

# **Energieversorgung als Sektor Kritischer Infrastrukturen**

**Eine Darstellung mit dem Consideo Modeler**

**Dr. Friedmar Fischer**

**Karlsruher Institut für Technologie  
(K.I.T.)  
Institut für Kern- und Energietechnik  
(IKET)  
Campus Nord**

**April 2011**

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	2
Vorwort .....	3
1 Einleitung.....	6
2 Problemdefinition und -beschreibung.....	8
3 Vorgehensweisen .....	12
3.1 Modell-Faktoren und ihre Abhängigkeiten .....	12
3.2 Bewertung von Modell-Faktoren .....	20
3.3 Rückkopplungen.....	23
4 Qualitative Analysen, Handlungsperspektiven .....	25
4.1 Erkenntnis-Matrix .....	25
4.2 Ursache- und Wirkungsketten .....	30
4.3 Bemerkungen zur qualitativen Modellierung.....	33
5 Quantitative Modellierung, Simulation.....	35
5.1 Anpassung des qualitativen Modells .....	36
5.1.1 Bestandsfaktor(en) .....	36
5.1.2 Faktoren und deren Quantifizierung .....	40
5.1.3 Zeitverzögerungen.....	41
5.1.4 Input- Faktoren .....	43
5.2 Simulation .....	44
5.2.1 Annahmen der Simulation.....	45
5.2.2 Annahmen der Szenarios.....	46
5.2.3 Eingabe-Manipulatoren Simulations-Cockpit.....	46
5.2.4 Analyse der Ergebnisse im Simulations-Cockpit .....	50
Anhang .....	53
Anhang 1: Nullstellenbildung.....	54
Anhang 2: Verzögerungen im quantitativen Modell .....	56
Anhang 3: Darstellung anderer KI - Sektoren .....	58
Abbildungsverzeichnis.....	65
Tabellenverzeichnis .....	66
Quellenverzeichnis .....	67

# Vorwort

Technische Systeme, Wirtschafts-Systeme, wie auch ökologische Systeme neigen dazu, bei erhöhten Anforderungen anfälliger zu sein, d.h. mit gesteigerter Funktionsvielfalt (und damit einher gehender verstärkter Komplexität) ist nicht unbedingt auch eine höhere Belastbarkeit oder eine Vorhersehbarkeit von Störungen verbunden. Hohe technische Standards bringen einerseits vermeintliche Effektivitäts-Steigerungen, andererseits verstellen sie den Blick auf das Verhalten des Gesamtsystems in seiner komplexen Vielfalt und Abhängigkeit von inneren und äußeren (d.h. nicht vorhersehbaren, nicht beeinflussbaren) Bedingungen. Dabei wird häufig unterschätzt, dass Menschen in schwierigen Entscheidungssituationen und unter Stress fatale Fehleinschätzungen und –entscheidungen treffen, die katastrophale Folgen für Mensch und Umwelt haben können. Das zeigen die Ereignisse vom 26. April 1986 in Tschernobyl.

Die Naturereignisse in Japan im März 2011 und die daraus folgende Kernkraftwerk-Katastrophe in Fukushima haben eine beklemmende Realität aufgezeigt: **Die hochgradige Gefährdung unserer Lebensbedingungen durch das ausserordentliche und fatale Zusammenwirken von Naturereignissen und komplexer Technik.**

Experten warnen aktuell jedoch davor, die Auswirkungen von Fukushima zu dramatisieren. Wirklich vergleichbar sind die beiden Katastrophen nicht. Sie unterscheiden sich in der Art des Störfalls, der technischen Anlagenunterschiede, der Gegenmaßnahmen. Sicher ist aber, dass es bei einem hochtechnischen Prozess wie der Erzeugung von Kernenergie durch Verkettung von Ereignissen zu Situationen kommen kann, die weder vorhersehbar von absolut von der Technik oder vom Menschen beherrschbar sind. Die erwähnten realen Ereignisse zeigen sehr deutlich die hochgradige Vernetzung von lebenswichtigen Kritischen Infrastrukturen. Der Schutz Kritischer Infrastrukturen hat durch die aktuellen Katastrophen eine hohe Dringlichkeit bekommen.

Es ist nahezu unmöglich, die zahlreichen Einflussfaktoren, Abhängigkeiten und Vernetzungen wichtiger Kritischer Infrastrukturbereiche unseres Zusammenlebens korrekt zu erfassen, geschweige denn abschließend zu bewerten. Kritische Infrastrukturen wie z.B. das Gesundheitswesen, Telekommunikation/IT, das Verkehrswesen, das Versorgungswesen (Lebensmittel, Wasser, Energie) usw. sind untereinander vernetzt und sehr empfindlich in Bezug auf Störungen des Gleichgewichts. Gegebenenfalls bedingen die zahlreichen Abhängigkeiten sogar Dominoeffekte für den Ausfall bisher unberührter Infrastrukturbereiche.

Die vorliegende Arbeit versucht, sich unabhängig von den erwähnten realen Geschehnissen, einen Zugang zu den Struktureigenschaften Kritischer Infrastrukturen, der Visualisierung dieser Strukturen und deren Simulation zu verschaffen oder anders ausgedrückt, komplexe infrastrukturelle Sachverhalte sollen aufgelöst, in überschaubarere Strukturen aufgegliedert werden, Eigenschaften der Strukturen beschrieben werden. Dazu kann man das Know How aus den verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen nutzen: Wirtschafts- und Management-Bereiche, Mathematik/Informatik, Psychologie usw.

Einen gewissen Überblick über ältere und neuere internationale wissenschaftliche Arbeiten zum Schutz kritischer Infrastrukturen geben die Berichte [Ref. 1] bis [Ref. 9].

Bereits in einer früheren Arbeit [Ref. 2] wurde anhand von zwei ausgewählten praktischen Beispielen Kritischer Infrastrukturen (die Funktionssicherheit der Stromversorgung in einem Krankenhaus und die Versorgungssicherheit der Treibstoffversorgung) gezeigt, wie man die komplexen Zusammenhänge dieser Teilstrukturen fassbar abbilden kann.

In der Arbeit [Ref. 3] wurden die kritischen Infrastrukturen mit ihren inhärenten Abhängigkeiten das eine Mal ausführlich, das andere Mal kompakt visualisiert. Gegenseitige Beeinflussung bzw. Einflussnahme konnte so sichtbar gemacht werden. Dazu wurde als Werkzeug ein Verfahren zur Visualisierung des vernetzten Denkens, die GAMMA-Methode (**GA**nzheitliche **MO**dellierung und **MA**nagement komplexer Systeme [Ref. 8]), benutzt. GAMMA verwendet den Ansatz von Prof. Vester, der in [Ref. 9] beschrieben ist.

Die vorliegende Arbeit wählt einen etwas anderen Ansatz zur Behandlung und Visualisierung vernetzter Strukturen als die rein qualitative GAMMA-Methode. Der modernere Ansatz - umgesetzt in der Software des Consideo Modelers ([Ref. 10], [Ref. 11], [Ref. 12])<sup>1</sup> - ist intuitiv, leicht zu nutzen und gestattet bei Vorliegen von Daten zudem eine quantitative Modellierung, sowie eine Beobachtung des Verhaltens des Modells im zeitlichen Ablauf (System Dynamics).

Conny Dethloff [

Ref. 13] stellt die Unterschiede des Ansatzes von Vester (umgesetzt in der GAMMA Software) und der Consideo Software bei der Analyse von Ursache-/Wirkungsbeziehungen heraus

#### **Ansatz Vester:**

- Das Gesamtsystem steht immer im Fokus und muss als erstes komplett beschrieben sein. Es sind dadurch keine konkreten Fragestellungen zu beantworten. Es wird nur aufgezeigt, welche Faktoren im Gesamtsystem aktiv sind.
- Mögliche Gewichtung der Verbindung: 0 – kein, 1 – schwacher, 2 – mittlerer, 3 – starker Einfluss.
- Absolute Betrachtung der Gewichtung: Wenn die Faktoren A und B auf C wirken, wird für die Bestimmung der Intensität der Verbindung von A auf C nicht die Verbindung von B auf C berücksichtigt.
- Es werden Aktiv-/Passivsummen betrachtet: Aktivsumme von Faktor A zeigt die Summe aller Einflüsse von A auf andere Faktoren an; Passivsumme von Faktor A zeigt die Summe aller Einflüsse von anderen Faktoren auf Faktor A an.

---

<sup>1</sup> Mit Hilfe des Consideo Process und BI - Modelers lassen sich auch **Prozesse** einfach steuern. Der MODELER bildet den gesamten Prozess oder ein Projekt ab, erfasst die wichtigsten Schritte dabei und macht die versteckten Hindernisse und Schwierigkeiten sichtbar. Die Auswirkungen von beliebigen Einflüssen auf Prozesse können quantitativ untersucht werden. Neue Faktortypen erlauben eine schnelle Beschreibung von Prozessschritten. Bereits mit ein paar Klicks können Prozessläufe und die Ressourcenauslastung visualisiert und simuliert werden (Kritische Ketten, Flaschenhals-Untersuchungen).

## Ansatz Consideo:

- Eine konkrete Fragestellung oder Zielsetzung steht im Fokus. Allerdings lässt sich das Gesamtsystem in Form eines Faktors in die Mitte stellen, welcher dann gleich gewichtet mit allen anderen Faktoren verbunden wird.
- Mögliche Gewichtung der Verbindung: 0% bis 100%.
- Relative Betrachtung der Gewichtung: Wenn die Faktoren A und B auf C wirken, wird für die Bestimmung der Intensität der Verbindung von A auf C die Verbindung von B auf C berücksichtigt.
- Es werden nur Passivsummen betrachtet, allerdings mit einem anderen Fokus. Eine Passivsumme=100 auf Faktor A bedeutet, alle Faktoren die A beeinflussen sind im Modell enthalten; bei einer Passivsumme<100 sind einige exogene Faktoren nicht enthalten.

Visualisierte Darstellungen von Ursache-/Wirkungsgefügen der Systeme kritischer Infrastrukturen können nur ein helfendes Werkzeug und eine Anregung sein, Komplexität sichtbar und durchschaubar zu machen. Die Darstellung und die Schlußfolgerungsmöglichkeiten sind nur so gut, wie die notwendige Einbringung von Expertenwissen und die Diskussion im Team über Einflussgrößen und deren Abhängigkeiten erfolgt sind.

Visualisierungsverfahren können jedoch dabei helfen, bei der Analyse komplexer Systeme nicht Wesentliches außer Acht zu lassen.

Die ersten Projektarbeiten [Ref. 1], [Ref. 2], [Ref. 3] entstanden im Rahmen des Projekts **SIMKRIT**: „Simulation Kritischer Infrastrukturen für das Krisenmanagement“ am Karlsruher Institut für Technologie (K.I.T.).

Der nun vorgelegte Bericht entstand im Rahmen des aktuellen Projekts **KRITISKONZ**, das sich die *„Entwicklung eines ebenen- (z.B. untere Katastrophenschutzbehörde – Bundesministerium) und skalenübergreifenden (z.B. Stadt – ganzes Land) Entscheidungsunterstützungssystems mit dem Schwerpunkten Kritische Infrastrukturen, ihrer Abhängigkeiten, Auswirkungen von Ausfällen auf andere Kritische Infrastrukturen, die Bevölkerung und die Ökonomie und welche Maßnahmen diese Auswirkungen minimieren“* zur Aufgabe gestellt hat.

Es gibt bei **KRITISKONZ** die Zusammenarbeit der K.I.T. Institute IKET (Institut für Kern- und Energietechnik) und IIP (Institut für Industrielle Produktion), sowie des Geophysikalischen Instituts des K.I.T. (CEDIM: [Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology](#))

Die systemische Behandlung vernetzter Kritischer Infrastrukturen mit Hilfe des Consideo Modelers wird am Beispiel des Schlüssel-Sektors „Energieversorgung“ gezeigt. Die Zusammenschau mit anderen wichtigen Infrastruktur-Sektoren bleibt einem weiteren Bericht vorbehalten.

# 1 Einleitung

Es ist wünschenswert, komplexe Ursachen-/Wirkungsgefüge von Kritischen Infrastrukturen besser zu verstehen. Dazu wird in diesem Bericht der wichtige Teilsektor „Energieversorgung“ der Kritischen Infrastrukturen aus dem Bereich der acht zentralen Kritischen Infrastruktursektoren (Energie, Versorgung, Transport/Verkehr, Behörden/Verwaltung, Sonstiges, Finanzen/Geld/Versicherungen, Gefahrstoffe, TK/IT) als Beispiel herangezogen und die Funktionsfähigkeit/Verfügbarkeit der Energieversorgung in Abhängigkeit von bestimmten Einflussfaktoren untersucht.

Dazu wird ein moderner systemischer Ansatz verwendet - umgesetzt in der Software des Consideo Modelers -. Das Tool ist intuitiv, leicht zu nutzen und gestattet bei Vorliegen von Daten zudem eine quantitative Modellierung, sowie eine Beobachtung des Verhaltens des Modells im zeitlichen Ablauf (System Dynamics).

In Kapitel 2 wird das Problem beschrieben, Ziele werden aufgestellt, ein Zeithorizont zur Betrachtung angegeben und die Systemgrenzen dargelegt.

In Kapitel 3 wird dargelegt, wie man eine komplexe vernetzte Systemstruktur beschreiben kann.

Kapitel 3.1 beschreibt die Modellfaktoren und skizziert die Abhängigkeiten untereinander. Zur Übersichtlichkeit trägt dazu die Aufgliederung in **Submodelle** bei. Kapitel 3.2 erläutert, wie man die Abhängigkeiten der Faktoren gewichtet (**Gewichtungsmatrix**) und welche Schlüsse man daraus ziehen kann. Kapitel 3.3 erwähnt die Bedeutung von **Rückkopplungs-Schleifen** (verstärkend oder ausgleichend) auf das zeitliche Verhalten des Gesamtsystems.

In Kapitel 4 werden in qualitativen Analysen Handlungsperspektive aufgezeigt.

Dabei bedient man sich in Kapitel 4.1 der **Erkenntnis-Matrix**, die für jeden Faktor aufzeigt, wie dieser Faktor durch andere Faktoren beeinflusst wird und wie sich dieser Einfluss aufgrund von Wirkungsschleifen mit der Zeit verändert. Aus der Erkenntnis-Matrix, so [Ref. 14], lassen sich u.a. die stärksten Hebel zur Beeinflussung des gewählten Faktore erkennen, die zeitlich nachhaltigen Elemente zur Stabilisierung des Systems sowie drohende Risiken ermitteln. Hat man die wichtigsten Hebel zur Veränderung des Modellsystems mittels der genannten Matrix ermittelt, werden in Kapitel 4.2 Ursache-/ und Wirkungsketten beschrieben. Die **Ursachenkette** eines Hebel-Faktors beschreibt, wie dieser Faktor direkt oder indirekt beeinflusst wird. Entsprechend beschreibt die **Wirkungskette** eines Faktors, welche direkten oder indirekten Einflüsse er auf andere Faktoren hat. Kapitel 4.3 fasst die Vorgehensweise der vorigen Abschnitte zusammen

In Kapitel 5 wird der Übergang von einem qualitativen zu einem quantitativen Vorgehen erläutert. Wirkungen und Maßnahmen zur Veränderungen in einem System können ggf. besser in einem quantitativen Modell abgebildet werden, wenn Daten und Formeln die zeitliche Dynamik charakterisieren.

Wie man von einem qualitativen Modell aus den vorigen Kapiteln zu einem quantitativen und simulationsfähigen System Dynamics Modell gelangt, wird in Kapitel 5 beschrieben.

Dazu sind wenige Anpassungsschritte nötig, wie in Kapitel 5.1 dargelegt. Das Submodell „Funktionsfähigkeit der Energieversorgung“ wird ergänzt um einen Bestandsfaktor (siehe Kapitel 5.1.1). Die Faktoren des Modells werden einheitlich durch Indizes (Prozentangaben) mit einfachen Formeln quantitativ verknüpft, denn im vorliegenden Fall geht es um die Ermittlung von „Erfüllungsgraden“ (siehe Kapitel 5.1.2). Da in einem zeitlich dynamischen Modell auch die Reihenfolge des Ablaufs von Ereignissen in Wirkungsschleifen eine Rolle spielt, sind Zeitverzögerungen zu berücksichtigen (Kapitel 5.1.3) oder auch Input – Faktoren zu ergänzen (Kapitel 5.1.4).

Kapitel 5.2 beschäftigt sich mit der Simulation der quantitativen Beispiel – Netzstruktur. Dazu werden in Kapitel 5.2.1 einige grundlegende Annahmen getroffen. In Kapitel 5.2.2 werden Störfall-Szenarien charakterisiert und in 5.2.3 Eingabe – Manipulatoren für das Simulations-Cockpit aufgeführt. Kapitel 5.2.4 erläutert die Ergebnisse der Simulation.

Im Anhang werden abschließend Übersichten zur Nullstellenbildung eines Faktorbestands, zu Verzögerungsdaten im quantitativen Modell und zur Darstellung vernetzter Strukturen anderer Bereiche Kritischer Infrastrukturen gegeben.

Ausgehend von den acht wesentlichen Hauptsektoren Kritischer Strukturen könnte man so - Schritt für Schritt - auf systemische Weise die einzelnen Bereiche in ihrer komplexen Vernetzung und ihrem Zusammenspiel beobachten. Das wäre dann ein Gegenstand für weitere Untersuchungen.

## 2 Problemdefinition und -beschreibung

### Funktionsfähigkeit der Energieversorgung

#### Problembeschreibung:

Die Naturereignisse in Japan im März 2011 und die daraus folgende Kernkraftwerk-Katastrophe in Fukushima haben eine beklemmende Realität aufgezeigt:

Die hochgradige Gefährdung unserer Lebensbedingungen durch außerordentliches und fatales Zusammenwirken von Naturereignissen und komplexer Technik.

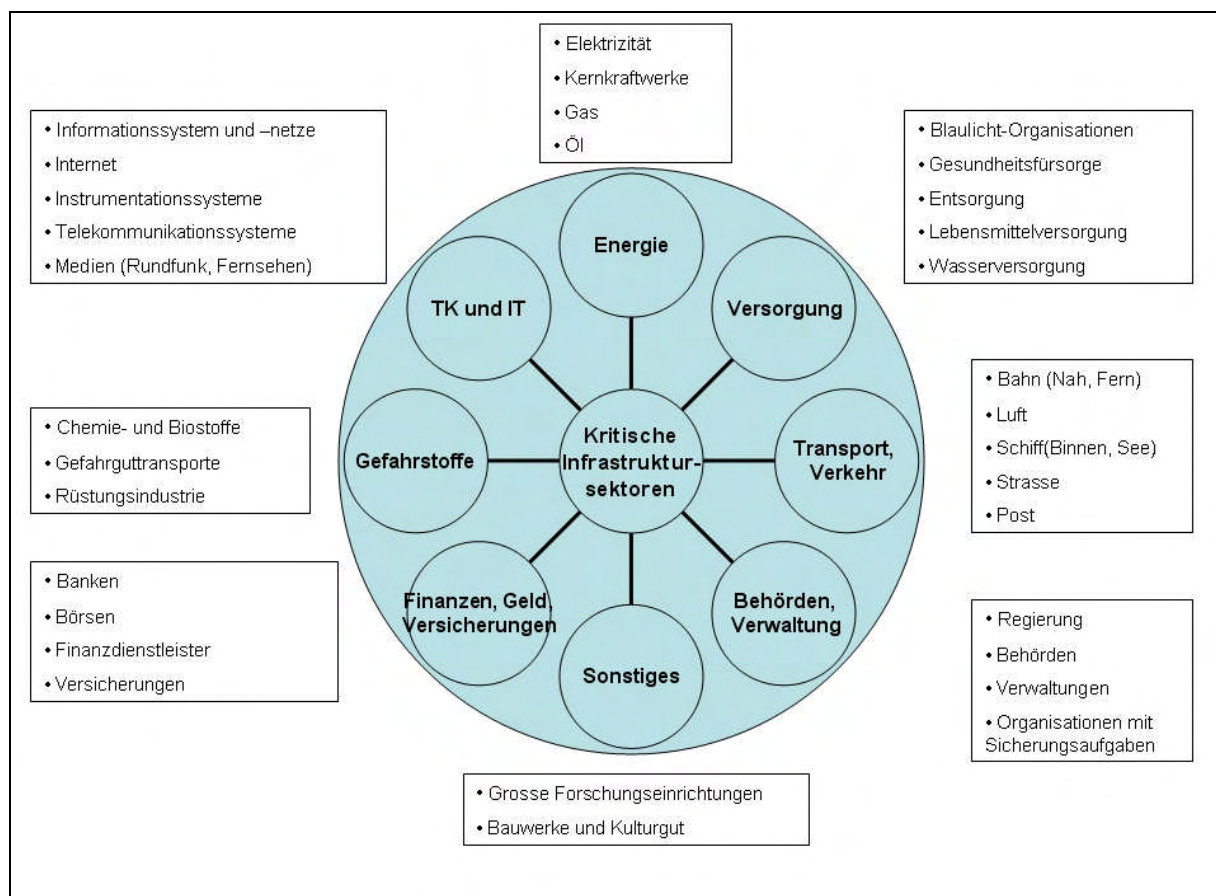


Abbildung 1: Die acht Infrastruktur-Sektoren in der Bundesrepublik

Es ist nahezu unmöglich, die zahlreichen Einflussfaktoren, Abhängigkeiten und Vernetzungen wichtiger Kritischer Infrastrukturbereiche unseres Zusammenlebens korrekt zu erfassen, geschweige denn abschließend zu bewerten. Kritische Infrastrukturen wie z.B. das Gesundheitswesen, Telekommunikation/IT, das Verkehrswesen, das Versorgungswesen (Lebensmittel, Wasser, Energie) usw. sind



untereinander vernetzt und sehr empfindlich in Bezug auf Störungen des Gleichgewichts. Gegebenenfalls bedingen die zahlreichen Abhängigkeiten sogar Dominoeffekte für den Ausfall bisher unberührter Infrastrukturbereiche.

Die **Energieversorgung** ist ein wichtiger Teil eines vernetzten Geflechts von Kritischen Infrastrukturen.

Zur Vertiefung (aktuelle Literatur):

- [http://bit.ly/Krisenhandbuch\\_Stromausfall](http://bit.ly/Krisenhandbuch_Stromausfall)
- [http://bit.ly/Verwundbarkeit\\_Kritischer\\_Infrastrukturen](http://bit.ly/Verwundbarkeit_Kritischer_Infrastrukturen)
- Studie: „Gefährdung und Verletzbarkeit moderner Gesellschaften – am Beispiel eines großräumigen Stromausfalls der Stromversorgung“, TAB-141, <http://www.tab-beim-bundestag.de/de/untersuchungen/u137.html>

### **Ziele:**

Es ist wünschenswert, die komplexen Wirkungsgefüge besser zu verstehen. Dazu wird der Teilsektor „Energieversorgung“ der Kritischen Infrastrukturen als Beispiel herangezogen und die Funktionsfähigkeit/Verfügbarkeit der Energieversorgung in Abhängigkeit von bestimmten Einflussfaktoren untersucht. In einer späteren separaten Betrachtung wird dann das Zusammenwirken der acht zentralen Kritischen Infrastruktursektoren (Energie, Versorgung, Transport/Verkehr, Behörden/Verwaltung, Sonstiges, Finanzen/Geld/Versicherungen, Gefahrstoffe, TK/IT) zu beleuchten sein. Aus der Verbindung von „harten“ (messbaren) Faktoren und „weichen“ qualitativen Faktoren wird erst ein qualitatives, später dann ein quantitatives Simulationsmodell erstellt zur Visualisierung der Komplexität des vernetzten Systems. Damit können Störfall-Szenarien durchgespielt werden.

### **Beobachtungszeitraum:**

Es wird ein Beobachtungszeitraum von 1440 Stunden (das entspricht zwei Monaten von je 30 Tagen) angenommen.

### **Systemgrenzen:**

Das vorliegende Beispiel folgt den Überlegungen in dem Bericht TR-7 aus [Ref. 15] und [Ref. 16].

