollten im Idealfall gleichmäßig über die Cluster verteilt sein).
2. Identifikation, in welchem Cluster sich die meisten Krisenpapiere (etwa mit den Herkunftsländern Griechenland, Spanien, Italien) befinden. In diesem Cluster können sich auch noch Positionen anderer Länder befinden, die von Krisen ebenfalls indirekt betroffen wären, die man aber mit herkömmlichen Verfahren so schnell nicht entdeckt hätte.
3. Über besonders netzwerkzentrale Knoten werden Korrelations- und Ausfallschocks vollzogen und man ist gut beraten, diese (wenn möglich) aus dem Portfolio zu nehmen. Mit dieser Methode können ganze Kaskaden des Schockverhaltens identifiziert werden.
4. Ein weiterer Aspekt ist die Dynamik, denn es können Netzwerke zu verschiedenen Zeitpunkten im Konjunkturzyklus erstellt werden. Mit Netzwerkstatistiken lassen sich die Evolution der Korrelationscluster herausarbeiten und neuartige, sehr informative Stresstests erstellen. Zudem kann wie in einer Galaxie untersucht werden, ob Cluster zusammenfallen oder neu entstehen bzw. welche Cluster auch in Krisenzeiten relativ autonom sind.

Alternativ kann diese Analyse auch für sämtliche Assets eines Instituts ausgelegt werden (Assetallokation, Treasury- bzw. Gesamtbanksteuerung). Hierbei wird eine in der Praxis übliche Projektion der Assets auf Kapitalmarktbenchmarks vorgenommen und anschließend eine Optimierung der Assetstruktur unter Berücksichtigung der Risikotragfähigkeit, des Treasuryvermögens sowie von Umschichtungsrestriktionen vorgenommen. Diese Ansätze der Assetallokation basieren oft auf einem Markowitz-Diversifikationsmodell mit den bekannten empirischen und operativen Schwächen. Der Netzwerkansatz kann diese Schwächen in einem simplen Multiziel-Optimierungsprogramm ausgleichen, indem die Netzwerkstruktur zur Diversifikation genutzt wird. Dies funktioniert wie folgt:

- Anhand der Assetkorrelationen wird ein Netzwerk erstellt und die Gewichte pro Assetklasse werden so im Netzwerk positioniert, dass sie gleichmäßig über die äußeren Netzwerkäste verteilt werden. Damit wird eine neue Qualität der Diversifikation erreicht.
- Während dieses Diversifikationsprozesses werden gleichzeitig diejenigen Assets übergewichtet, die ein gutes Chance/Risiko-Profil aufweisen. Zudem werden Nebenbedingungen wie Risikotragfähigkeit und Umschichtungsrestriktionen berücksichtigt.

Damit erhält man ein transparentes, wohldiversifiziertes und effektives Verfahren zur Assetallokation. Die Markowitz-Optimierung (oder andere Gewichtungsmethoden) können als Ausgangsbasis für die Netzwerkoptimierung genutzt werden, um dann heuristisch zu einer Lösung vorzudringen, die ein besseres Chance-/Risiko-Profil sowie eine verbesserte Diversifikation aufweist. Dieses Verfahren eignet sich übrigens auch zur Konstruktion beliebiger Portfolios, beispielsweise eben auch im Bereich des Investment- und Fondsmanagements.

### Stilanalyse von Investments

Investmentgesellschaften sehen sich oft dem Problem ausgesetzt, dass sie Investitionsentscheidung aufgrund der kostenintensiven Informationsbeschaffung und der hohen Zahl an Investitionsmöglichkeiten nicht optimal treffen können. Beispielsweise ist oft nur bekannt, welchen Investmentstil ein Fonds oder Manager verfolgt und welcher Trackrecord in Form von historischen Renditen erzielt wurde. Zieht man nun die Renditezeitreihen ähnlicher Investments sowie von Repräsentanten weiterer Investmentstile, Assetklassen und Risikoprämien hinzu, so können sich im Rahmen der Netzwerkanalyse erstaunliche Ergebnisse gewinnen lassen. Im Netzwerkergebnis würde man zunächst folgendes erwarten:

1. Die Knoten der verschiedenen Investments sollten sich in Netzwerkclustern gruppieren, die ihrem Investmentstil und ihren Risikofaktoren entsprechen
2. Jeder Fonds bzw. jedes Investment sollte ausschließlich über Kanten zu denjenigen Repräsentanten verfügen, von denen sie abhängen und ihre Risikoprämien erzielen.

Abweichungen von diesem erwarteten Zielbild stellen wertvolle Signale dar:

1. Befinden sich Investments im „falschen“ Cluster, so handelt es sich um einen Stil-Drift und das Performance-/Risiko-Profil befindet sich im Missverhältnis.
2. Das Investment wird durch andere als die erwarteten Assets beeinflusst und hat eine Neigung zu anderen Risikoprämien als den ursprünglich angenommenen.

Somit kann insbesondere untersucht werden, ob bestimmte Fondsgebühren gerechtfertigt sind. Mit diesem Verfahren können auch die Fonds und Handelsstrategien der hauseigenen Plattform und deren Kostenstruktur analysiert werden. Dies unterstützt das Fondscontrolling sowie das bessere Verständnis der eigenen Produktpalette.