*Nach [Ref. 15] wird das zu simulierende System durch Größen bestimmt und beschrieben, die relativ zu einem maximal möglichen Wert (zwischen 0 und 1, bzw. als Prozentwerte zwischen 0 und 100) definiert sind.*

*Das System befinde sich, so [Ref. 15] und [Ref. 16], im Normalfall im Gleichgewicht. Veränderungen treten auf, wenn Störungen von außen einwirken. In der Realität wirken immer Störungen, die aber laufend durch innere ausgleichende Regelungen und Steuermechanismen ausgeglichen werden. Dadurch wird das System stabil.*

*Nur außergewöhnliche Störungen vermögen instabile Zustände zu erzeugen, die aber auch wieder zu stabilen Zuständen führen sollten, wenn auch auf anderen Niveaus. Systemtheoretisch gesehen müsste daher eine Reihe von Wirkungsbeziehungen zu negativen Rückkopplungen führen.*

*Im gewählten System gibt es zahlreiche kurze und längere Schleifen, jedoch alle selbstverstärkend. Es gibt keine stabilisierenden Regelkreise (Feedback – Loops). Das kann auf ein System hinweisen, das schnell auf Änderungen reagiert und sich in kurzer Zeit schnell, auch bis zum „Umkippen“ hin, aufschaukeln kann. Da zunächst nicht ersichtlich ist, welche Wirkungsgrößen einen stabilisierenden Effekt im Sinne einer negativen Rückkopplung haben, wird durchgehend angenommen, dass die Veränderung einer Größe in der Zeit von den Veränderungen aller anderen Größen abhängt, jedoch zeitverzögert entsprechend der Verzögerungszeiten aus dem Wirkungsgefüge und mit den dort definierten relativen Wirkungs“gewichten“.*

Im Beispielmmodell werden als Beobachtungszeitraum zwei Monate (1440 Stunden=60 Tage, Zeiteinheiten sind Stunden) angenommen. Nur eventuelle Auswirkungen der Kritischen Infrastrukturektoren „TK/IT“ und „Verkehr“ auf den Sektor „Energieversorgung“ werden berücksichtigt.

Das Beispielmmodell soll lediglich die Möglichkeiten der qualitativen und quantitativen Visualisierung komplexer vernetzter System im Bereich Kritischer Infrastrukturen anreißen.

Problembeschreibung, Ziele, Systemgrenzen und Angaben zum Beobachtungszeitraum findet man auch im Startbild des Consideo Modelers wieder.

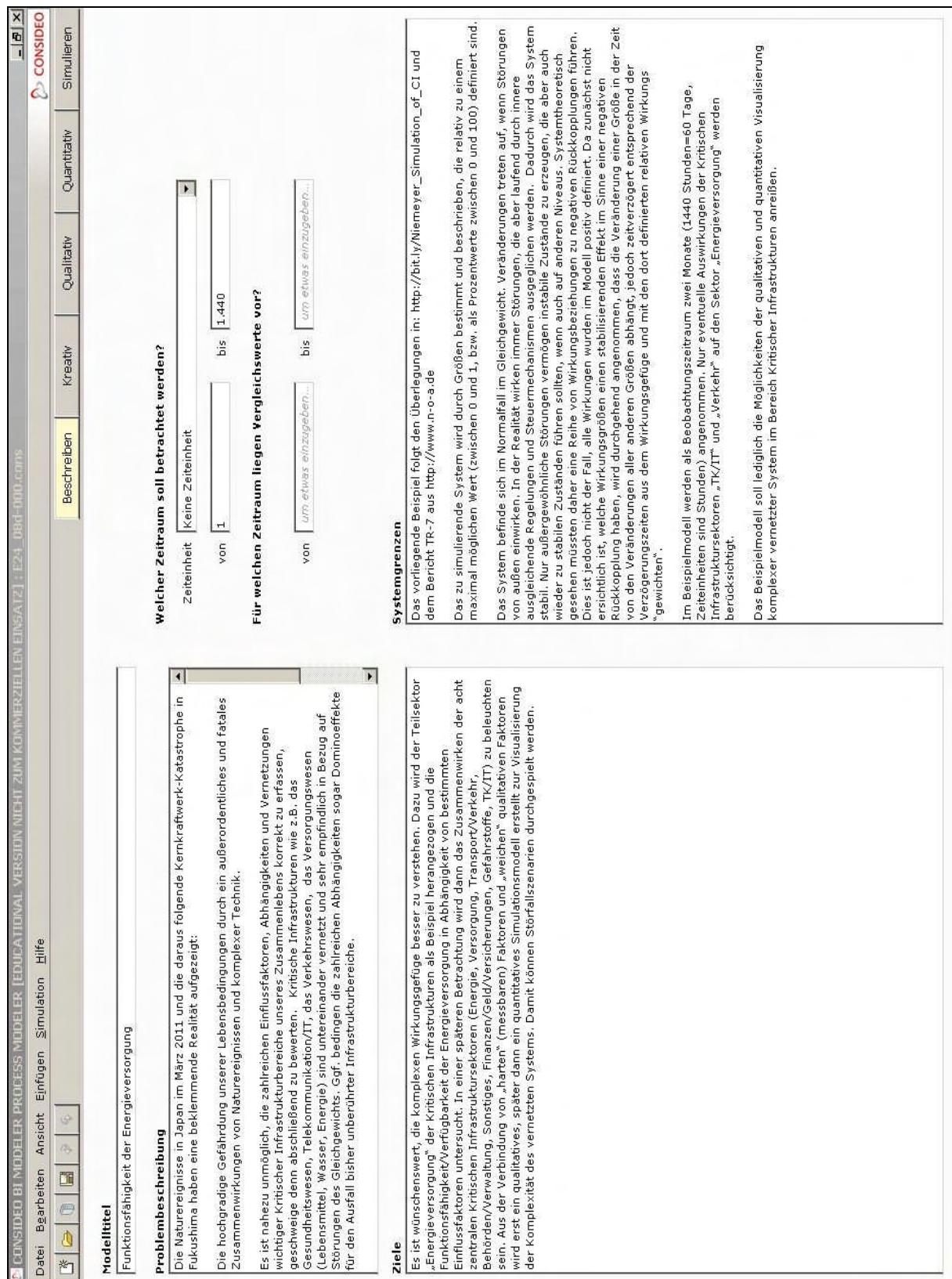


Abbildung 2: Start-Bildschirm des Consideo Modelers (Energieversorgung)



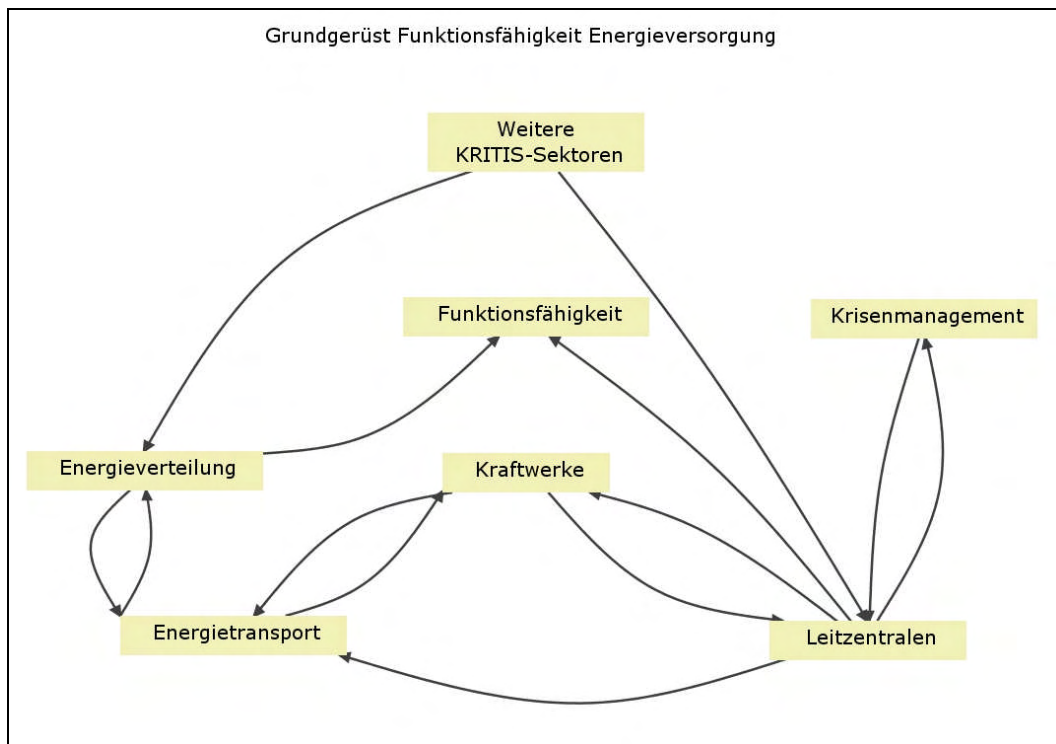
Verbindungslinien zu minimieren. Dennoch: Das wird recht schnell unübersichtlich, wie Abbildung 3 zeigt.

	<b>NAME</b>	<b>KURZBESCHREIBUNG (nach [Ref. 15])</b>
<b>q1</b>	Verfügbarkeit Energieversorgung	
<b>q2</b>	Verfügbarkeit (Gewerbe)	Verfügbarkeit / Zuverlässigkeit: Wahrscheinlichkeit, dass das System für die Dauer seines Einsatzes nicht ausfällt. Wahrscheinlichkeit der Präsenz und Einsatzfähigkeit der personellen und materiellen Ressourcen. Verfügbarkeit der Energie für den Verbraucher "Gewerbe"
<b>q3</b>	Verfügbarkeit (Industrie)	Verfügbarkeit / Zuverlässigkeit: Wahrscheinlichkeit, dass das System für die Dauer seines Einsatzes nicht ausfällt. Wahrscheinlichkeit der Präsenz und Einsatzfähigkeit der personellen und materiellen Ressourcen. Verfügbarkeit der Energie für den Verbraucher "Industrie"
<b>q4</b>	Verfügbarkeit (Haushalt)	Verfügbarkeit / Zuverlässigkeit: Wahrscheinlichkeit, dass das System für die Dauer seines Einsatzes nicht ausfällt. Wahrscheinlichkeit der Präsenz und Einsatzfähigkeit der personellen und materiellen Ressourcen Verfügbarkeit der Energie für den Verbraucher "Haushalt"
<b>q5</b>	Verfügbarkeit (Verkehr)	Verfügbarkeit der Energie für den Verbraucher "Verkehr"
<b>q6</b>	Rekonstitution	Wiederherstellung der Gesamtversorgung
<b>q7</b>	KW Wasserkraft	Stromerzeugung aus Wasserkraft
<b>q8</b>	KW thermisch konventionell	Kraftwerke fossiler Energie wie Kohle-, Gas-, Ölkraftwerke, Müllverbrennung, Heizkraftwerke (Kraft-Wärme-Kopplung)
<b>q9</b>	KW Kernkraft	Kernkraftwerke unterliegen besonderen Sicherheitsanforderungen (Fernüberwachung, Inspektionen)
<b>q10</b>	KW regenerativ	Kraftwerke mit erneuerbarer Energie wie Sonnen- und Windenergie
<b>q11</b>	Raffinerien	Raffinerien: Veredelung fossiler Brennstoffe
<b>q12</b>	Transport Primärenergie	Pipelines, LKWs, Schiffe, Waggon etc. transportieren Öl, Gas, Kohle etc.
<b>q13</b>	Transport Endenergie	Es wird Strom (Hochspannungsstrom), Wärme, Gas und Öl als Endenergie durch das Netz transportiert. (nur Strom oder auch andere Energieträger z.B. Kohlenwasserstoffe?)
<b>q14</b>	Leitzentrale Erzeugung	Leitzentrale zur Planung, Steuerung und Überwachung der Energieerzeugung: Realzeit-Steuerung und Optimierung der

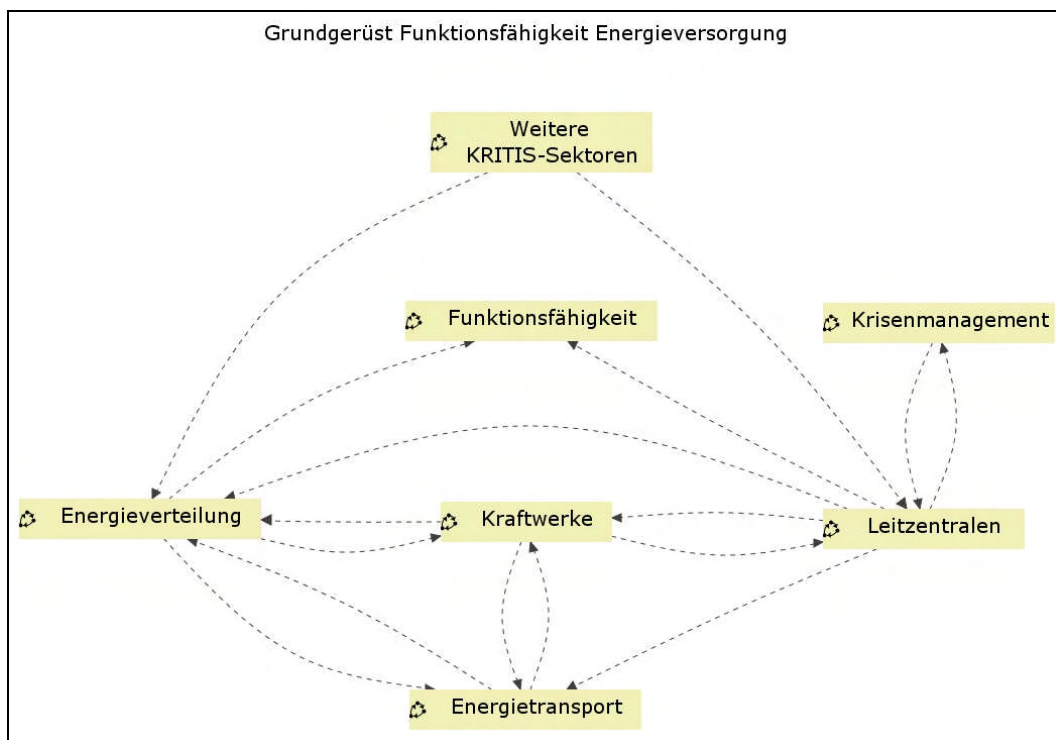
		Energieerzeugung, hochwertige Ausstattung mit IT-Infrastruktur; Kommunikations-Technik;
<b>q15</b>	Leitzentrale Transport	Leitzentrale Transport/Verteilung zur Steuerung und Überwachung des Energietransports und der Energieverteilung: Realzeit-Steuerung und Optimierung der Energieverteilung, Systemführung (Spannungs-/Frequenzhaltung, Reservebereitstellung, Systembetrieb. Hochwertige Ausstattung mit IT-Infrastruktur; Kommunikations-Technik
<b>q16</b>	Verteilung leitungsgebunden	Endverteilung leitungsgebundener Energie wie z.B. Strom, Öl (Pipeline), Wärme, Gas
<b>q17</b>	Verteilung leitungsungebunden	Endverteilung nichtleitungsgebundener Energie wie z.B. Kohle, Kraftstoffe etc.
<b>q18</b>	Krisenstab	Krisen-/Einsatzstab, der im Störfall vor Ort die internen Maßnahmen steuert und mit der Polizei, Feuerwehr, RK etc. zusammenarbeitet. Regelmäßige Planung und Übungen sind erforderlich und werden auch durchgeführt.
<b>q19</b>	Medienarbeit	Krisenbezogene Informationspolitik; Öffentlichkeitsarbeit der Branche "Energie" sowie Unterrichtung der Öffentlichkeit im Krisenfall durch den Krisenstab.
<b>q20</b>	Schlüsselpersonal	Schlüsselrolle bei IT, TK und Unterstützungstechnik (USV, Klimatechnik,...)
<b>q21</b>	Krisenmanagement (lokal)	Lokales Krisenmanagement, das Feuerwehr, Polizei, Rettungsdienste, Bundeswehr, BGS etc. einsetzt.
<b>q22</b>	Medien	Medien als Mittler zwischen Erzeuger und Verbraucher von Nachrichten, Wissen und Unterhaltung. Zentrale Bedeutung für Image des Sektors "Energie" in der Öffentlichkeit (Inland und Ausland). Einschließlich Position von Verbänden u. anderen Interessenvertretern
<b>q23</b>	Verkehrs – Sektor	Sektor "Verkehr" als wichtige Voraussetzung für die nicht-leitungsgebundene Verteilung der Energie
<b>q24</b>	TK/IT – Sektor	Sektor „TK/IT“ liefert eine Voraussetzung für eine reibungslose Energieversorgung

**Tabelle 1: Kurzbeschreibung der Faktoren im Netz Energieversorgung**

Eine systemische Vorgehensweise hingegen besteht nach [Ref. 17] darin, nach den Ursache-Wirkungsbeziehungen zu fragen und daraus die Einflussfaktoren aus den Haupt-/Standardfaktoren herzuleiten, die bereits im Modell enthalten sind.



**Abbildung 4: Netz Energieversorgung - Hauptkomponenten**



**Abbildung 5: Netz Energieversorgung als Struktur von Submodellen**



Wie dies geht, zeigt das Beispielmmodell (siehe Abbildung 5) – nun als Modell, dass aus Submodellen (Kettensymbol) besteht. Nach dem Öffnen des Submodells „Funktionsfähigkeit“ wird der Standardfaktor „Verfügbarkeit“ angezeigt, der von den Faktoren „Verfügbarkeit (Verkehr)“, „Verfügbarkeit (Industrie)“, „Verfügbarkeit (Gewerbe)“, „Verfügbarkeit (Haushalt)“ und „Rekonstitution (Wiederherstellung der Gesamtversorgung)“ beeinflusst wird. Um das Modell zu ergänzen, kann man nun die Fragen vertiefen (Was sind die z.B. wesentlichen Abhängigkeiten zur Rekonstitution?) Die Rekonstitution ist z.B. von den Faktoren „Raffinieren“ und „Leitzentrale Erzeugung“ abhängig.

Über ein Submodell **Maßnahmen** könnte man weitere sinnvolle Faktoren einfügen.

Zusätzlich kann man die einzelnen Submodelle zur besseren Zuordnung farblich unterscheiden (siehe Abbildung 6 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**):

- Funktionsfähigkeit (rosa)
- Krisenmanagement (rot)
- Leitzentralen (marineblau)
- Kraftwerke (violett)
- Energieverteilung (gelb)
- Energietransport (grün)
- Weitere KI – Sektoren (olivgrün)

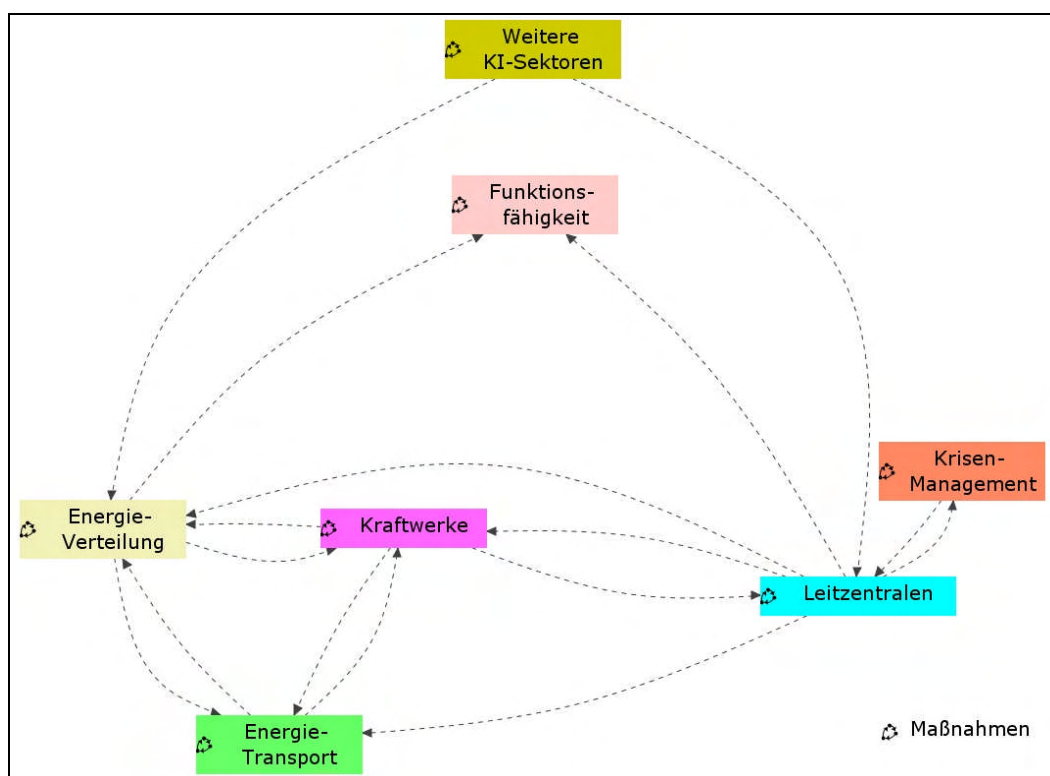


Abbildung 6: Netzstruktur von Submodellen (Farbunterscheidung)



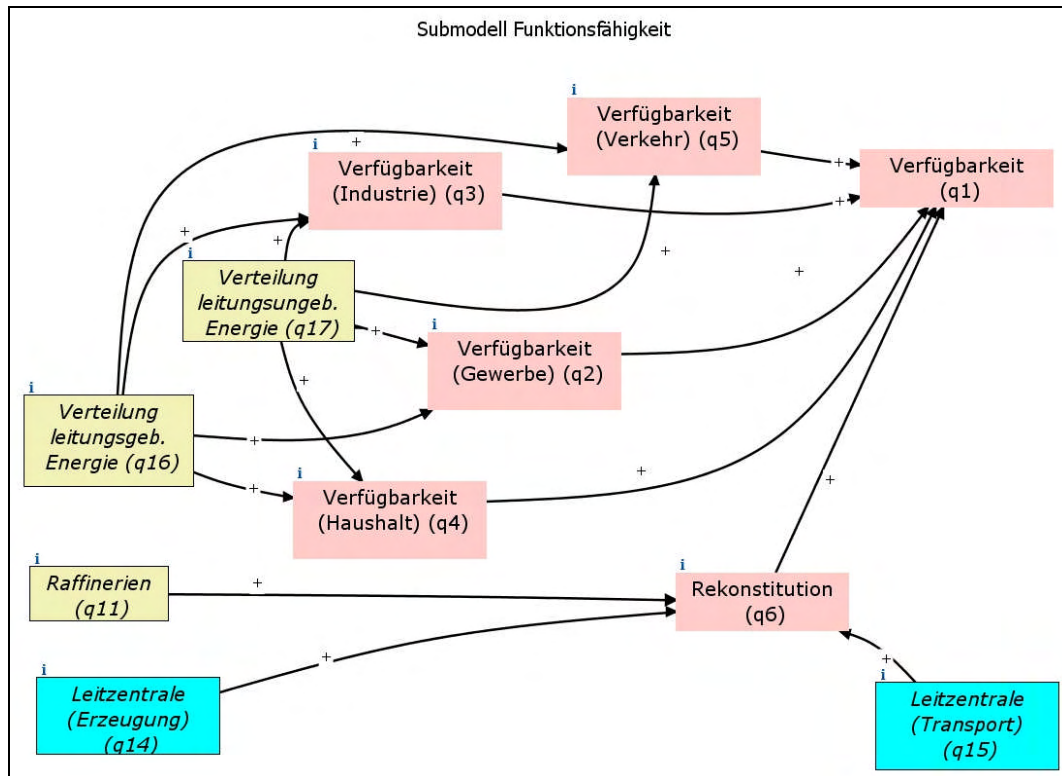


Abbildung 7: Submodell Funktionsfähigkeit

Für jeden Faktor kann man eine Beschreibung hinterlegen (angedeutet durch das kleine „i“ für „Info“, die man per Mouseover jeweils nachlesen kann. Ferner kann die Wirkungsrichtung (+ oder -, erhöhend oder senkend) an den Pfeilen angedeutet werden. Bzgl. der Wirkungsstärke der Verbindungen ist es empfehlenswert, die editierbare Gewichtungsmatrix zu verwenden.

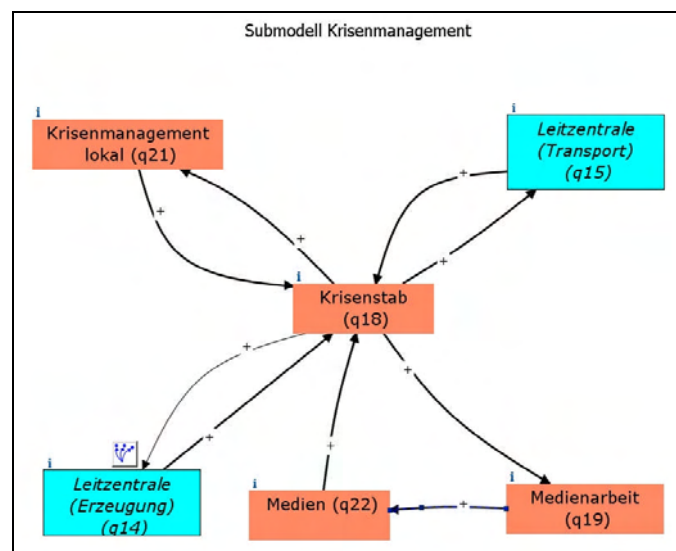


Abbildung 8: Submodell Krisenmanagement

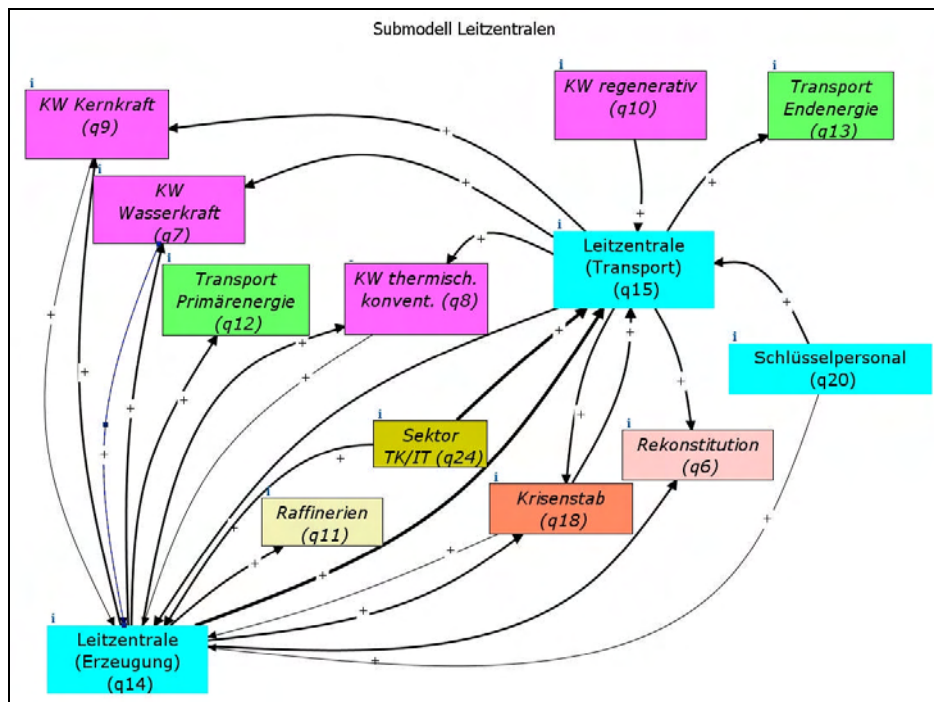


Abbildung 9: Submodell Leitzentralen

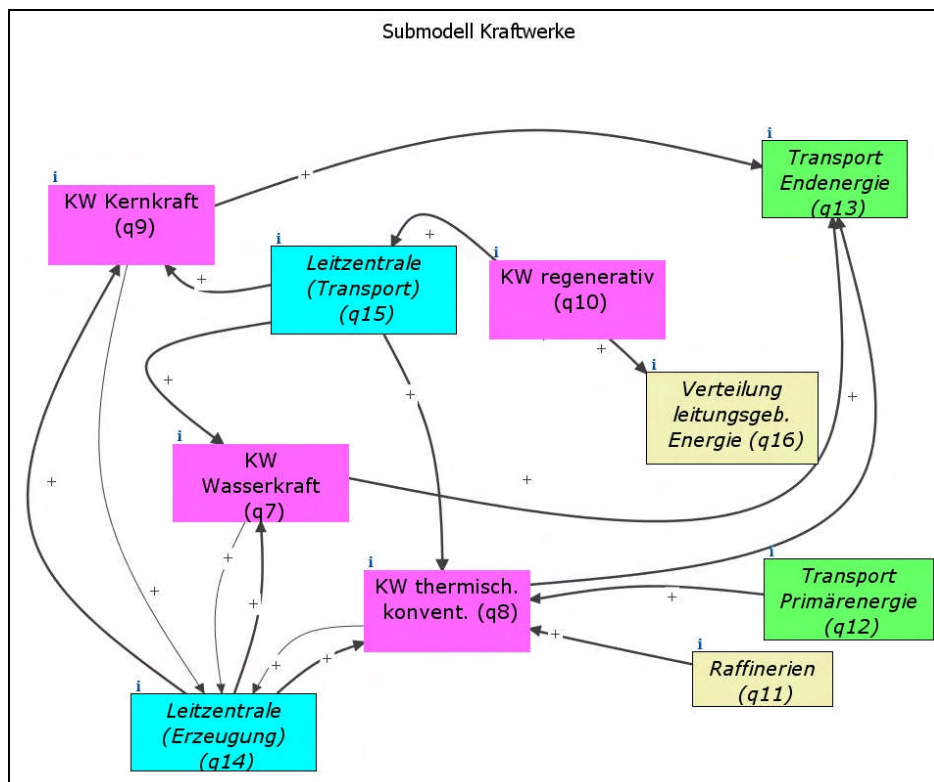


Abbildung 10: Submodell Kraftwerke

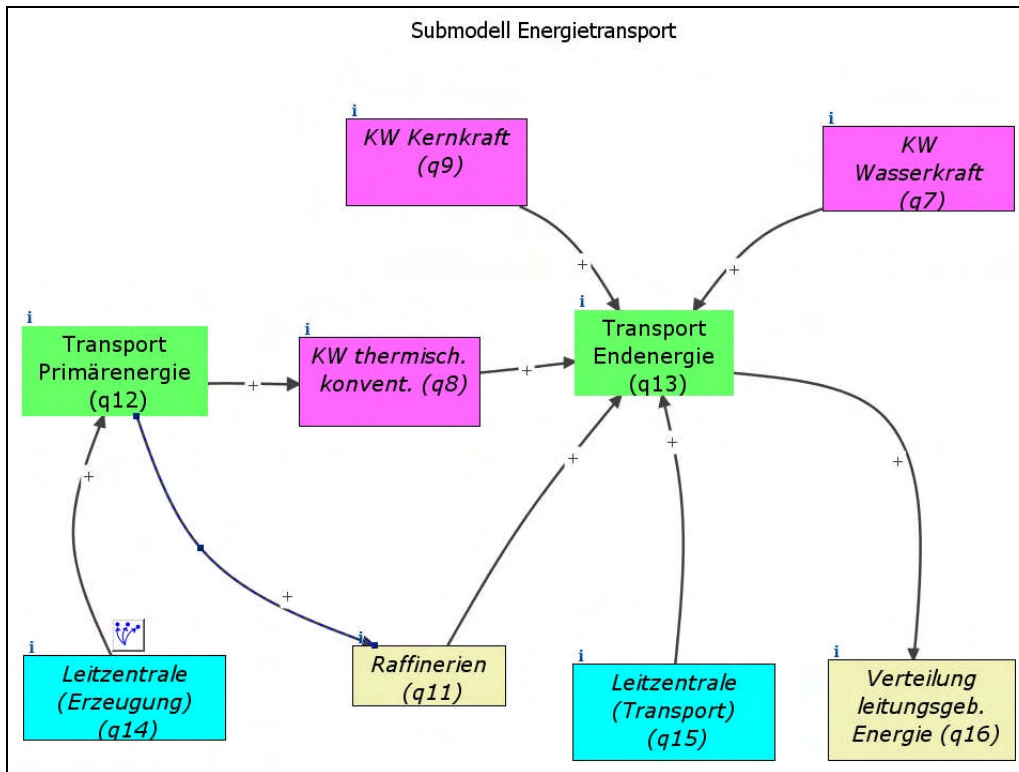


Abbildung 11: Submodell Energietransport

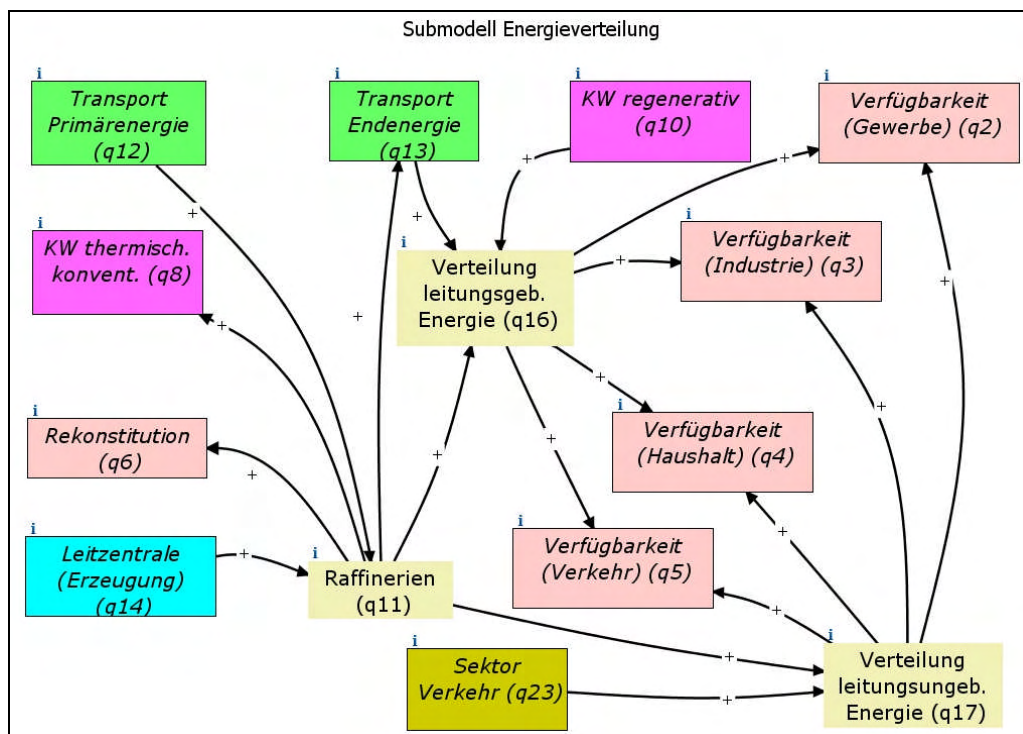


Abbildung 12: Submodell Energieverteilung

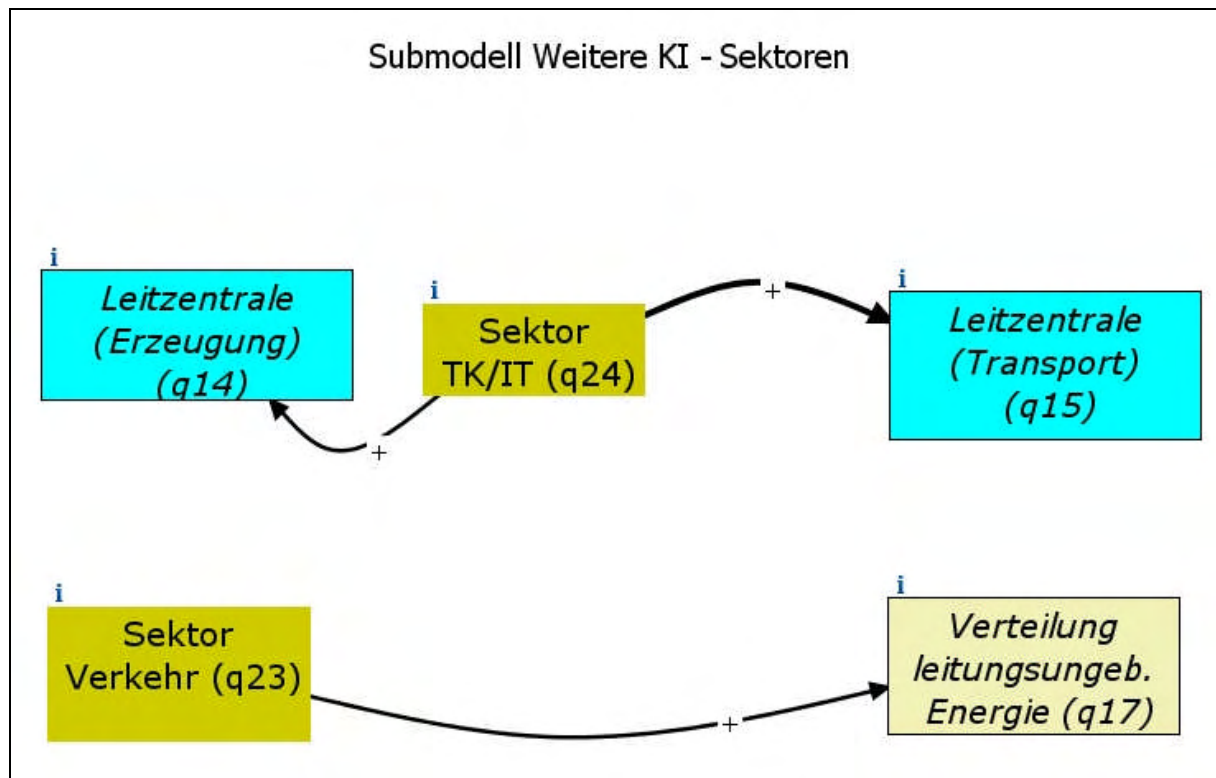


Abbildung 13: Submodell Weitere KI-Sektoren

### 3.2 Bewertung von Modell-Faktoren

Es ist empfehlenswert (anstelle der Anwahl der Eigenschaften jedes einzelnen Faktoren – Verbindungs-Pfeils) die **Gewichtungs-Matrix** des Modells zu anschauen, zu verwenden und zu editieren. Die Gewichtungsmatrix kann man für die überschaubaren Submodelle ansehen oder sich aus den einzelnen Sub – Gewichtungsmatrizen eine Gesamt – Gewichtungsmatrix erzeugen.

Energie- Verteilung		1	2	3
1	Raffinerien (q11)		17	17
2	Verteilung leitungsungeb. Energi...			
3	Verteilung leitungsgeb. Energie (...)			
4	Leitzentrale (Erzeugung) (q14)	17		
5	Transport Primärenergie (q12)	17		
6	Transport Endenergie (q13)			17
7	KW regenerativ (q10)			17
8	Sektor Verkehr (q23)		17	
	Summe	34	34	51

Tabelle 2: Gewichtungsmatrix Energieverteilung

Man liest die Tabelle 2 horizontal von links nach rechts (Faktor X wirkt auf Y) und vertikal von oben nach unten (Faktor Z wird beeinflusst von ...) Die Spalte mit dem Header 2 in bedeutet: Die leitungsungebundene Energie (q17) (d.h. der Faktor mit der lfd. Nr. 2 aus der ersten Spalte) wird beeinflusst vom Faktor Raffinerien (q11) und dem Sektor Verkehr (q23). Dabei ist klar, dass ein Faktor nicht zu mehr als 100 Prozent von anderen Faktoren beeinflusst werden kann. Ist die prozentuale Summe kleiner als 100 Prozent, so ist vorstellbar, dass auch noch systemexterne Einflüsse wirken können, die nicht ins Kalkül einbezogen wurden. Zur Farbenlehre bei der Gewichtungsmatrix: Grün bedeutet verstärkende Wirkung(+) Rot bedeutet ausgleichende Wirkung (-).

Um einen Gesamteindruck zu bekommen, wer wen wie beeinflusst, oder beeinflusst wird, kann man sich eher die Gesamt-Gewichtungsmatrix des KI-Sektors „Energieversorgung“ anschauen (siehe die Abbildung auf der nächsten Seite).

Aus dieser Gesamtmatrix lassen sich auch ohne Visualisierung einige Dinge herauslesen:

- Verfügbarkeit (q1) bildet sich aus den Abhängigkeiten von den Faktoren: Verfügbarkeit (Gewerbe) (q2), Verfügbarkeit (Industrie) (q3), Verfügbarkeit (Haushalt) (q4), Verfügbarkeit (Verkehr) (q5), Rekonstitution (q6)
- Die Faktoren KW regenerativ (q10), Schlüsselpersonal (q20), Sektor Verkehr (q23), Sektor TK/IT (q24) werden von keinem anderen der 24 Faktoren beeinflusst. Um das Modell „Energieversorgung“ zu Demonstrationszwecken nicht weiter zu verkomplizieren, wurden die Annahmen zu den Faktoren q23 und q24 getroffen und auch weitere (sicher existierende) Quer-Vernetzungen der KI - Sektoren unberücksichtigt gelassen.
- Besonders von anderen Faktoren beeinflusst sind die Größen: Leitzentrale (Erzeugung) (q14), Leitzentrale (Transport) (q15), Transport Endenergie (q13).
- Insbesondere die Leitzentrale Erzeugung (q14), die Leitzentrale Transport (q15) und die Raffinerien (q11) nehmen Einfluss auf andere Größen des Modells



E24_OhneSummodelle		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	Verfügbarkeit (q1)																								
2	Verfügbarkeit (Gewerbe...	17																							
3	Verfügbarkeit (Industrie...	17																							
4	Verfügbarkeit (Haushalt)...	17																							
5	Verfügbarkeit (Verkehr)...	17																							
6	Rekonstitution (q6)	17																							
7	KW Wasserkraft (q7)													17	10										
8	KW thermisch konvent. ...												17	10											
9	KW Kernkraft (q9)												17	10											
10	KW regenerativ (q10)															15	17								
11	Raffinerien (q11)							17	17					17			17	17							
12	Transport Primärenergie...							17	17																
13	Transport Endenergie (q...																17								
14	Leitzentrale (Erzeugung)...							17	17	17			17	17		27			17						
15	Leitzentrale (Transport) ...							17	17	17			17	20				17							
16	Verteilung leitungsgeb. ...	17	17	17	17																				
17	Verteilung leitungsungeb...	17	17	17																					
18	Krisenstab (q18)															10	14		17	17					
19	Medienarbeit (q19)																						17		
20	Schlüsselpersonal (q20)														10	17									
21	Krisenmanagement loka...																	17							
22	Medien (q22)																	17							
23	Sektor Verkehr (q23)																								
24	Sektor TK/IT (q24)														20	27									
	Summe	85	34	34	34	34	51	34	68	34	0	34	17	85	90	100	51	34	68	17	0	17	17	0	0

Tabelle 3: Gesamt – Gewichtungsmatrix Energieversorgung

Die Gesamt-Gewichtungsmatrix lässt sich recht leicht aus der in Submodelle aufgeteilten Struktur zur Funktionsfähigkeit der Energieversorgung erzeugen. Man erzeugt eine neues (leeres) qualitatives Modell und zieht per Drag und Drop sämtliche einzelnen Faktoren aus allen Submodellen in das neue Consideo Modell und speichert das Modell ab. Die erzeugte ASCII – cons bzw. – xml Datei ordnet man dann noch mit einem Standard – Editor in der Reihenfolge der Faktoren q1 bis q24. Per <Ansicht> → <Gewichtungsmatrix> kann man die gesamte automatisch erzeugte Matrix anschauen. (Die „unaufgeräumte“ per Software erzeugte Visualisierung der Gesamtvernetzung“ ist für die Analyse der Gewichtungsmatrix dabei ohne Belang.)

### 3.3 Rückkopplungen

#### Rückkopplungsschleifen anzeigen lassen

Man kann sich alle selbstverstärkenden und ggf. ausgleichenden Rückkopplungsprozesse auflisten / anzeigen lassen (im vorliegenden Beispielmmodell sind es 19 selbstverstärkende Rückkopplungsprozesse). Die selbstverstärkenden Schleifen lösen im Zeitverlauf ggf. eine positive oder negative „Eskalation“ aus.

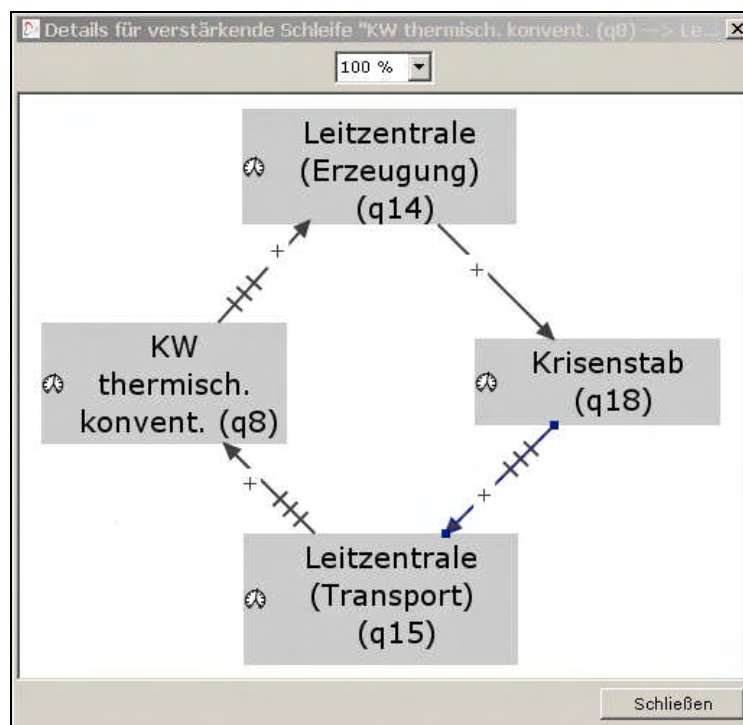






Abbildung 14: Verstärkende Rückkopplung

Würden im Modell ausgleichende Schleifen existieren, so würden sie de-skalierend wirken. Man erhöht z.B. den Einsatz bei einem Faktor, um ein Ziel zu erreichen, tritt dennoch auf der Stelle, da ausgleichende Prozesse die Wirkung des Einsatzes

mindern / verhindern. Rückkopplungsprozesse haben einen entscheidenden Einfluss auf das zeitliche Verhalten des Gesamtsystems und müssen daher ggf. bei der Entwicklung von Handlungsalternativen / -perspektiven berücksichtigt werden.

Zur Symbolik beachte man bitte die Fußnote<sup>2</sup>, denn später wird das Verhalten des Modells im Zeitverlauf analysiert und quantifiziert

---

<sup>2</sup> Man kann das Verhalten eines Modells im Zeitverlauf analysieren. Mathematisch und wenn möglich auch mit Daten beschreibt man quantitativ die Zusammenhänge. Die Simulationmethode dahinter heißt System Dynamics und unterscheidet zwischen  Bestands-,  Fluss-,  Informations- und Input-Faktoren (Wertereihe  oder konstante Werte  $f(x)$ ) Querstriche durch Verbindungslinien deuten Zeitverzögerungen bei der Wirkung an.



## 4 Qualitative Analysen, Handlungsperspektiven

### 4.1 Erkenntnis-Matrix

Um ein Verständnis bzgl. der erstellten Ursache- Wirkungsbeziehungen und der Herausforderung zu entwickeln kann man die sogenannte Erkenntnis-Matrix des zentralen Ziel-Faktors q1 „Verfügbarkeit der Energieversorgung“ heranziehen. In der weiteren Analyse könnte man dann die Matrizen der anderen Faktoren sowie die Ursache- und Wirkungsketten als Ansichten nutzen, um ein noch tieferes Verständnis zu erhalten. Um die Vorgehensweise zu verdeutlichen, nutzen wir die Ergebnisse unseres Beispielsmodells.