### Neue Investmentkonzepte und Handelsstrategien

Die vorgestellten Netzwerkansätze haben viele weitere Anwendungsmöglichkeiten, von denen im Folgenden noch einige kurz vorgestellt werden:

- Viele neue Ansätze der Portfoliokonstruktion versuchen, eine gleichmäßige Diversifikation der Risiken vorzunehmen (Risk Parity, Risk Diversification). Wenn die Portfoliogewichte im bildlichen Sinne gleichmäßig über alle Äste verteilt und in deren Spitzen verschoben werden, erhält man auf diese Weise einen Diversifikationseffekt. Der Allokationsprozess erfolgt automatisch auf der Basis von Metriken, welche die Netzwerktopologien und weitere Nebenbedingungen wie gute Chance-/Risiko-Profile berücksichtigen. Dieser Ansatz lässt sich noch auf die Spitze treiben, wenn das Netzwerk auf Distanzmaßen aufbaut, die explizit die Extremrisiken der Assets berücksichtigen. Die Qualität dieser Netzwerkdiversifikation ist kaum durch andere Methoden zu erreichen. Damit lässt sich ein Portfolio guter Handelsstrategien entwickeln, die sich alle möglichst wenig gegenseitig beeinflussen. Somit wird das Portfolio gegen koordinierte Extremverluste abgesichert, welche die negative Performance von Dekanden bestimmen kann.
- Netzwerke bieten Unterstützung bei der Realisation von gehebelten derivativen Handelsstrategien, etwa im Bereich der Global-Macro-Strategien. Beispielsweise können mehrere Assetklassen und Märkte in einem Netzwerk dargestellt

werden. Bei weitreichenden Ereignissen (etwa Liquiditätsoperationen der EZB) kann die Marktdynamik im Netzwerk nachvollzogen werden, woraufhin sich entscheidet, welche Märkte über- bzw. untergewichtet werden sollen (oder auch in welchen Märkten long- bzw. short-Strategien sinnvoll sind). Diese Maßnahmen können gehebelt werden, wobei das Netzwerk das enge Nachbarschaftsverhältnis der Assets/Märkte liefert und somit eine preisgünstige derivative Umsetzung der Hebelung realisierbar wird.

- Analysiert man bestimmte Märkte im Zeitablauf, so liefert die Netzwerkstatik Aussagen darüber, welche Untergruppen von Assets sehr oft miteinander verwoben und hochkorreliert sind. Abweichungen davon liefern ein Handelssignal, so dass von der wahrscheinlich wieder zunehmenden Verwobenheit dieser Untergruppe profitiert werden kann. Zudem lassen sich Zusammenbrüche der Korrelationsverhältnisse zeitnah identifizieren und damit konkrete Han-

delszeitpunkte für diese Strukturänderung festlegen. □

### Fazit

Die oben dargestellten Beispiele zeigen, dass die Möglichkeiten der Netzwerkansätze noch lange nicht erschöpft sind und dass sie bereits heute zu den besten Modellierungswerkzeugen für robuste Modelle in der Risikomanagement- und Investmentpraxis gehören. Weitere Anwendungsbeispiele, Hintergrundinformationen und Literaturangaben sind beispielsweise unter [www.firamis.de](http://www.firamis.de) und [www.fna.fi](http://www.fna.fi) zu finden.

### Quellenverzeichnis sowie weiterführende Literaturhinweise:

**Buttler/Papenbrock (2007):** Analyse von Konzentrationsrisiken und Nutzung synthetischer CDOs zur Portfoliosteuerung, in: *RISIKO MANAGER* 10/2007.

**Buttler/Papenbrock (2009):** Risikodiversifikation als Steuerungsziel, in: *Die Bank* 04/2009, S. 54 ff.

**EZB (2010):** Reflections on the nature of monetary policy non-standard measures and finance theory, speech by Jean-

Claude Trichet, President of the ECB, Opening address at the ECB Central Banking Conference, Frankfurt, 18. November 2010, elektronisch veröffentlicht unter: <http://www.ecb.int/press/key/date/2010/html/sp101118.en.html>

**Gleißner/Papenbrock (2012):** Extremrisiken und unvorhersehbare Ereignisse, in: *RISIKO MANAGER* 5/2012.

**Papenbrock/Rachev/Höchstätter/Fabozzi (2009):** Price Calibration and Hedging of Correlation Dependent Credit Derivatives using a Structural Model with Alpha-Stable Distributions, in: *Applied Financial Economics*, Volume 19, Issue 17 (September 2009), pages 1401 – 1416.

**Mantegna (1999):** Hierarchical structure in financial markets, in: *The European Physical Journal B.*, Vol 11 (1999), S. 193–197.

**Schmielewski (2011):** Messung und Steuerung der Liquiditätsrisiken in Publikums- und Spezialfonds, in: *RISIKO MANAGER* 5/2011.

**Schmielewski (2012):** Schwarze Schwäne, Antifragilität und Portfoliooptimierung: Black Swans in a White Box!, in: *RISIKO MANAGER* 20/2012.

### Autor:

**Dr. Jochen Papenbrock** ist Managing Consultant bei der PPI AG. Zudem betreibt er den Think Tank Firamis – Financial Risk and Asset Management with Intelligent Systems, Oberursel.