Im Allgemeinen hat die Erkenntnis-Matrix des Consideo-Modelers vier Quadranten. Das wird mit folgender Grafik (aus einem Management-Modell) und erläuterndem Text aus dem Modeler – Handbuch beschrieben:

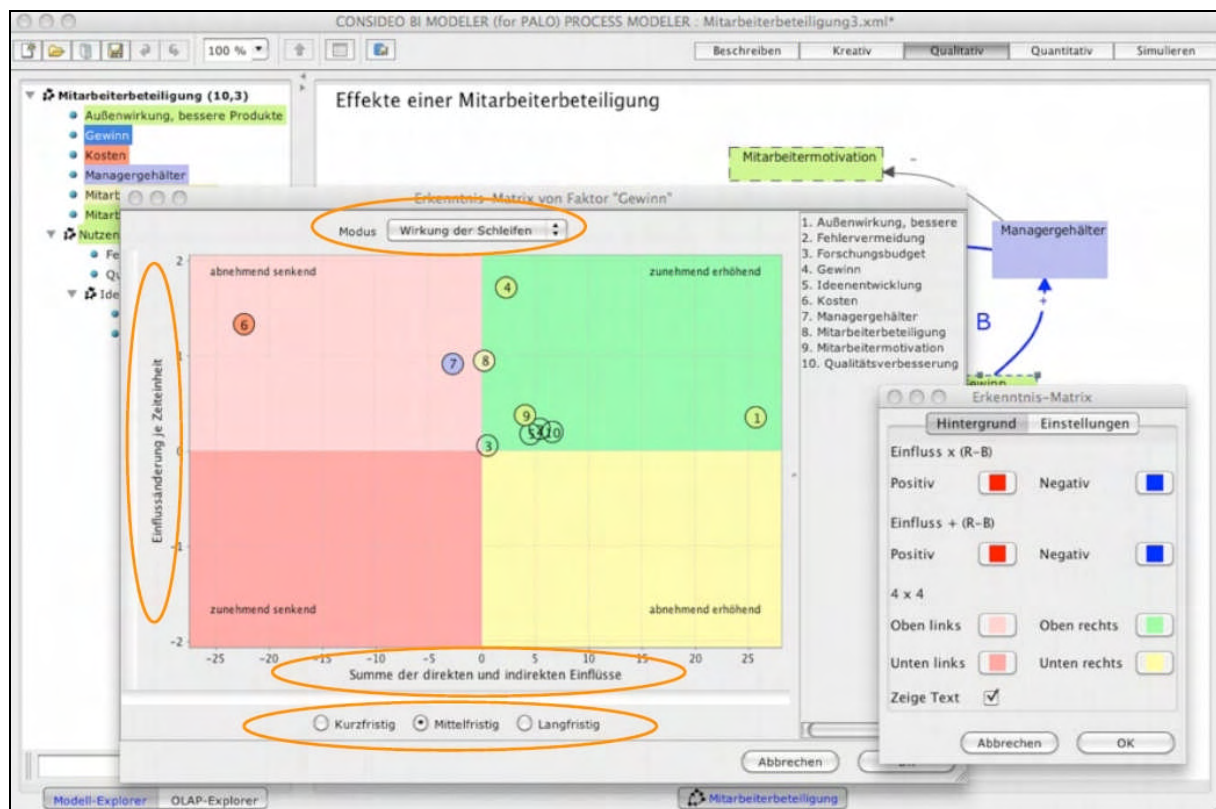


Abbildung 15: Musterdarstellung Erkenntnismatrix

„Aus der Summe direkter und indirekter Einflüsse - als Ergebnis der qualitativen Gewichtung, der Wirkungsketten und der Verzögerungen (horizontale X-Achse) -

sowie der Wirkung von ausgleichenden und selbstverstärkenden Schleifen (vertikale Y-Achse) können Sie für jeden Faktor die Beeinflussung durch andere Faktoren ablesen. Man öffnet einfach über dessen Kontextmenü die Erkenntnis-Matrix. Je höher der Wert auf der X-Achse ist, desto stärker ist der kurzfristige Einfluss auf den ausgewählten Faktor - und je höher der Wert auf der Y-Achse ist, desto erhöhender wird im Zeitverlauf die Wirkung eines Faktors (oben) oder oder desto senkender (unten), was durch Wechsel der Ansicht von kurz- auf mittel- bzw. langfristig als Trendaussage deutlich wird. Auf der Erkenntnis-Matrix kann man über das Kontextmenü Legende, Farben, Anzeigeformen etc. auswählen. Zoomen kann man durch Ziehen eines Rahmens. Den Zoom aufheben durch kurzes Ziehen mit der Maus von rechts nach links.“

Nach [Ref. 11] kann man nach der Visualisierung der Zusammenhänge und nach der ersten, vielleicht nur groben Gewichtung direkt für ausgewählte Zielfaktoren die Erkenntnis-Matrix aufrufen. Wenn übrigens noch gar kein Zielfaktor existieren sollte, der die insgesamt wichtigsten Faktoren zu identifizieren erlaubte, ist es in der Regel ganz einfach, diesen zusätzlich einzufügen. Wenn mit einem solchen zentralen Faktor entsprechende Einflussfaktoren aus dem Modell verbunden werden, haben wir über dessen Erkenntnis-Matrix wieder eine Identifikation der insgesamt im Modell wichtigen Faktoren.

**Die Erkenntnis-Matrix zeigt also nicht die Bedeutung von Faktoren im Gesamtmodell, sondern den Vergleich der Wirkung von Faktoren auf einen ausgewählten Faktor.**

Auf Basis der erstellten Ursache-Wirkungsbeziehungen inkl. Wirkungsrichtungen, -stärken und Zeitverzögerungen und der daraus resultierenden selbstverstärkenden und ausgleichenden Rückkopplungsprozesse werden in der Erkenntnis-Matrix alle Faktoren angezeigt, die direkt oder indirekt auf den ausgewählten Faktor wirken. Auf der X-Achse wird dabei die gesamte Einfluss-Stärke des Faktors (positiv oder negativ) und auf Y-Achse die Veränderung der Einfluss-Stärke im Zeitverlauf (Zu- oder Abnahme) dargestellt. Hieraus ergeben sich 4 verschiedene Felder – mit der folgenden Bedeutung:

1. Feld rechts oben: Faktoren, die kurzfristig positiv und mittel- und langfristig sogar noch positiver wirken werden. Die Relevanz der Faktoren nimmt im Zeitverlauf zu, da sie überwiegend in selbstverstärkenden Rückkopplungsprozessen involviert sind bzw. diese anstoßen. **Diese Faktoren sind die effektivsten Hebel für eine eskalierende (positive) Entwicklung des selektierten Faktors!**
2. Feld rechts unten: Faktoren, die kurzfristig positiv und mittel- und langfristig weniger stark eskalierend wirken werden. Die Relevanz der Faktoren nimmt im Zeitverlauf ab, da sie überwiegend in ausgleichenden Rückkopplungsprozessen involviert sind bzw. diese anstoßen.
3. Feld links unten: Faktoren, die kurzfristig negativ und mittel- und langfristig sogar noch de-eskalierender wirken werden. Die Relevanz der Faktoren nimmt im Zeitverlauf zu, da sie überwiegend in selbstverstärkenden

*Rückkopplungsprozessen involviert sind bzw. diese anstoßen. Diese Faktoren sind die effektivsten Hebel für eine de-eskalierende Entwicklung des selektierten Faktors!*

4. *Feld links oben: Faktoren, die kurzfristig negativ und mittel- und langfristig weniger stark de-eskalierend wirken werden. Die Relevanz der Faktoren nimmt im Zeitverlauf ab, da sie überwiegend in ausgleichenden Rückkopplungsprozessen involviert sind bzw. diese anstoßen.*

Zurück zum Modell des Kritischen Infrastruktursektors „Energieversorgung“. Aufgrund fehlender de-eskalierender Wirkungsschleifen werden nur die zwei rechten Quadranten visualisiert.

Bevor sich die Erkenntnis-Matrix z.B. bzgl. des ausgewählten Faktors „Verfügbarkeit der Energieversorgung“ öffnet, wird abgefragt, welche Faktoren angezeigt werden sollen. Im gewählten Beispiel wurden jedoch alle Faktoren ausgewählt, um einen Gesamtüberblick zu erhalten.

Eine hervorgehobene Rolle spielen gemäß Abbildung 16 die Faktoren q5 Verfügbarkeit (Verkehr), q17 Verteilung leitungsungebundener Energie, sowie q11 Raffinerien. Störungen bzw. die Funktionsfähigkeit dieser Faktoren sind die wesentlichen „Hebel“ zur Veränderung der Verfügbarkeit der Energieversorgung. Das kann man später auch in der quantitativen Modellierung verfolgen.

Schaut man in den „verdichteten“ linken Teil der Erkenntnis-Matrix gemäß Abbildung 17, so zeigt sich, dass die Faktoren q14 Leitzentrale (Transport), q15 Leitzentrale (Erzeugung) und q23 Sektor TK/IT mit der Zeit zunehmend an Bedeutung gewinnen. Ein Zoom der Erkenntnis-Matrix auf den linken Teil zeigt die Anordnung der übrigen Faktoren.

Kai Neumann schreibt in seinem einführenden Buch [Ref. 20], „dass die qualitative Analyse einen groben Blick erlaubt, der die grundsätzliche Charakteristik beschreibt und die kurz- und längerfristig entscheidenden Faktoren einer Herausforderung identifiziert. Das geschieht anstelle einer aufwändigen, quantitativen Modellierung, bei der sehr viele Details der Realität mühsam durch Formeln beschrieben werden müssen.“

*Neben der Summe der direkten und indirekten Einflüsse zeigt die Erkenntnis-Matrix wahlweise die Differenz der selbstverstärkenden zu den ausgleichenden Wirkungsschleifen oder sogar – etwas rechenintensiver – die Wirkung dieser Schleifen und damit der Einflüsse im Zeitverlauf. Gezählt werden dabei alle Schleifen, die ein Faktor auf den Wirkungsketten zum ausgewählten Faktor anstößt. Bei der Wirkung wird der Abstand der Schleifen zum ausgewählten Faktor, die Wirkung innerhalb der Schleifen und schließlich sogar das Vorhandensein von Verzögerungen berechnet.*

*Faktoren, die einen anderen Faktor im Saldo über mehr selbstverstärkende Wirkungsschleifen beeinflussen, nehmen im Laufe der Zeit in ihrem Einfluss zu.*

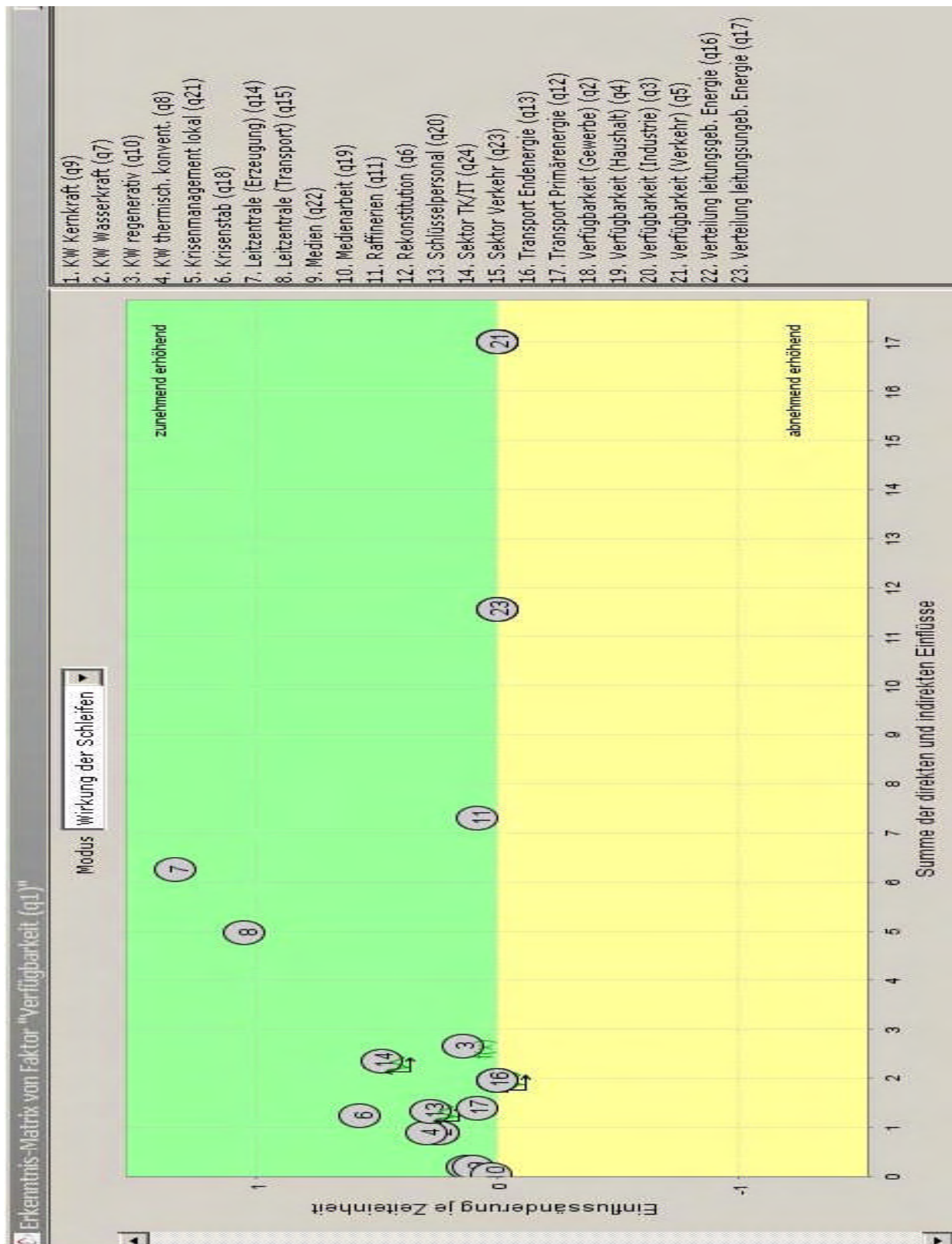


Abbildung 16: Erkenntnismatrix für Faktor Verfügbarkeit (q1)



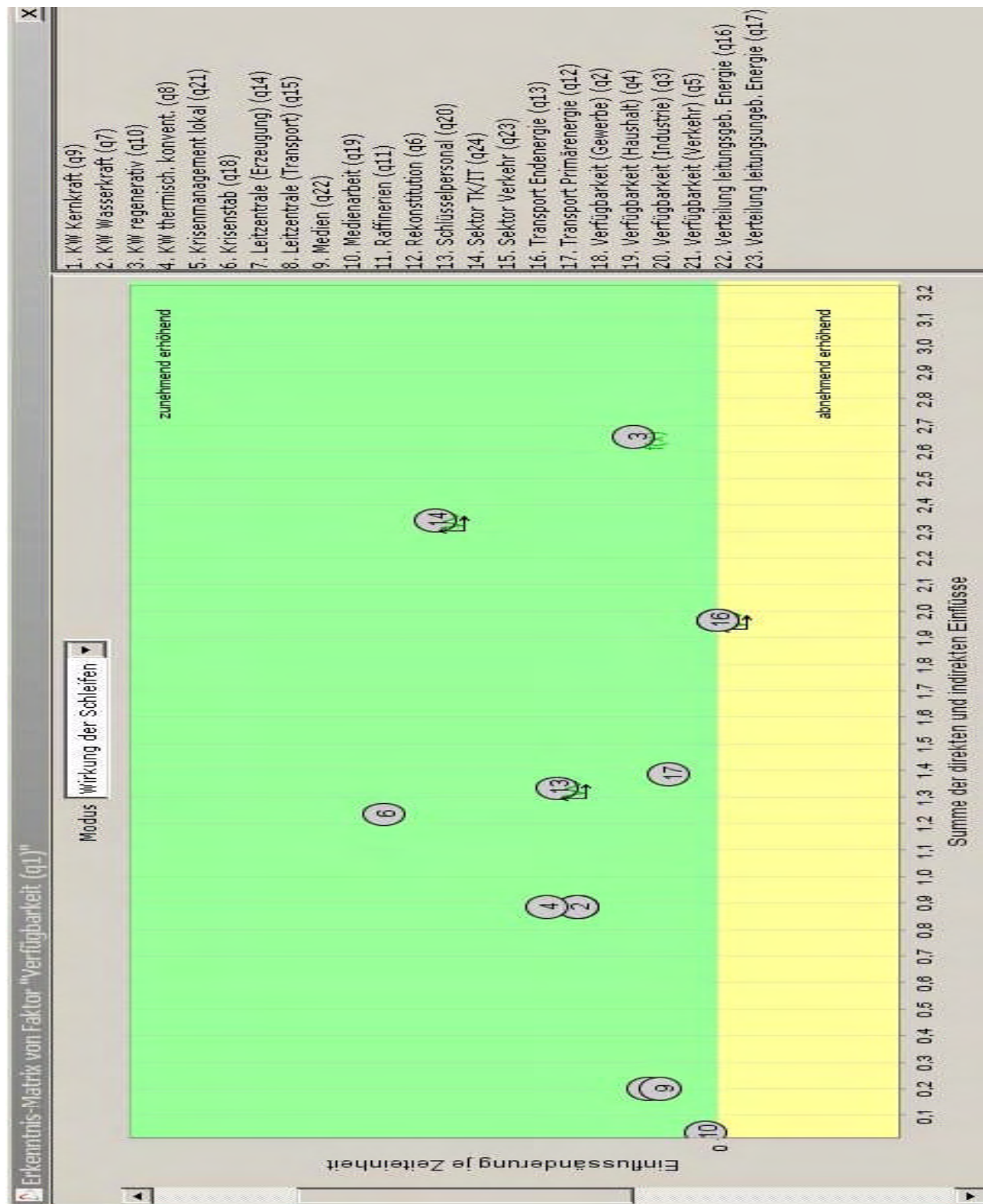


Abbildung 17: Erkenntnismatrix für Faktor Verfügbarkeit (q1) (Zoom)

Faktoren, die umgekehrt im Saldo mehr über ausgleichende Wirkungsschleifen wirken, können in der Wirkung nachlassen. Wie genau, lässt sich ohne Berechnung der Wirkung der Schleifen nicht bestimmen.

Wenn die Dynamik der modellierten Herausforderung aber nicht linear verläuft, stößt die qualitative Analyse an ihre Grenzen, beispielsweise dann, wenn die Faktoren multiplikative oder durch wenn-dann-Formeln wirken“.

## 4.2 Ursache- und Wirkungsketten

Um die Interpretation der Erkenntnis-Matrix bzw. ihre Berechnung besser zu verstehen, wird mit den nächsten Abbildungen eine weitere Analysemöglichkeit aufgezeigt: die Anzeige der Wirkungs- bzw. Ursachenketten und die der Wirkungsschleifen.

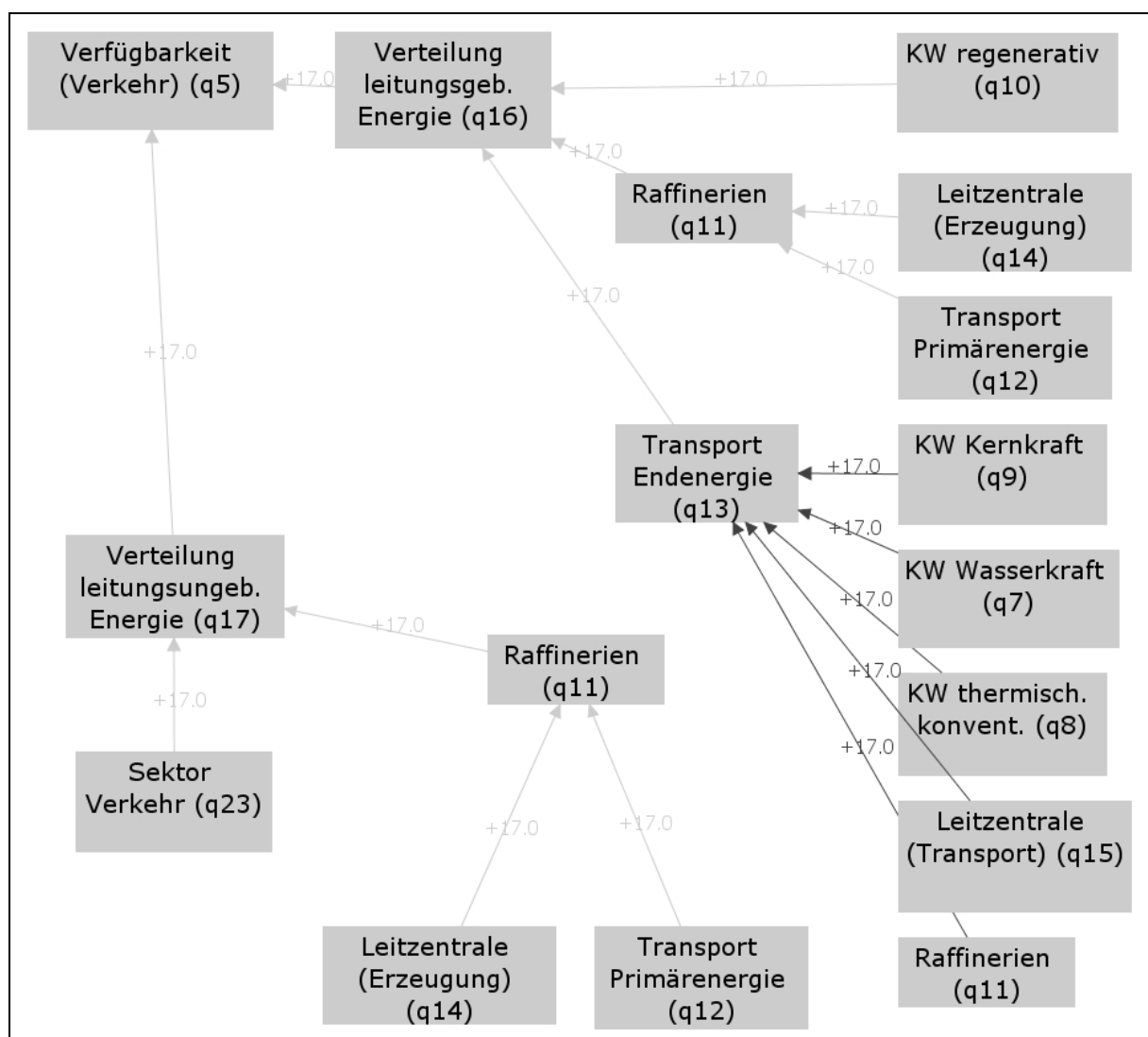


Abbildung 18: Direkte Ursachenkette Verfügbarkeit (Verkehr) (q5)

Die Abbildung 18 zeigt hier z.B. bis zur 4. Wirkungsstufe die jeweils **direkten** Einflüsse und Stärken der Wirkungen von Faktoren auf den gewählten Faktor „Verfügbarkeit (Verkehr)“.

Das Diagramm zeigt die Energieflussbeziehungen zwischen verschiedenen Sektoren und Infrastrukturen. Die Knoten sind:

- Verfügbarkeit (Verkehr) (q5)
- Verteilung leitungsgeb. Energie (q16)
- KW regenerativ (q10)
- Raffinerien (q11)
- Leitzentrale (Erzeugung) (q14)
- Transport Primärenergie (q12)
- Transport Endenergie (q13)
- KW Kernkraft (q9)
- KW Wasserkraft (q7)
- KW thermisch. konvent. (q8)
- Leitzentrale (Transport) (q15)
- Raffinerien (q11)
- Transport Primärenergie (q12)
- Leitzentrale (Erzeugung) (q14)
- Sektor Verkehr (q23)
- Verteilung leitungsungeb. Energie (q17)

Die Flüsse sind wie folgt definiert:

- Verfügbarkeit (Verkehr) (q5) → Verteilung leitungsgeb. Energie (q16) (17.0)
- Verteilung leitungsgeb. Energie (q16) → Verfügbarkeit (Verkehr) (q5) (17.0)
- Verteilung leitungsgeb. Energie (q16) → Raffinerien (q11) (2.89)
- Verteilung leitungsgeb. Energie (q16) → Transport Endenergie (q13) (2.89)
- Verteilung leitungsgeb. Energie (q16) → Verteilung leitungsungeb. Energie (q17) (2.89)
- Verteilung leitungsungeb. Energie (q17) → Sektor Verkehr (q23) (2.89)
- Sektor Verkehr (q23) → Verteilung leitungsungeb. Energie (q17) (2.89)
- KW regenerativ (q10) → Verteilung leitungsgeb. Energie (q16) (2.89)
- Raffinerien (q11) → Verteilung leitungsgeb. Energie (q16) (2.89)
- Leitzentrale (Erzeugung) (q14) → Raffinerien (q11) (0.49)
- Transport Primärenergie (q12) → Raffinerien (q11) (0.49)
- Transport Primärenergie (q12) → Transport Endenergie (q13) (0.49)
- Transport Endenergie (q13) → Leitzentrale (Transport) (q15) (0.49)
- Leitzentrale (Transport) (q15) → Raffinerien (q11) (0.49)
- Leitzentrale (Transport) (q15) → Transport Primärenergie (q12) (0.49)
- Leitzentrale (Transport) (q15) → Transport Endenergie (q13) (0.49)
- KW Kernkraft (q9) → Transport Endenergie (q13) (0.49)
- KW Wasserkraft (q7) → Transport Endenergie (q13) (0.49)
- KW thermisch. konvent. (q8) → Transport Endenergie (q13) (0.49)

In der Abbildung 19 hat im Zweig Leitzentrale Transport → Transport Endenergie → Verteilung leitungsgebundener Energie → Verfügbarkeit (Verkehr) der Faktor

„Leitzentrale Transport“ eine Wirkung von 0.49 auf den Faktor „Verfügbarkeit (Verkehr)“. Diese ergeben sich durch Multiplikation der Plus 17 Prozent Wirkung von „Leitzentrale Transport“ → Transport Endenergie und jeweils den Plus 17 Prozent von Transport Endenergie → Verteilung leitungsgebundener Energie und Verteilung leitungsgebundener Energie → Verfügbarkeit (Verkehr), d.h. Multiplikation von  $(+17) * (+0.17) * (+0.17)$  ergibt 0.49. Der Faktor „Leitzentrale Transport“ wirkt aber noch über weitere Wirkungswege, sodass am Ende die Summe seiner Wirkungen interessiert, welche auf der **x-Achse** der Erkenntnis-Matrix eingetragen wird.

Für die **y-Achse** werden **Wirkungsschleifen** berücksichtigt. Dabei gibt es ja im Allgemeinen selbstverstärkende und ausgleichende Rückkopplungsschleifen. In der Erkenntnis-Matrix werden nun nicht mehr nur die Anzahl der Schleifen berücksichtigt, in denen sich ein Faktor selbst befindet, sondern auch die Wirkung einer Schleife selbst und die Wirkung, mit der diese Schleife angestoßen wird. Bei größeren Modellen ist das durchaus eine sehr umfangreiche Berechnung.

Die nächste Abbildung zeigt die direkten Einflüsse in der **Wirkungskette** des Faktors „Transport Primärenergie“.

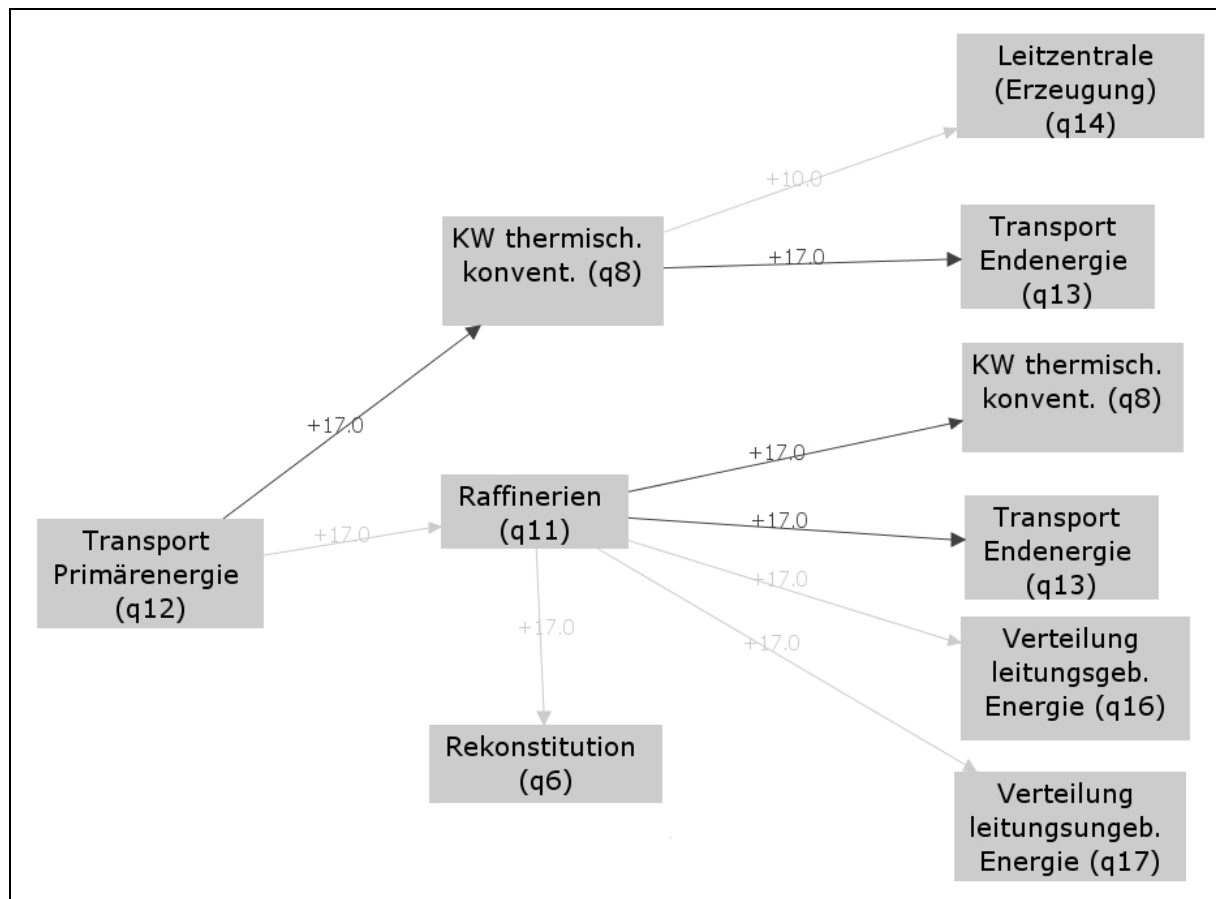


Abbildung 20: Wirkungskette des Faktors Transport Primärenergie



Nach Kai Neumann [Ref. 11] zeigt die Erkenntnis-Matrix also an, *welche Wirkung ein Faktor je Zeitschritt hat, und wie sich diese Wirkung möglicherweise aufgrund von Wirkungsschleifen je Zeitschritt ändert. Das bedeutet bei qualitativen Modellen, dass man sich bei der Gewichtung der Zusammenhänge überlegen muss, inwieweit je vorab festgelegtem Zeitschritt (bei qualitativen Modellen anders als bei quantitativen Modellen) handelt es sich nur um eine beschreibende Angabe der Zeiteinheit und des Zeitraums) eine schwache, mittlere oder starke Wirkung vorliegt. Werden zudem Wirkungsverzögerungen (Delays) bei den Verbindungspfeilen angegeben, schmälern diese den Einfluss im Sinne eines durchschnittlichen Wertes um 50 (mittelfristig) bzw. 75 (langfristig) Prozent.*

*Die meisten Modellierer interessiert Vieles von dem hier Beschriebenen berechtigterweise aber nicht. Für diese gilt, dass natürlichsprachliche Argumente, Prozesse u.ä. aufgezeichnet und grob gewichtet werden können, um hernach aus dem Vergleich von Maßnahmen oder Risiken einen echten Erkenntnisgewinn aus groben Annahmen zu erhalten. Dass ein qualitatives Modell dabei sehr wohl nahe an die Aussagekraft eines quantitativen Modells kommen kann - nur eben viel schneller - zeigt ein Projektbericht von Consideo für den Flughafen München [Ref. 18].*

### **4.3 Bemerkungen zur qualitativen Modellierung**

Projektziel, die Problemstellung, die Systemgrenze etc. wurden bislang beschrieben. Die Modell- Faktoren wurden gesammelt und (vor)geordnet Das kann man im „Kreativ“ – Schritt des Consideo – Modelers durchführen.

Der darauf folgende Arbeitsschritt – die qualitative Modellierung – erlaubte das übersichtliche Verbinden der Faktoren auch über miteinander zu verschachtelnde, so genannte Subsysteme hinweg.

Um über eine reine Visualisierung hinaus zu gehen, wurden die Verbindungen dann qualitativ gewichtet. Dabei wurden Faktoren durch andere Faktoren prozentual beeinflusst. Vorteil: Es entsteht kein Problem der Vergleichbarkeit von z.B. mehreren überproportional beeinflussenden Faktoren, denn wenn ein weiterer Faktor Einfluss auf einen anderen ausübt, wird der prozentuale Einfluss der anderen gemindert.

Die Wirkung von Faktoren aufeinander wurde über das entsprechende Eigenschaftsfenster der Verbindungen bzw. über die „Gewichtungsmatrix“ definiert.

Ziel der Gewichtungen ist es ja, die entscheidenden Einflussfaktoren aufgrund ihrer direkten und indirekten Einflussstärken sowie aufgrund ihres Vorkommens in selbstverstärkenden Rückkopplungsschleifen zu identifizieren: Das Ergebnis kann schließlich in der Einfluss-Matrix gesehen werden.

Die Einfluss-Matrix kann für jeden Faktor einzeln aufgerufen werden. Andere qualitative Ansätze (wie z.B. bei der Visualisierungssoftware GAMMA (Vester –

Ansatz) betrachten in der Regel eine Matrix für das gesamte Modell. Das hat aber den Nachteil, nicht zwingend die Einflussstärken der Faktoren hinsichtlich einer Zielgröße vergleichen zu können.

Eine Simulation des qualitativen Modells erfolgt nicht, da notwendige Unterscheidungen der Faktortypen und eine Entsprechung von realen Daten überhaupt erst mit System Dynamics möglich werden. Der Anwender kann aber bei Bedarf direkt ein System Dynamics Modell erstellen oder ein vorhandenes, qualitatives Modell jederzeit zu einem System Dynamics Modell erweitern. Das kann mit dem Consideo Modeler durchgeführt werden, so Kai Neumann in [Ref. 19].

## 5 Quantitative Modellierung, Simulation

Wenn Daten vorhanden sind und der Aufwand sich lohnt, können so die Wirkungen von Maßnahmen oder von Risiken ggf. wesentlich besser abgeschätzt werden als bei qualitativen Modellen. Hier spielt der Zeitablauf von Wirkungszusammenhängen eine wesentliche Rolle. Formeln und Daten können helfen, die zeitliche Dynamik des Modellsystems zu charakterisieren und damit das Modell zu quantifizieren. Was-wäre-wenn-Szenarien erlauben in einer Simulation die Bewertung unterschiedlicher dynamischer Systemkonfigurationen.

Hinter der quantitativen Modellierung steckt die Methode System Dynamics. Allerdings muss der Anwender diese nicht mehr zwingend kennen [Ref. 12]. Es reicht, wenn so genannte Bestandsfaktoren im Modell definiert werden. Ein Bestandsfaktor sind beispielsweise ein Kontostand, eine Materialmenge oder eine Motivation von Mitarbeitern, welche dann im Laufe der Zeit auf- oder abgebaut werden oder aber wie hier eine relative Verfügbarkeitsgröße zu einem bestimmten Zeitpunkt, die durch den Einfluss anderer Modellfaktoren zu - oder abnimmt. Die übrigen Faktoren erhalten im MODELER automatisch den richtigen Faktortyp, um zu einem simulationsfähigen Modell zu kommen.

Die quantitative Modellierung hat nach Dethloff [Ref. 13] die folgenden Vorteile:

1. Die Dynamik innerhalb der Ursache-Wirkungsbeziehungen wird modelliert, da sich die Wirkungsstärken zwischen den Faktoren im Laufe der Zeit ändern können.
2. Es können auch nichtlineare Beziehungen (progressiv, degressiv) zwischen den Faktoren modelliert werden.
3. Verzögerungen zwischen Ursache und Wirkungen können spezifischer in Form von zusätzlichen Bestandsgrößen modelliert werden.

Bestands- und Flussfaktoren, die exklusiv für die Änderung des Faktorengeflechts verantwortlich sind, sind die wohl wichtigsten Elemente eines quantitativen Modells (oder System Dynamics (SD) Modell), das außerdem auch noch Informations- und Inputfaktoren enthalten kann. Ausschließlich die Bestandsfaktoren können eine Historie speichern. Also was immer in der Vergangenheit falsch oder richtig gelaufen ist, die Ergebnisse dieser Handlungen werden in den Bestandsfaktoren gespeichert.

Bei der Beschreibung eines quantitativen Modells beobachtet man positive (verstärkende oder eskalierende) und negative (ausgleichende oder stabilisierende) Feedback-Schleifen. Damit ist die Beziehung zwischen den Bestandsfaktoren und den dazu gehörigen Flussfaktoren gemeint. Bei positivem Feedback existiert eine **proportionale** Beziehung zwischen Bestands- und Flussfaktor. Das bedeutet, je größer der Bestandsfaktor desto größer der Flussfaktor.

Bei negativem Feedback herrscht eine umgekehrt proportionale Beziehung vor - je größer der Bestandsfaktor desto kleiner der Flussfaktor.

Funktionen, die die Verbindungen zwischen den Faktoren quantifizieren, müssen entweder monoton fallend oder steigend sein. Das resultiert aus der qualitativen Modellierung. Entweder ist die Wirkungsrichtung „+“ oder „-“.

## 5.1 Anpassung des qualitativen Modells

### 5.1.1 Bestandsfaktor(en)

Im Falle der „Funktionsfähigkeitsanalyse der Energieversorgung“ muss man die generelle Struktur des Modells nur geringfügig anpassen, damit man quantifizieren und simulieren kann (siehe folgende Abbildung). Im Wesentlichen muss lediglich das Submodell „Funktionsfähigkeit“ folgendermaßen gestaltet werden.

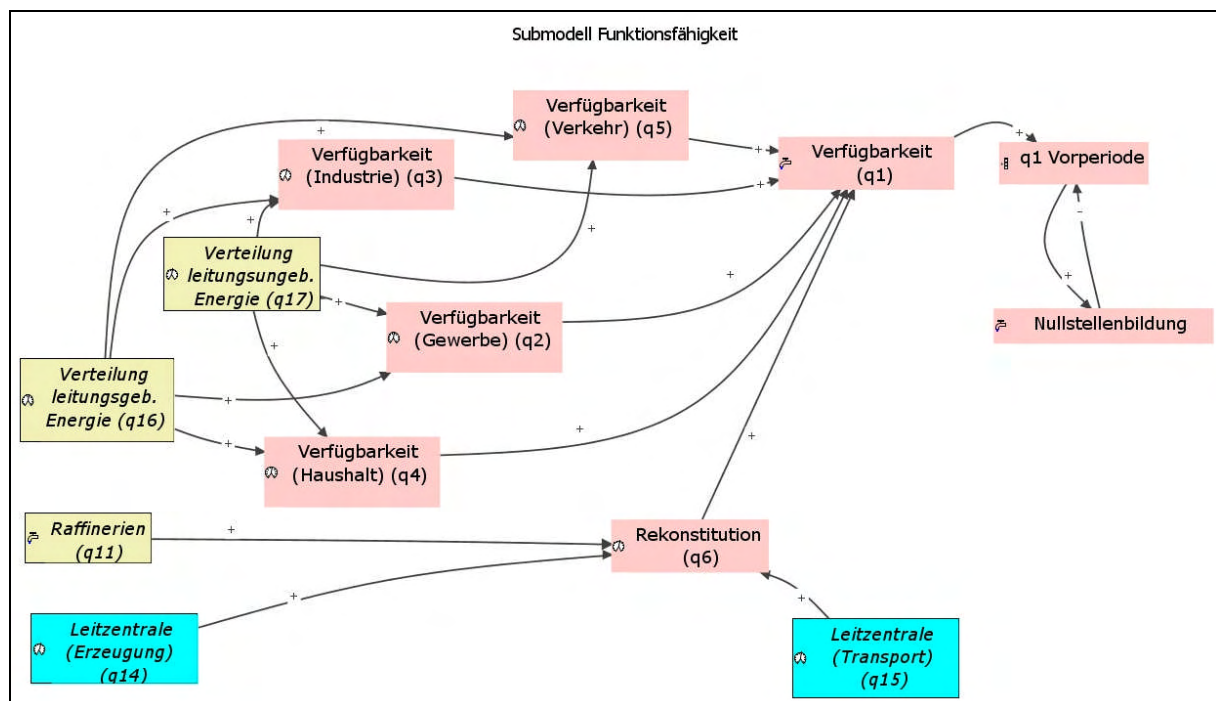


Abbildung 21: Submodell Funktionsfähigkeit (quant.) mit Bestandsfaktor

Man benötigt zur Quantifizierung und Simulation mindestens einen Bestands-Faktor in dem Modell. Ein Bestands-Faktor (Stapel-Symbol)<sup>3</sup> ist ein kumulierter Wert, der über die Zeit von anderen Faktoren – so genannten Flussfaktoren (zu erkennen am Wasserhahnsymbol<sup>3</sup>) – erhöht oder reduziert wird. Dies ist der Faktor „Verfügbarkeit

<sup>3</sup> Man unterscheidet zwischen Bestands-, Fluss-, Informations- und Input-Faktoren (Wertereihe oder konstante Werte ). Querstriche durch Verbindungslinien deuten Zeitverzögerungen bei der Wirkung an.

(q1) Vorperiode“ in unserem Beispiel, der jeweils zum Ende einer Berechnungsperiode durch eine Nullstellenbildung geleert wird, damit dieser nicht ins Unermessliche ansteigt. Dies ist in etwa mit der Erstellung einer Funktionsbilanz vergleichbar. Im Simulationsmodell würde man über die gesamte Betrachtungszeitspanne das Aufsaldieren der jeweiligen Bestandswerte erhalten (vergleiche im Anhang das selbsterklärende Mini-Modell mit/ohne Nullstellenbildung). Diese Ergebnis-Aufsaldierung ist für das Beispiel der Funktionsfähigkeit der Energieversorgung ohne praktischen Nutzen oder Erkenntniswert. Man ist im vorliegenden Beispiel eher interessiert an der zeitlichen Schritt-für-Schritt-Entwicklung der „Verfügbarkeit (q1)“ der Energieversorgung. Daher wird der Wert „Verfügbarkeit (q1) Vorperiode“ zu Beginn eines neuen Zeitschritts auf 0 gesetzt – durch eine Nullstellenbildung. Gespeist wird die Bestandsgröße durch die aktuelle Verfügbarkeit (q1) in Abhängigkeit von den Erfüllungsgraden der Faktoren q2 bis q6, d.h. Verfügbarkeit (Gewerbe), Verfügbarkeit (Industrie), Verfügbarkeit (Haushalt), Verfügbarkeit (Verkehr), Rekonstitution. Um diese Struktur zu erhalten, müssen man lediglich den Faktor „Verfügbarkeit (q1) Vorperiode“ als Bestandsfaktor definieren – über das Kontextmenu des Faktors. Alle anderen Faktortypen werden dann automatisch definiert.

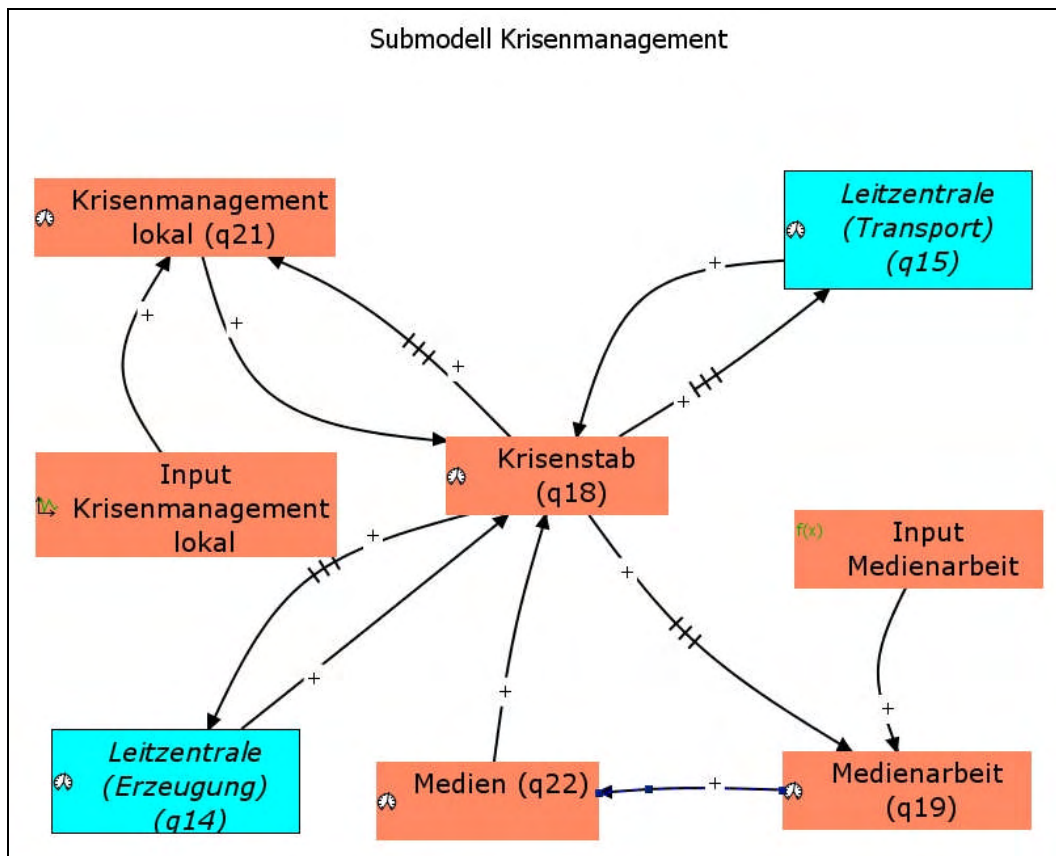


Abbildung 22: Submodell Krisenmanagement (quant.)

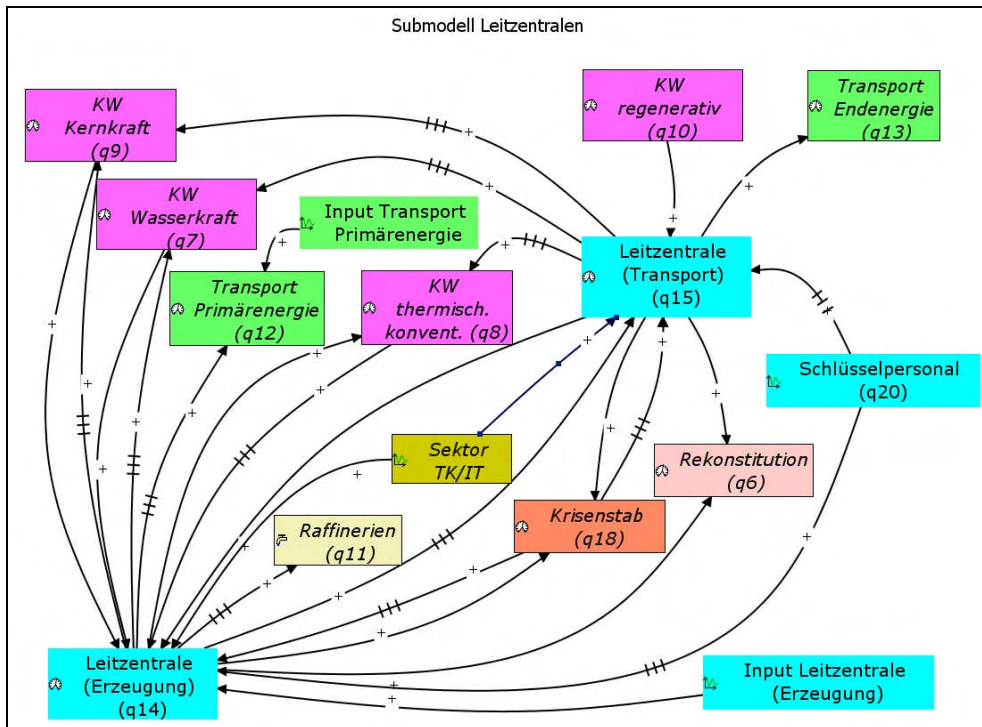


Abbildung 23: Submodell Leitzentralen (quant.)

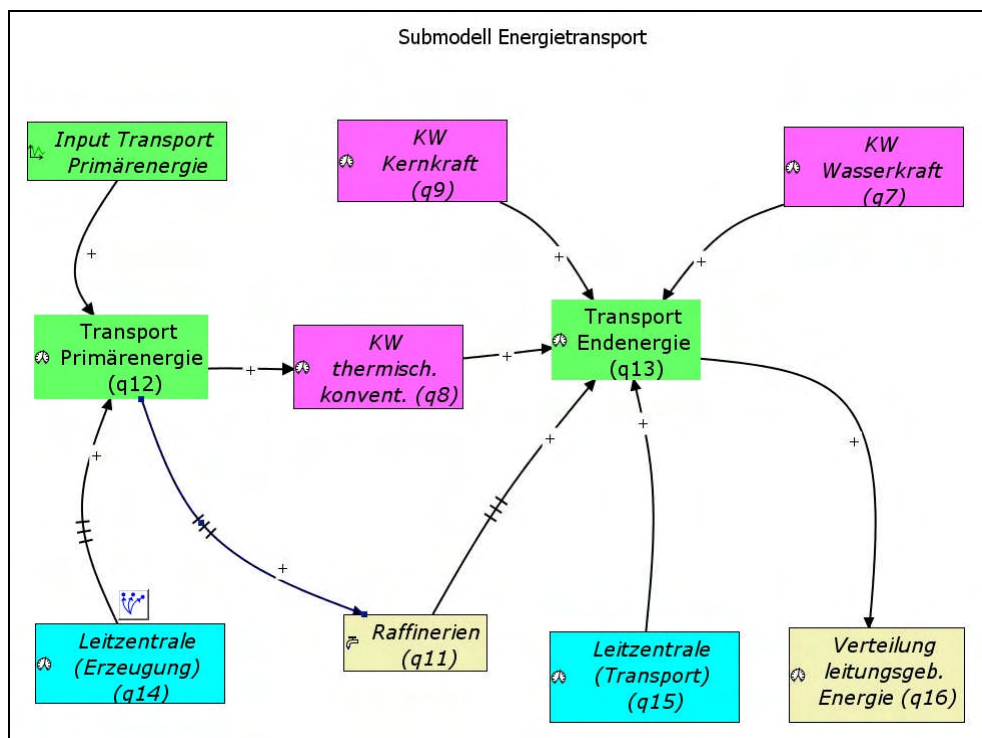


Abbildung 24: Submodell Energietransport (quant.)



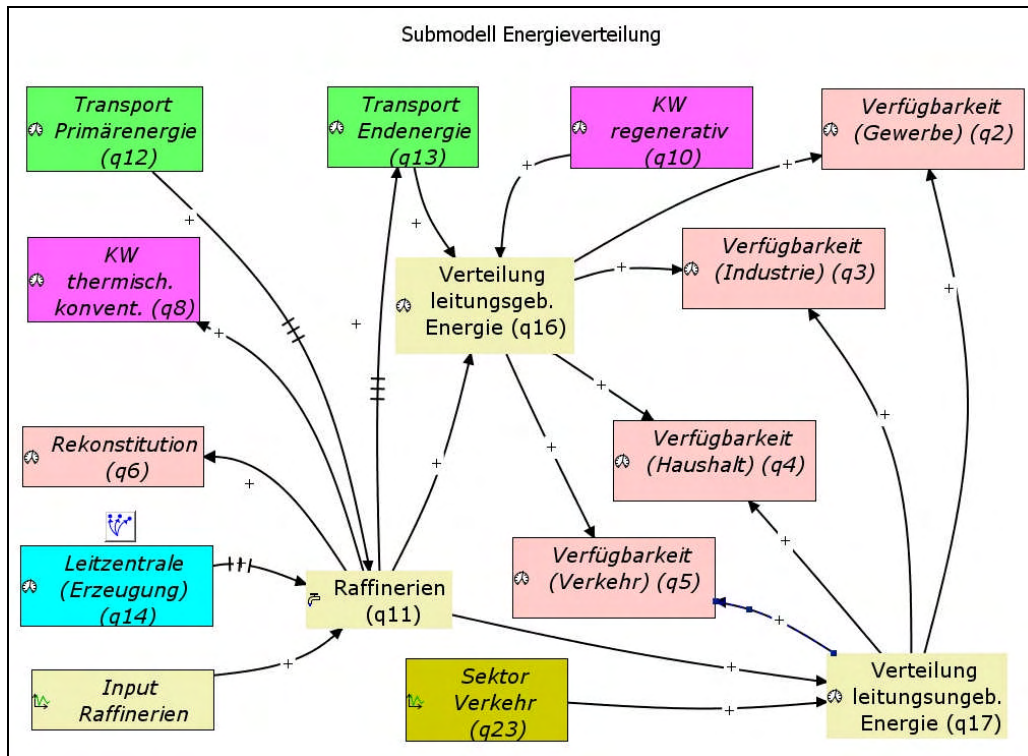


Abbildung 25: Submodell Energieverteilung (quant.)

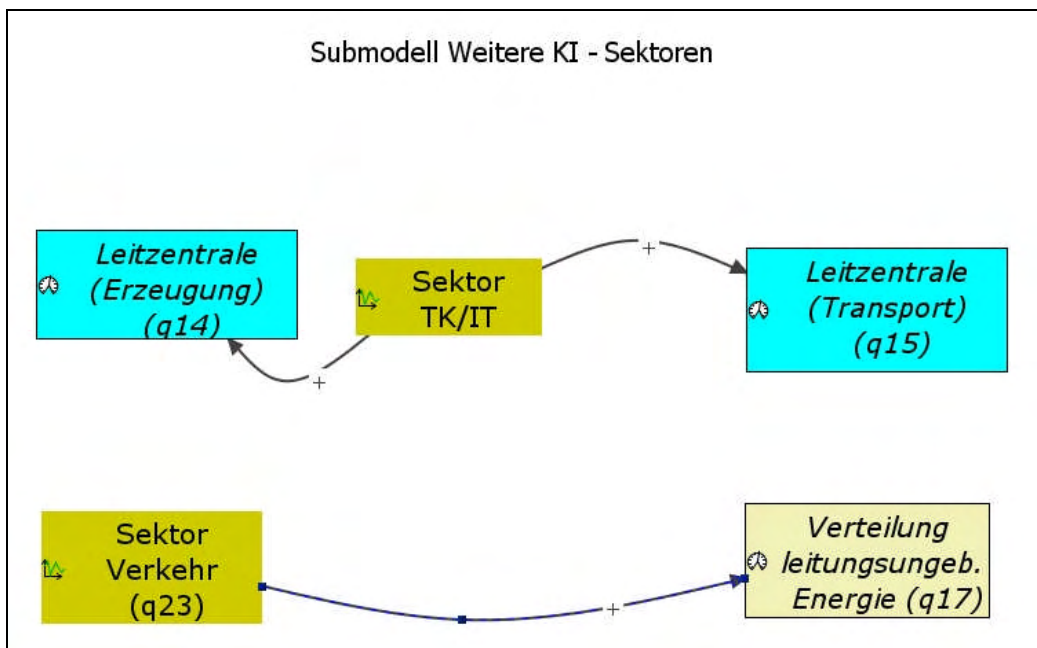


Abbildung 26: Submodell Weitere KI-Sektoren (quant.)

## 5.1.2 Faktoren und deren Quantifizierung

### Faktoren „halb-quantifizieren“

Nach [Ref. 17] sind alle Faktoren nacheinander zu quantifizieren, in dem man das Eigenschaften-Fenster des jeweiligen Faktors per Doppelklick öffnet. In dem Eigenschaften-Fenster werden sämtliche mit dem selektierten Faktor direkt verbundenen Faktoren aufgelistet.

Diese Faktorenliste muss bei der Erstellung der Formel berücksichtigt werden. Durch Doppelklick auf die aufgelisteten Faktoren erscheinen diese im Formelfenster. Nun kann die Formel direkt per Tastatur oder über das Tastenfeld des Consideo Modelers eingegeben werden.

Für die Funktionsfähigkeitsanalysen unseres Modells ist es empfehlenswert, lediglich „halb-quantitative“ Formeln zu verwenden. Im Grunde genommen sollen ja nur die Erfüllungsgrade der Faktoren berechnet werden. Hierfür reicht die Verwendung eines einheitlichen Indexes, der den Erfüllungsgrad einheitlich in % (0-100) darstellt. Der Erfüllungsgrad eines Faktors ergibt sich direkt aus den Erfüllungsgraden der beeinflussenden Faktoren unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Einfluss-Stärken (Gewichtungen aus der qualitativen Analyse!), die ebenfalls in Prozent angegeben werden, so [Ref. 17]. Aus dieser einheitlichen Logik heraus, können alle Faktoren, die von anderen Faktoren beeinflusst werden, wie folgt quantifiziert werden:

**Erfüllungsgrad des selektierten Faktors = Erfüllungsgrad Einflussfaktor A \* Einfluss-Stärke Einflussfaktor A + Erfüllungsgrad Einflussfaktor B \* Einfluss-Stärke Einflussfaktor B + ...**

**Eigenschaften - Nicht-Bestands-Faktor "Leitzentrale (Transport) (q15)"**

Beschreibung | Formel-Editor | Wertebeziehung | Vergleichswerte 1 | Vergleichswerte 2

Abhängigkeiten:

Name	Wirkung	Einheit
KW regenerati...	+	UNDIM.
Krisenstab (q18)	+	UNDIM.
Leitzentrale (E...	+	UNDIM.
Schlüsselperso...	+	UNDIM.
Sektor TK/IT (...)	+	UNDIM.

Funktionen | Tastenfeld

←	→	Entf	exp()	<>
^	%	/	*	>
7	8	9	-	>=
4	5	6	+	==
1	2	3	(	<=
0	.	,	)	<

Formel: [KW regenerativ (q10)]\*0.15+[Krisenstab (q18)]\*0.14+[Leitzentrale (Erzeugung) (q14)]\*0.27+[Schlüsselpersonal (q20)]\*0.17+[Sektor TK/IT (q24)]\*0.27

**Tabelle 4: Beispiel Quantifizierung mit Formel**



Leitzentralen		1	2	3	4	5
1	Leitzentrale (Erzeugung) (q15)		27			
2	Leitzentrale (Transport) (q15)	20				
3	Schlüsselpersonal (q20)	10	17			
4	Input Leitzentrale (Erzeugung)	10				
5	Input Transport Primärenergie					
6	Krisenstab (q18)	10	14			
7	Sektor TK/IT (q24)	20	27			
8	KW Wasserkraft (q7)	10				
9	KW thermisch. konvent. (q8)	10				
10	KW regenerativ (q10)		15			
11	KW Kernkraft (q9)	10				
	Summe	100	100	0	0	0

Tabelle 5: Auszug Gewichtungsmatrix zur Formel-Quantifizierung

Durch diese einfache Vorgehensweise kann man das Modell innerhalb kürzester Zeit quantifizieren – der Mehraufwand bleibt somit überschaubar, so [Ref. 17].

### Normierung Zielfaktor:

Es empfiehlt sich nach [Ref. 17], den Erfüllungsgrad des gewünschten Zielfaktors (im vorliegenden Modellfall ist das die „Verfügbarkeit der Energieversorgung (q1)“ zu normieren. Alle den Zielfaktor beeinflussenden Faktoren haben Werte zwischen 0 und 1. Will man also für den Erfüllungsgrad der Zielgröße q1 Prozentwerte zwischen 0 und 100 wählen schreibt man einfach

**Erfüllungsgrad (in %) des selektierten Faktors = (Erfüllungsgrad Einflussfaktor A \* Einfluss-Stärke Einflussfaktor A + Erfüllungsgrad Einflussfaktor B \* Einfluss-Stärke Einflussfaktor B + ...) \* 100**

### Startniveau für die „Normalbedingungen“:

Es steht für die Untersuchungen frei, ob man annimmt, dass die quantitative Untersuchung bzw. die Simulation von einem Erfüllungsgrad des Modellsystems unter „Normalbedingungen“ von 70 % oder 80 % oder 90 % ausgeht, je nach den „Umgebungsbedingungen“ des Systems.

## 5.1.3 Zeitverzögerungen

Um nach der Festlegung von mindestens einem bzw. mehreren Bestandfaktoren auf ein valides System Dynamics Modell zu kommen, müssen nun ggf. **Zeitverzögerungen** und eventuell noch **Input - Faktoren** im quantitativen Modell berücksichtigt werden. Dabei kann man die Unterstützung des Consideo Modelers mit seinen Quick-Fix Hinweisen nutzen (<Hilfe> → <Zeige Probleme>). Ausführliche mathematische Begründungen für diese eventuell notwendigen Ergänzungen zum System Dynamics Modell findet man in den Arbeiten von T. Binder et al [Ref. 23] und J.R. Burns [Ref. 24].

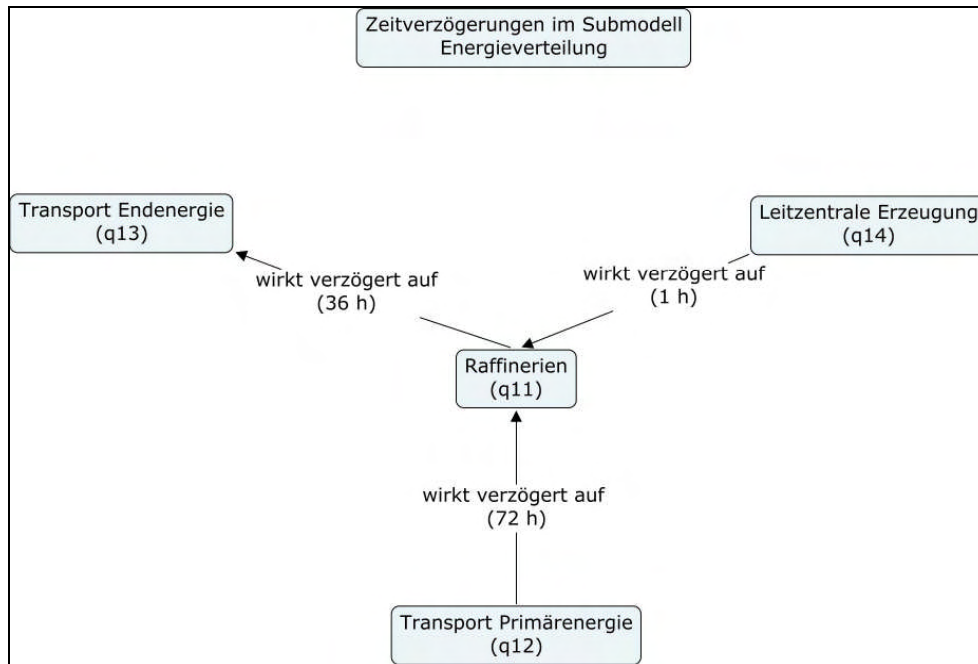


Abbildung 27: Zeitverzögerungen im quant. Submodell Energieverteilung

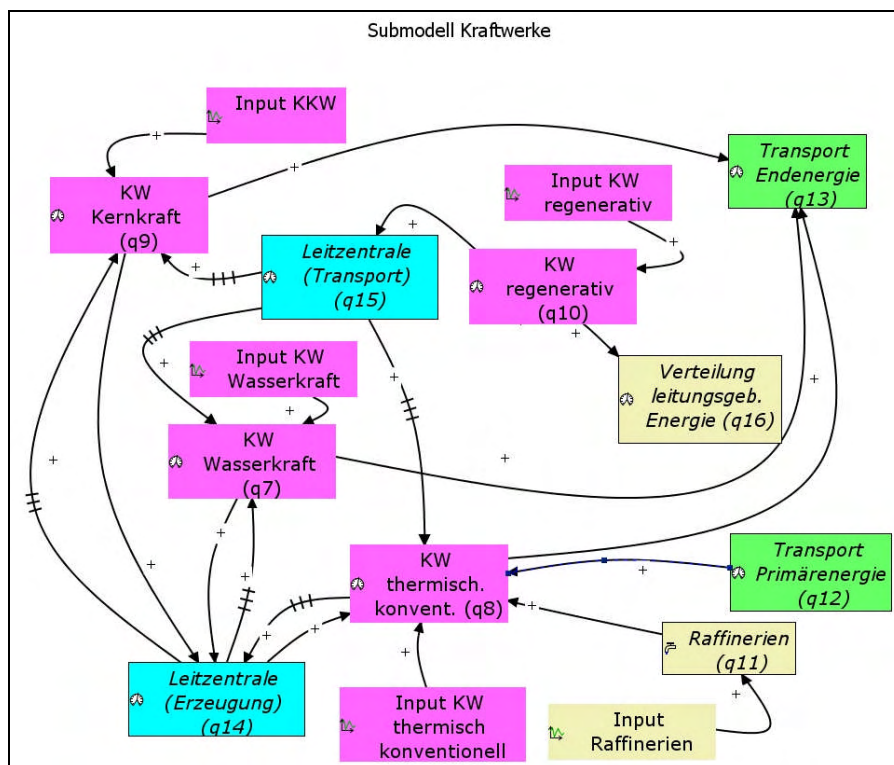



Abbildung 28: Beispiel von Verzögerungen und Inputs in quant. Submodellen

Bei der schnellen Übernahme der qualitativen in eine quantitative Struktur ist ja u. A. die zeitliche Dimension zu bedenken.

In vernetzten Modellstrukturen gibt es diverse Wirkungsschleifen, aber man muss fragen: Wo ist der zeitliche Start- und Endpunkt der Schleife? Mit welchem Wert soll bei der Simulation begonnen und bei welchem gestoppt werden, um im nächsten Zeitschritt weiter zu rechnen?

Um solche Starts und Enden zu modellieren, kann man entweder neue Bestands-Faktoren einbauen oder mit **Verzögerungen** und Input-Faktoren arbeiten (siehe Abbildung 28). **Input-Faktoren** sind Faktoren, die von keinem weiteren Faktor beeinflusst werden.

Auch bei den Input-Faktoren kann man den Prozentansatz als halb-quantitative Vorgehensweise wählen, um das zeitliche Verhalten des Faktors und somit die Wirkung des Faktors z.B. im Sinne eines Störfall-Szenarios zu beschreiben. Dazu sind eine graphische Darstellung bzw. eine Wertereihe  oder konstante Werte  $f(x)$  als Eingabe verwendbar.

#### 5.1.4 Input- Faktoren

Neben der Berücksichtigung von Zeitverzögerungen sind nach der Festlegung von Bestandfaktoren eventuell noch Input – Faktoren zu ergänzen, um auf ein valides System Dynamics Modell zu kommen.

Die Faktoren mit den Namen „Input XYZ“ wurden aus System Dynamics Gründen der vernetzten quantitativen Struktur des vorliegenden Modells hinzugefügt.

Fast alle Input-Faktoren aus den Submodellen <Kraftwerke>, <Krisen-Management>, <Leitzentralen>, <Weitere KI-Sektoren> werden für ein späteres Simulations-Cockpit als sogenannte Tabellen-Manipulatoren angelegt. Zu Demonstrationszwecken wurde der Faktor „Input Medienarbeit“ aus dem Submodell <Krisen-Management> als Parameter-Manipulator und der Faktor „Krisenmanagement lokal“ als Diagramm-Manipulator (die Kurve kann dann mit Mouseover verändert werden) angelegt.

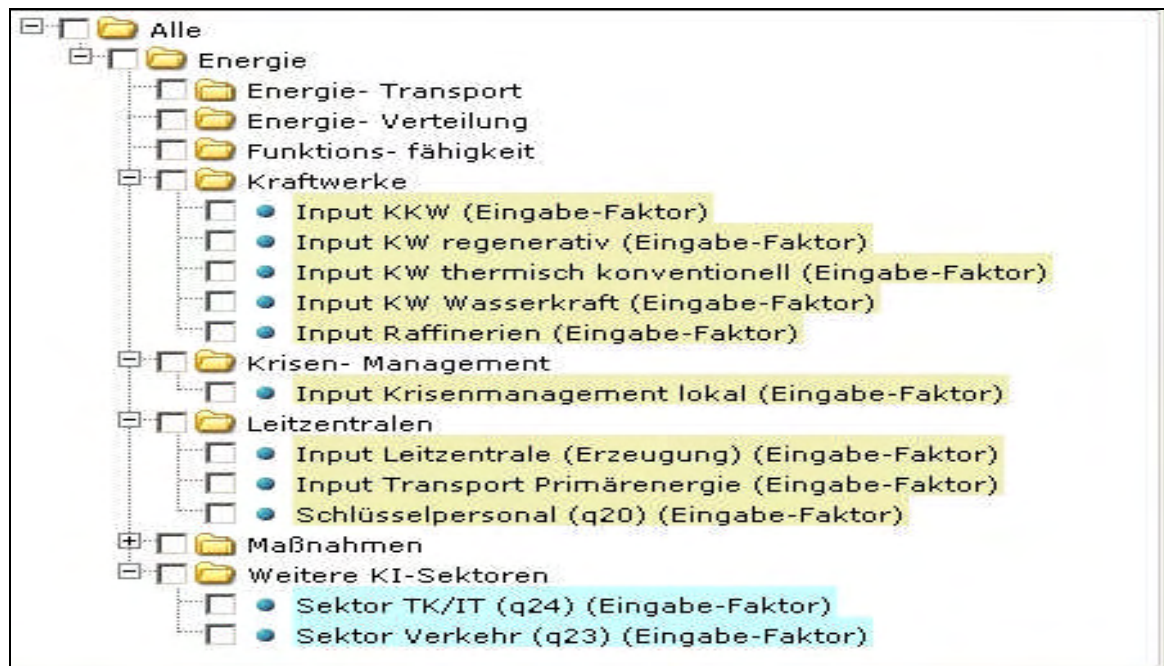


Tabelle 6: Übersicht Input – Möglichkeiten in das Modell

## 5.2 Simulation

Die vorliegende Präsentation des Energieversorgungsmodells als qualitatives und quantitatives Consideo Modell soll lediglich die Möglichkeiten und Fähigkeiten des Software-Tools im Anwendungsbereich der Kritischen Infrastrukturen aufzeigen. Es geht also nur darum zu zeigen, dass analysierende und visualisierende Werkzeuge vorhanden sind und auch intuitiv angewandt werden können, um Entscheidungshilfe beim Krisenmanagement verletzlicher Infrastrukturen anzubieten. Es ersetzt keinesfalls die Diskussion der Experten untereinander und die flexible Anpassung der Modellierung nach erfolgten fachlichen Abstimmungen. Anregungen, Ergänzungen, Kritik können umgehend in eine Verbesserung des Modells einfließen.

Modell und Szenarien sind fiktiv gewählt, auch wenn man manchmal geneigt ist, Parallelen zu aktuellen politischen Ereignissen in Nordafrika, zu zahlreichen Naturereignissen in Europa / Asien und zu technischen Katastrophen zu ziehen.

Zurück zum fiktiven Modell der Energieversorgung:

Die Netzstruktur der relevanten Faktoren wurde der entsprechenden Struktur aus [Ref. 15] nachempfunden. Die qualitativen prozentualen Gewichtungen der Netzverbindungen der Faktoren sind fiktiv und den Nebenbedingungen von Consideo angepasst, können aber jederzeit einfach geändert werden.

Die Zeitverzögerungen zwischen Faktoren im quantitativen Modell sind zum Teil einschlägiger Literatur / Artikeln entnommen, wie z.B. dem Krisenhandbuch Stromausfall [Ref. 21] bzw. dem Bericht von W. Schmitz [Ref. 22]. Laut [Ref. 21]

kann z.B. eine Raffinerie bei Stromausfall durch ihre eigenen technischen Möglichkeiten und Rohmaterial – Lagerkapazitäten die Störungen bei der Anlieferung von Primärenergie bis zu 72 Stunden überbrücken. Andere Zeitverzögerungen sind jedoch fiktiv angenommen. Eine Übersicht der gewählten Zeitverzögerungen im quantitativen Modell findet man in den Abbildungen (YYYY).

In Form eines Simulations-Cockpits wird die Zielgröße - im vorliegenden Modell ist das die Größe „Verfügbarkeit Energieversorgung (q1)“ - als Grafik dargestellt. Die x-Achse stellt die Zeitachse über den Betrachtungszeitraum dar, die y-Achse beschreibt den Erfüllungsgrad der Verfügbarkeit in Prozent. Die nächste Grafik zeigt ein Beispiel-Startfenster.



Abbildung 29: Beispiel – Startfenster für die Simulation Verfügbarkeit Energieversorgung

Eine Würdigung der Graphiken der Simulation ist erst dann sinnvoll möglich, wenn die Annahmen der Simulation offengelegt und Szenarien beschrieben werden.

## 5.2.1 Annahmen der Simulation

- Alle Faktorwerte liegen zwischen 0.0 und 1.0
- Erfüllungsgrad (Startniveau) des Zielfaktors „Verfügbarkeit der Energieversorgung (q1)“ bei „Normalbedingungen“: 70 %
- Erfüllungsgrad (Startniveau) der Input- Faktoren bei „Normalbedingungen“: 70 %
- Betrachtungszeitraum: 2 Monate = 1440 Stunden

- Verzögerungen des Einflusses der Faktoren untereinander (wie in den Verzögerungs-Grafiken beschrieben)

### 5.2.2 Annahmen der Szenarios

- **Szenario 0 (Sz 0) (Normalbedingungen):** Alle variierbaren Inputfaktoren liegen bei Erfüllungsgrad von 70 % über den gesamten Zeitraum  $t=1$  bis  $t=1440$  h
- **Szenario 0 (Sz 1):** Alle variierbaren Inputfaktoren liegen bei Erfüllungsgrad von 70 % über den gesamten Zeitraum  $t=1$  bis  $t=1440$  h mit Ausnahme von:
  - **Ausfall Faktor Transport Primärenergie (q12)** von  $t=150$  bis  $t=1000$  h
- **Szenario 0 (Sz 2):** Alle variierbaren Inputfaktoren liegen bei Erfüllungsgrad von 70 % über den gesamten Zeitraum  $t=1$  bis  $t=1440$  h mit Ausnahme von:
  - **Ausfall Faktor Raffinerien (q11)** von  $t=200$  bis  $t=1000$  h
- **Szenario 0 (Sz 3):** Alle variierbaren Inputfaktoren liegen bei Erfüllungsgrad von 70 % über den gesamten Zeitraum  $t=1$  bis  $t=1440$  h mit Ausnahme von:
  - **Ausfall Faktor Sektor Verkehr (q23)** von  $t=250$  bis  $t=1000$  h
- **Szenario 0 (Sz 4) (Kombinationsszenario):** Alle variierbaren Inputfaktoren liegen bei Erfüllungsgrad von 70 % über den gesamten Zeitraum  $t=1$  bis  $t=1440$  h mit Ausnahme von:
  - **Ausfall Faktor Transport Primärenergie (q12)** von  $t=150$  bis  $t=1000$  h
  - **Ausfall Faktor Raffinerien (q11)** von  $t=200$  bis  $t=1000$  h
  - **Ausfall Faktor Sektor Verkehr (q23)** von  $t=250$  bis  $t=1000$  h

Die Szenarien Sz 1 bis Sz 3 wurden wegen ihrer unterschiedlichen Position in der vernetzten Systemstruktur der Energieversorgung gewählt. Die Versorgung mit Primärenergie (z.B. Öl) steht eher am Anfang des Energieversorgungsprozesses, während die Raffinerien das Rohmaterial Öl zur Verarbeitung benötigen. Bis die veredelten Produkte, die z.B. von den Raffinerien stammen, dann beim Endverbraucher landen, sind u.a. auch die Verkehrsverhältnisse von außerordentlicher Bedeutung. Jeweils nach den Störungen erfolgen Rekonstitutionsbemühungen, die bei Ende des Betrachtungszeitraums wieder zu „Normalbedingungen“ führen können.

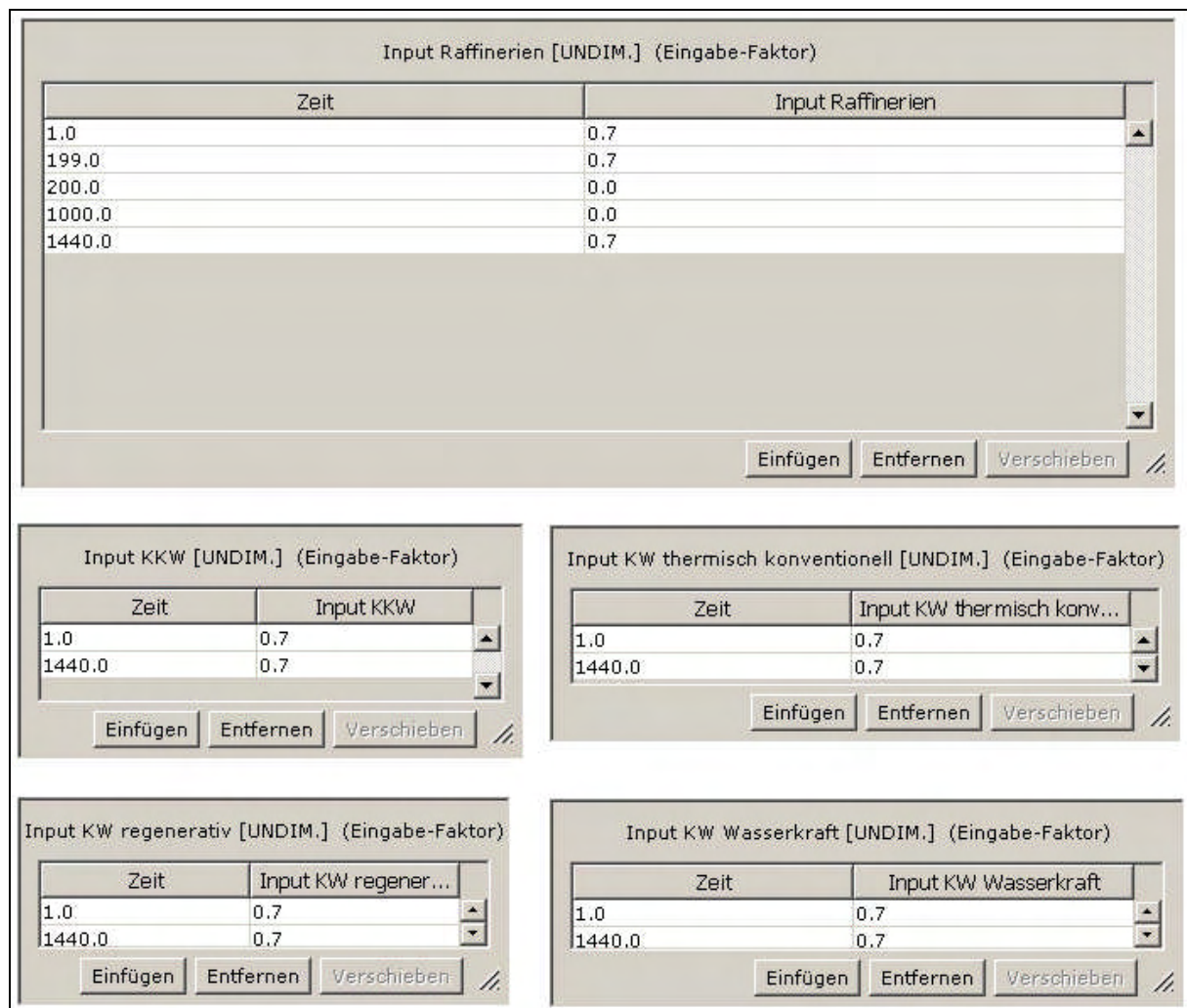
### 5.2.3 Eingabe-Manipulatoren Simulations-Cockpit

Für das Simulations-Cockpit werden eine ganze Reihe von Möglichkeiten zur Hinzufügung bereitgestellt:



Diagramme, Tabellen, ausgewählte Werte, Schiebe-Manipulatoren, Diagramm-Manipulatoren, Tabellen-Manipulatoren, Mehrfach-Tabellen-Manipulatoren, Parameterlisten, Wechselwirkungsdiagramme, sowie Texte und Bilder.

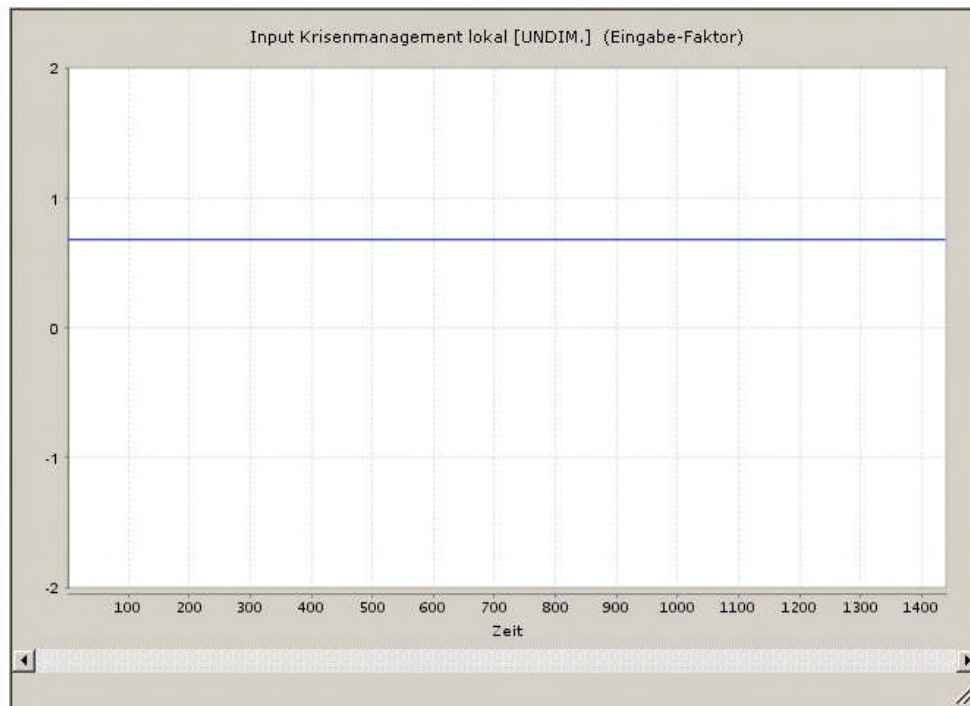
Wie bereits in Kapitel 5.1.4 erwähnt, werden fast alle Input-Faktoren aus den Submodellen <Kraftwerke>, <Krisen-Management>, <Leitzentralen>, <Weitere KI-Sektoren> für das Simulations-Cockpit als sogenannte Tabellen-Manipulatoren angelegt. Zu Demonstrationszwecken wurde der Faktor „Input Medienarbeit“ aus dem Submodell <Krisen-Management> als Parameter-Manipulator und der Faktor „Krisenmanagement lokal“ als Diagramm-Manipulator (die Kurve kann dann mit Mouseover verändert werden) angelegt.



**Abbildung 30: Input – Manipulatoren aus dem Submodell Kraftwerke**



Parameterliste	
Faktor	Wert
Input Medienarbeit	0.7



**Abbildung 31: Input – Manipulatoren aus dem Submodel Krisenmanagement**

Input Transport Primärenergie [UNDIM.] (Eingabe-Faktor)

Zeit	Input Transport Primärenergie
1.0	0.7
149.0	0.7
150.0	0.0
1000.0	0.0
1440.0	0.7

EinfügenEntfernenVerschieben

Input Leitzentrale (Erzeugung) [UNDIM.] (Eingabe-Faktor)

Zeit	Input Leitzentrale (Erzeugung)
1.0	0.7
1440.0	0.7

EinfügenEntfernenVerschieben

Schlüsselpersonal (q20) [UNDIM.] (Eingabe-Faktor)

Zeit	Schlüsselpersonal (q20)
1.0	0.7
1440.0	0.7

EinfügenEntfernenVerschieben

Abbildung 32: Input – Manipulatoren aus dem Submodell Leitzentralen

Sektor Verkehr (q23) [UNDIM.] (Eingabe-Faktor)

Zeit	Sektor Verkehr (q23)
1.0	0.7
249.0	0.7
250.0	0.0
1000.0	0.0
1440.0	0.7

Sektor TK/IT (q24) [UNDIM.] (Eingabe-Faktor)

Zeit	Sektor TK/IT (q24)
1.0	0.7
1440.0	0.7

Abbildung 33: Input – Manipulatoren aus dem Submodell Weitere KI - Sektoren

## 5.2.4 Analyse der Ergebnisse im Simulations-Cockpit

Durch „Einfrieren“ der jeweiligen Simulationsergebnisse der Szenarien Sz 0 bis Sz 4 lassen sich die Ergebnisse aus einer Ergebnis-Grafik heraus diskutieren.

Mit den gewählten Annahmen zum Modell „Energieversorgung“ liegt ein „selbstverstärkendes“ (ohne ausgleichende Schleifen) vernetztes System vor, dass bei 70 % Erfüllungsgrad (Verfügbarkeit) startet und nach etwa 100 Zeiteinheiten in einen stabilen Systemzustand im **Normalfall (Sz 0)** mit einem Erfüllungsgrad von knapp 89 % einschwingt.

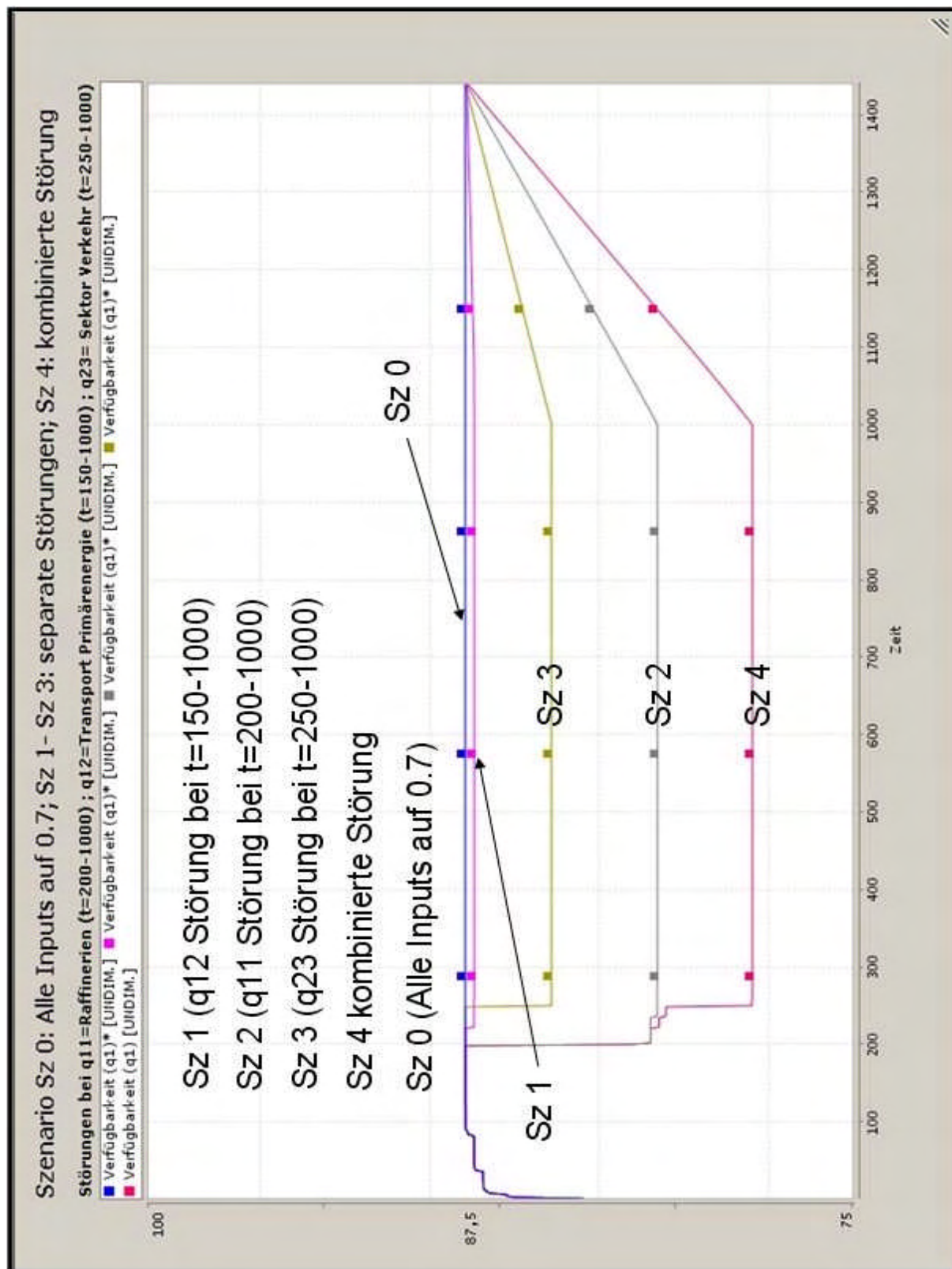


Abbildung 34: Gesamt – Diagramm Simulation Verfügbarkeit Energieversorgung

Das **Szenario (Sz 1)** startet zwar bei  $t=150$ , wirkt sich aber erst nach mehr als 70 weiteren Zeiteinheiten (etwa ab  $t=220$ ) aus.

Das ist der Zeitverzögerung von 72 Stunden geschuldet, die in der Grafik aus Kapitel 5.1.3 angezeigt wurde. Die Auswirkungen des Ausfalls des Faktors „Transport Primärenergie“ sind aufgrund der vergleichsweise geringen fiktiven Gewichtungen zu anderen Faktoren und der Position im vernetzten System nachvollziehbar. Der Gesamt- Erfüllungsgrad der Verfügbarkeit des gestörten Systems pendelt sich bei 88 % ein.

Das **Szenario (Sz 2)** startet bei  $t=200$ , wirkt sich aber erst nach mehr als 36 weiteren Zeiteinheiten (etwa ab  $t=236$ ) aus.

Das ist der Zeitverzögerung von 36 Stunden geschuldet, die zwischen Faktor „Raffinerie “ und Faktor „Transport Endenergie“ über weitere Faktoren auf den Faktor „Sektor Verkehr (q23)“ auf damit auf den Zielfaktor wirkt.

Raffinerien übernehmen eine recht bedeutsame Mittelstellung für die Energieversorgung. Die Auswirkungen des Ausfalls des Faktors „Raffinerien“ sind aufgrund der fiktiven Gewichtungen zu anderen Faktoren und der Position im vernetzten System stärker ausgeprägt. Der Gesamt- Erfüllungsgrad der Verfügbarkeit des gestörten Systems pendelt sich bei etwas mehr als 82 % ein.

Das **Szenario (Sz 3)** startet bei  $t=250$ , wirkt sich unmittelbar aus.

Der KI-Sektor Verkehr (q3) hat eine nicht unerhebliche Stellung für die Bereitstellung und den Transport von Energie. Die Auswirkungen des Ausfalls des Faktors KI-Sektor Verkehr (q23) sind aufgrund der fiktiven Gewichtungen zu anderen Faktoren und der Position im vernetzten System etwas schwächer als im Szenario Sz 2 ausgeprägt. Der Gesamt- Erfüllungsgrad der Verfügbarkeit des gestörten Systems pendelt sich bei etwas mehr als 85 % ein.

Das **Szenario (Sz 4)** ist das Kombinations-Szenario aus Sz 1 bis Sz 3.

Der Gesamt- Erfüllungsgrad der Verfügbarkeit des gestörten Systems pendelt sich bei etwas mehr als 78 % ein. Die unterschiedlichen Einsetzpunkte der Störungen und die angenommenen Verzögerungen spiegeln sich auch im Ergebnis des Kombinations-Szenarios wieder.

Das fiktiv gewählte Systemmodell und die getroffenen Annahmen über Abhängigkeiten und Verzögerungen sind wohl zur Demonstration, nicht aber zur weiteren „inhaltlichen“ Simulationsinterpretation geeignet.

# Anhang

# Anhang 1: Nullstellenbildung

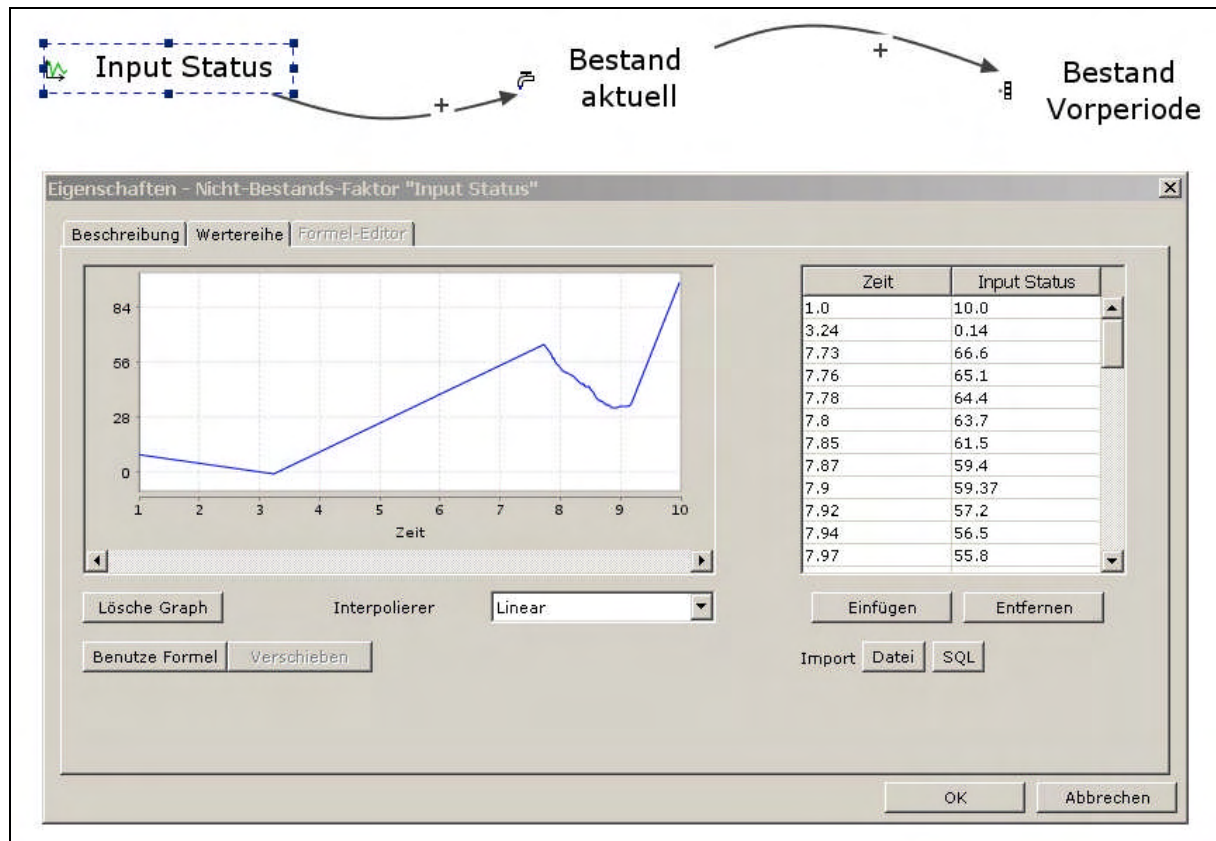


Abbildung 35: Input für Test Nullstellenbildung

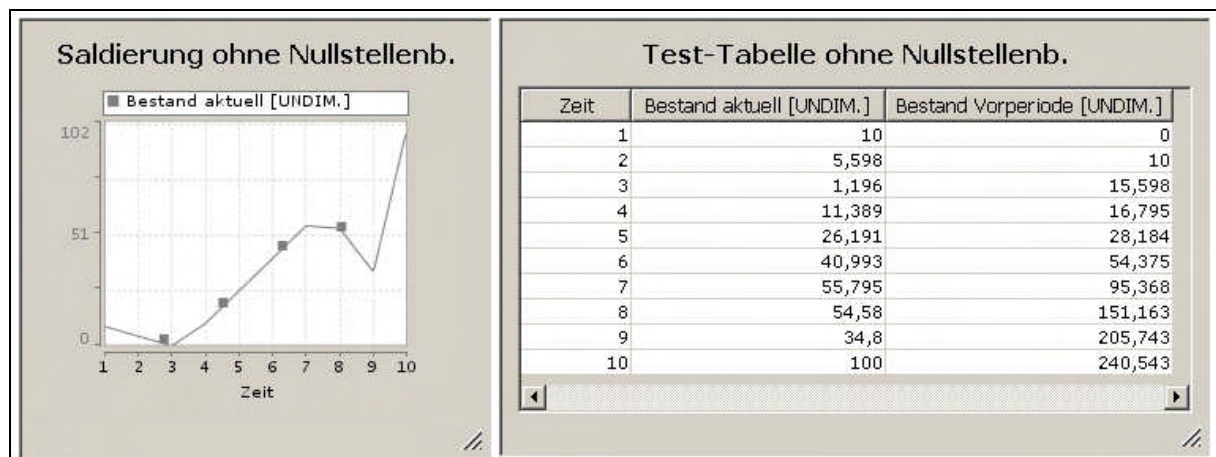


Abbildung 36: Saldierung Bestand ohne Nullstellenbildung



aaaa

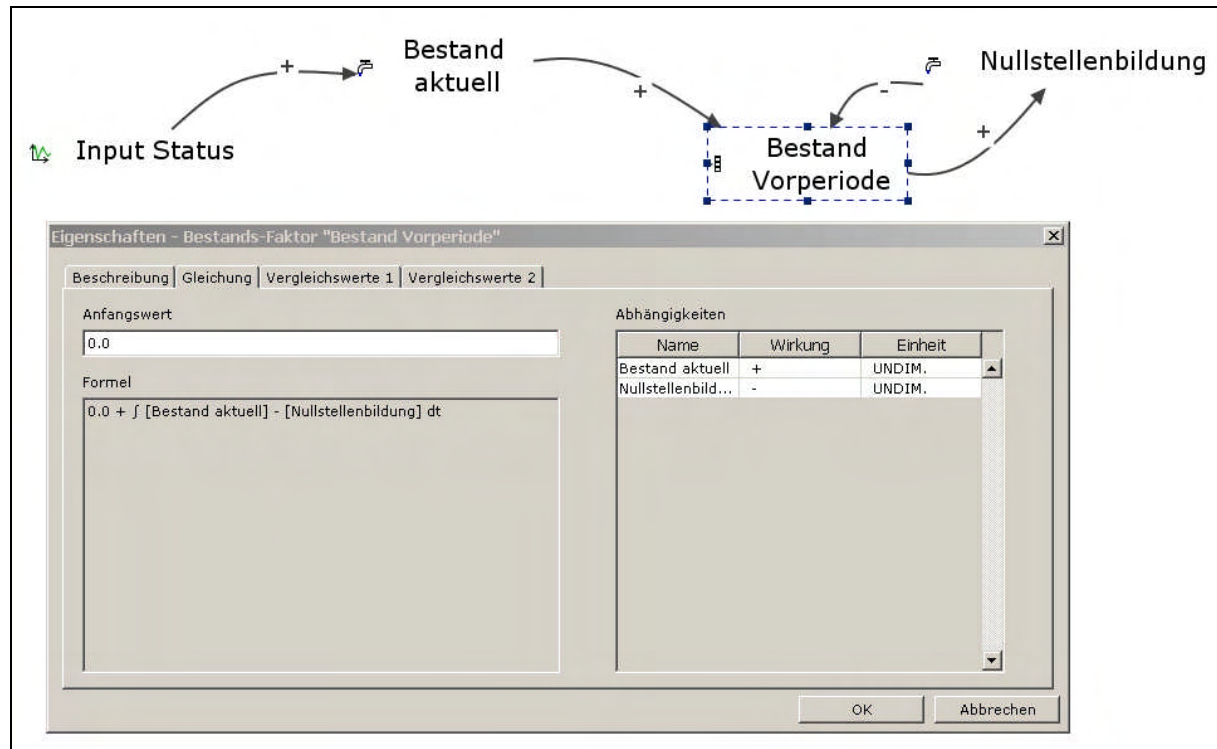


Abbildung 37: Nullstellenbildung Bestand

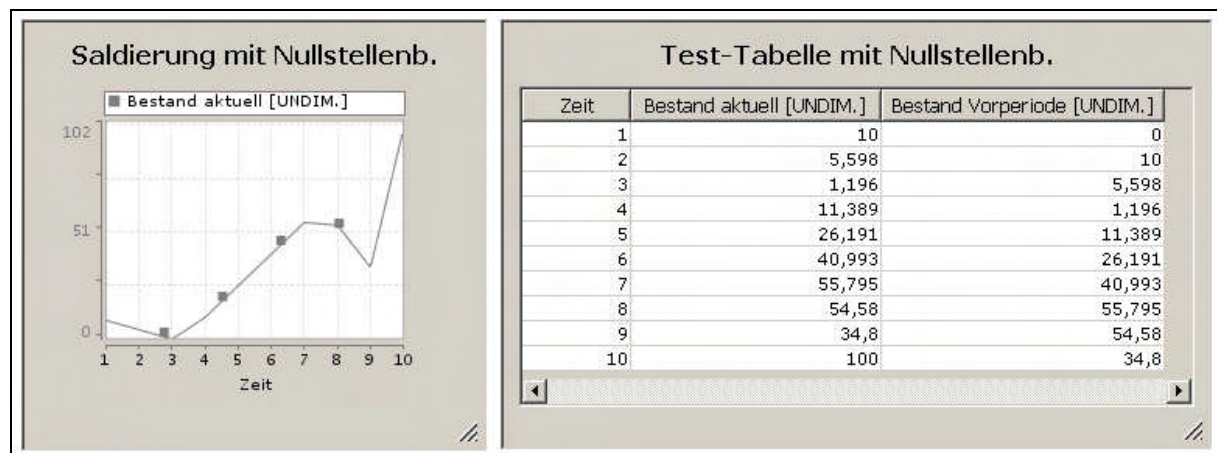


Abbildung 38: Saldierung Bestand mit Nullstellenbildung

## Anhang 2: Verzögerungen im quantitativen Modell

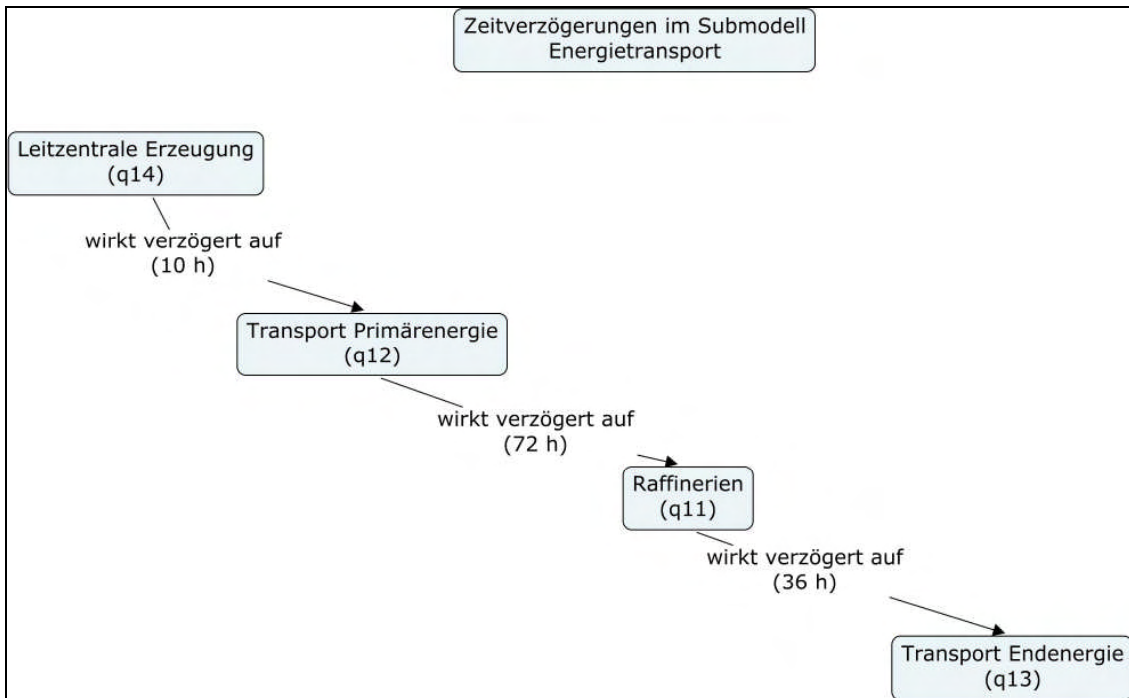


Abbildung 39: Zeitverzögerungen im Submodell Energietransport

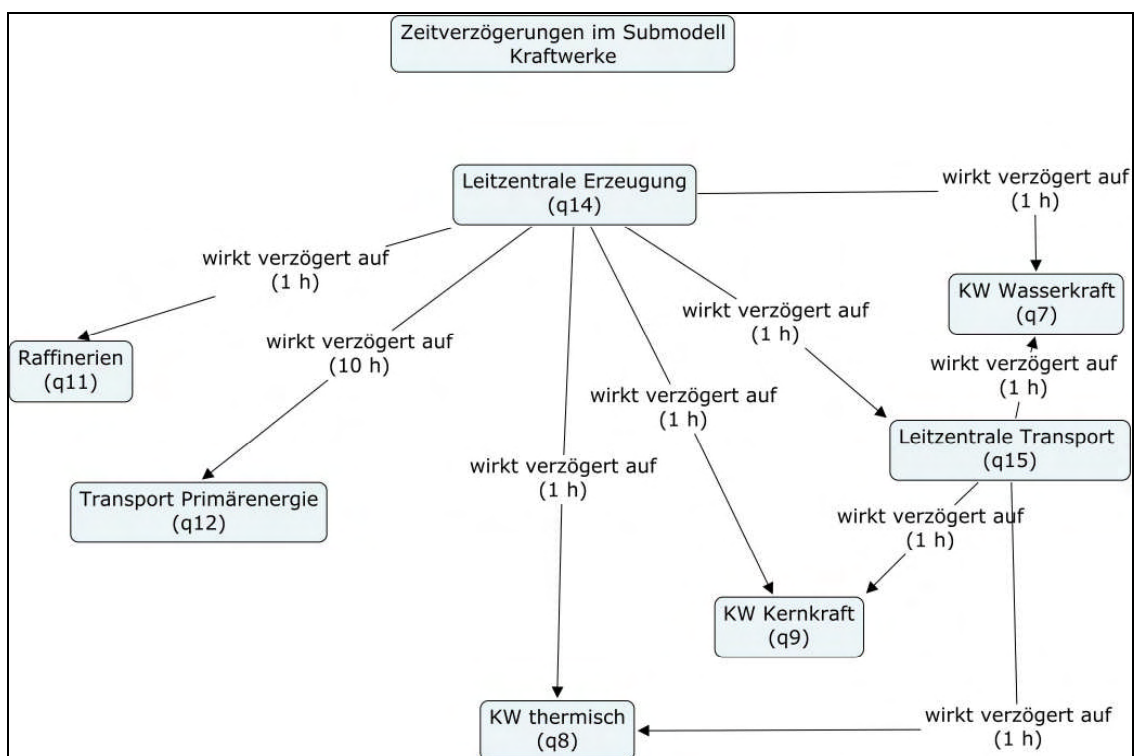
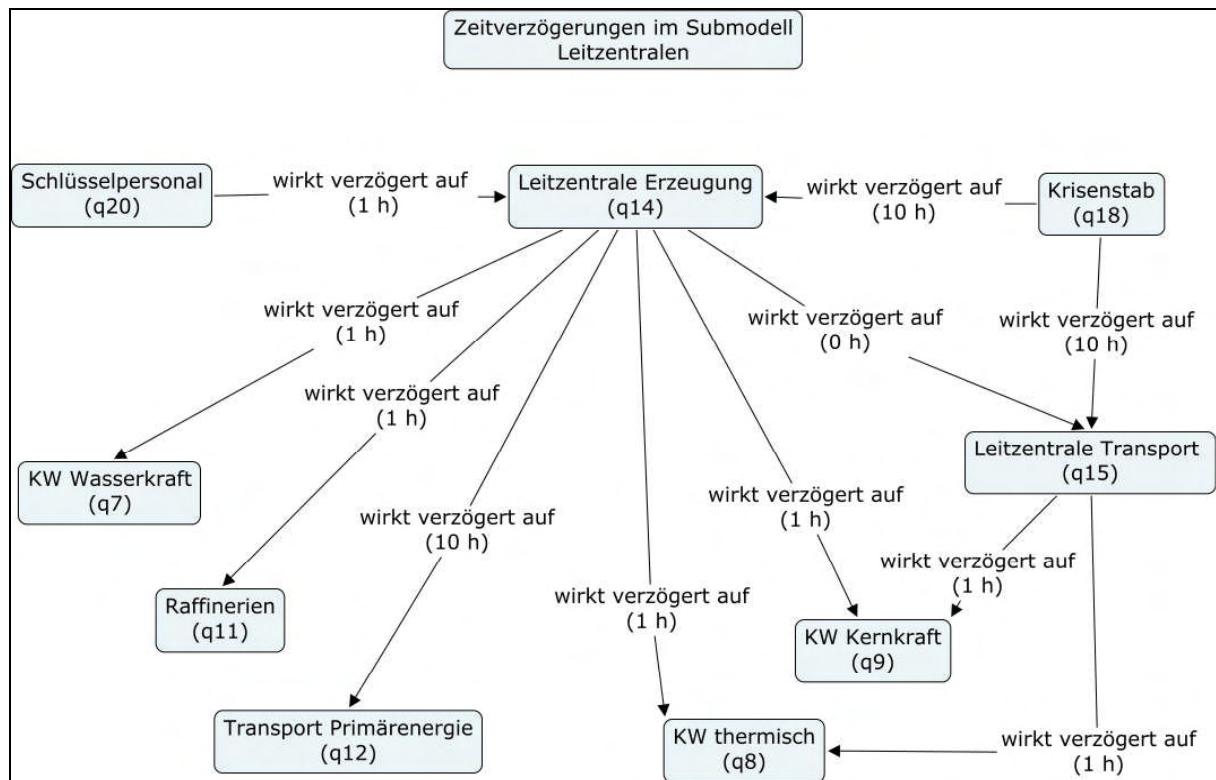
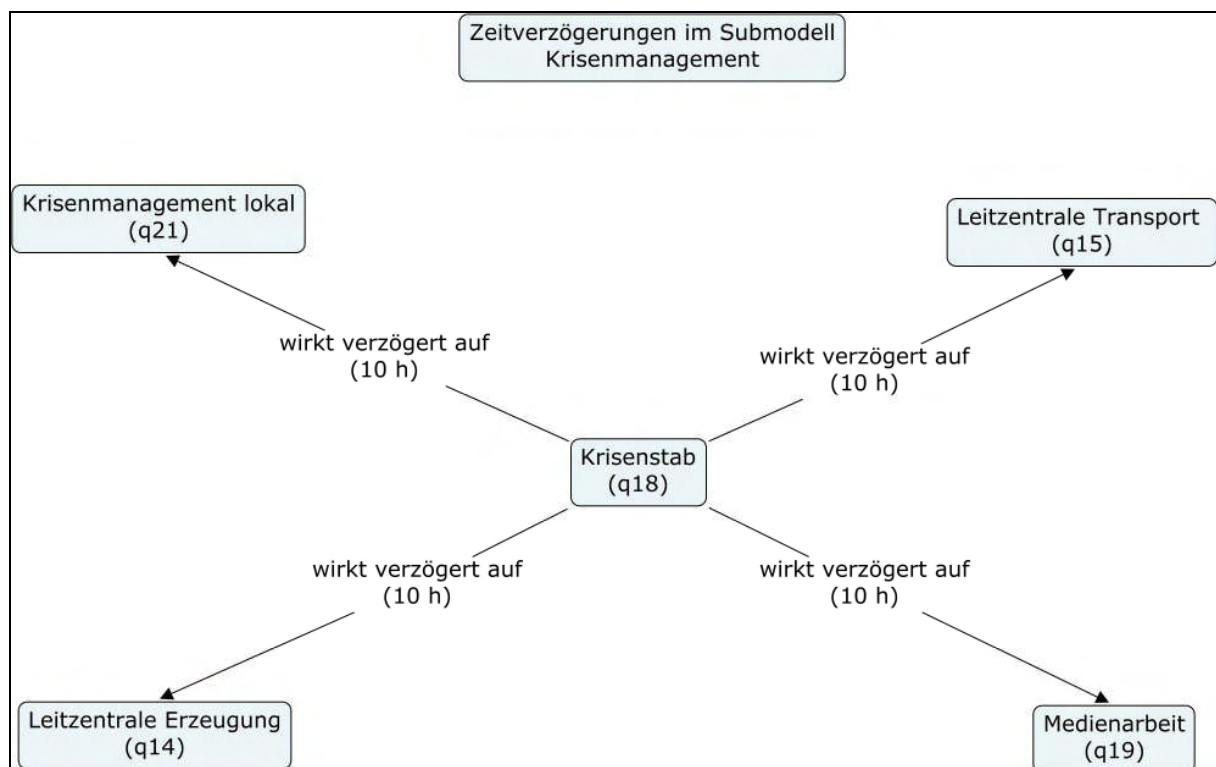


Abbildung 40: Zeitverzögerungen im Submodell Kraftwerke



**Abbildung 41: Zeitverzögerungen im Submodell Leitzentralen**



**Abbildung 42: Zeitverzögerungen im Submodell Krisenmanagement**

## Anhang 3: Darstellung anderer KI - Sektoren

Die folgenden Sektorennetze der Strukturen anderer KI – Sektoren als der Energieversorgung wurden den mit der GAMMA – Software erstellten Strukturen aus dem Bericht [Ref. 15] in einer Consideo – Visualisierung nachempfunden.

Es handelt sich um die KI- Sektoren:

- Banken
- Innere Sicherheit
- Ministerien
- TK/IT
- Verkehr
- Verteidigung

Sämtliche KI – Strukturen liegen sowohl als GAMMA- wie auch als Consideo – Dateien vor.



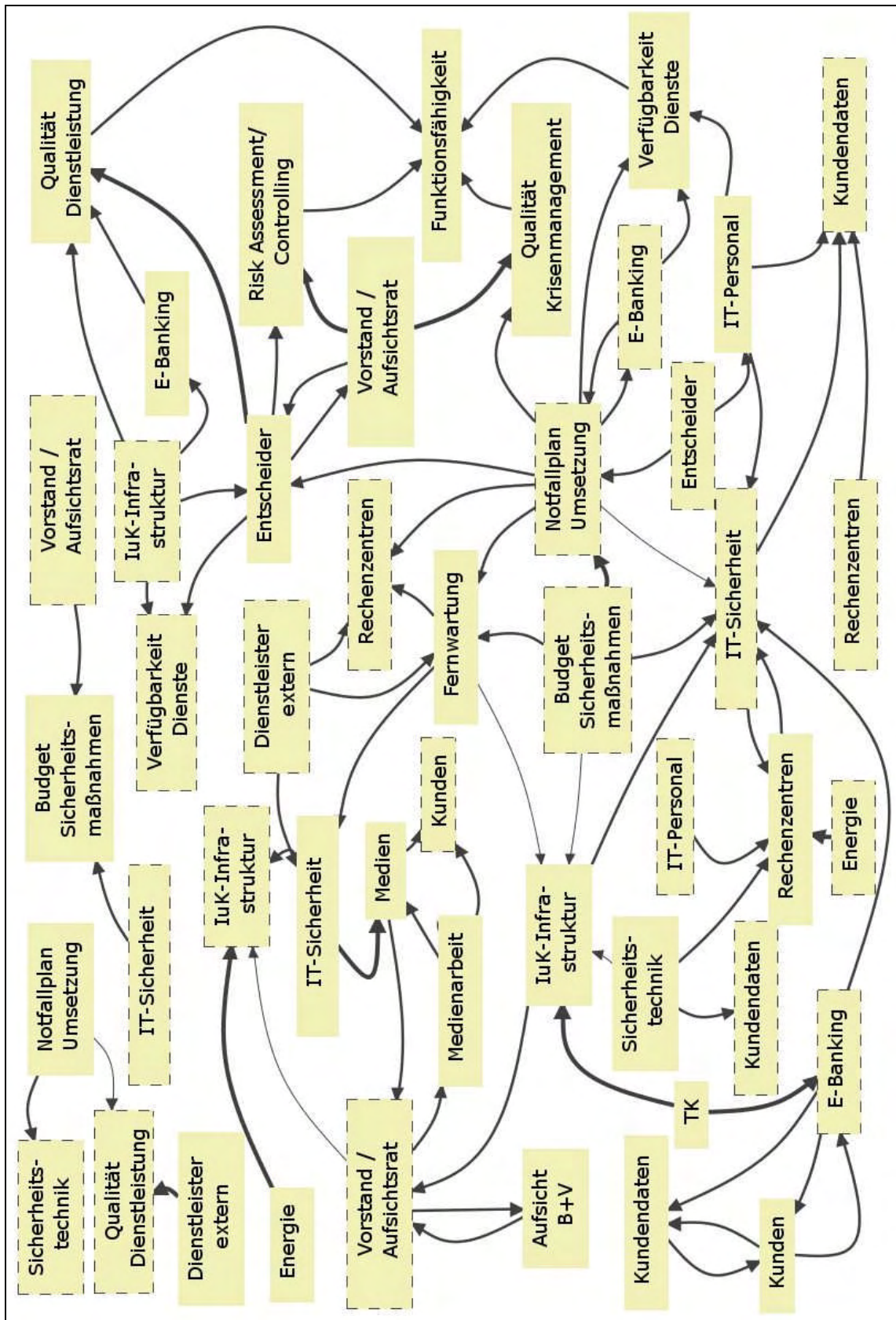


Abbildung 43: Netzstruktur des KI – Bereichs Banken

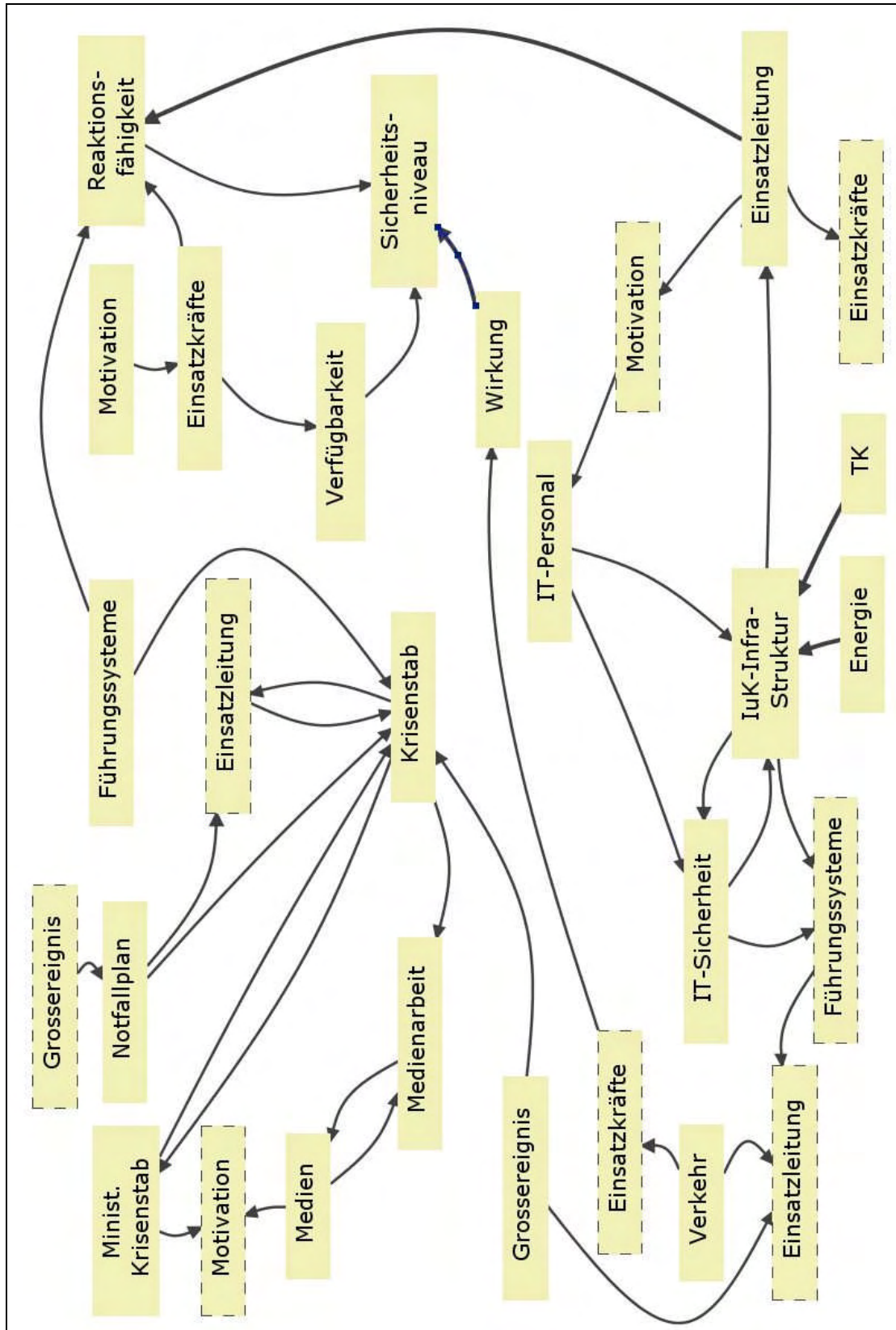


Abbildung 44: Netzstruktur des KI – Bereichs Innere Sicherheit



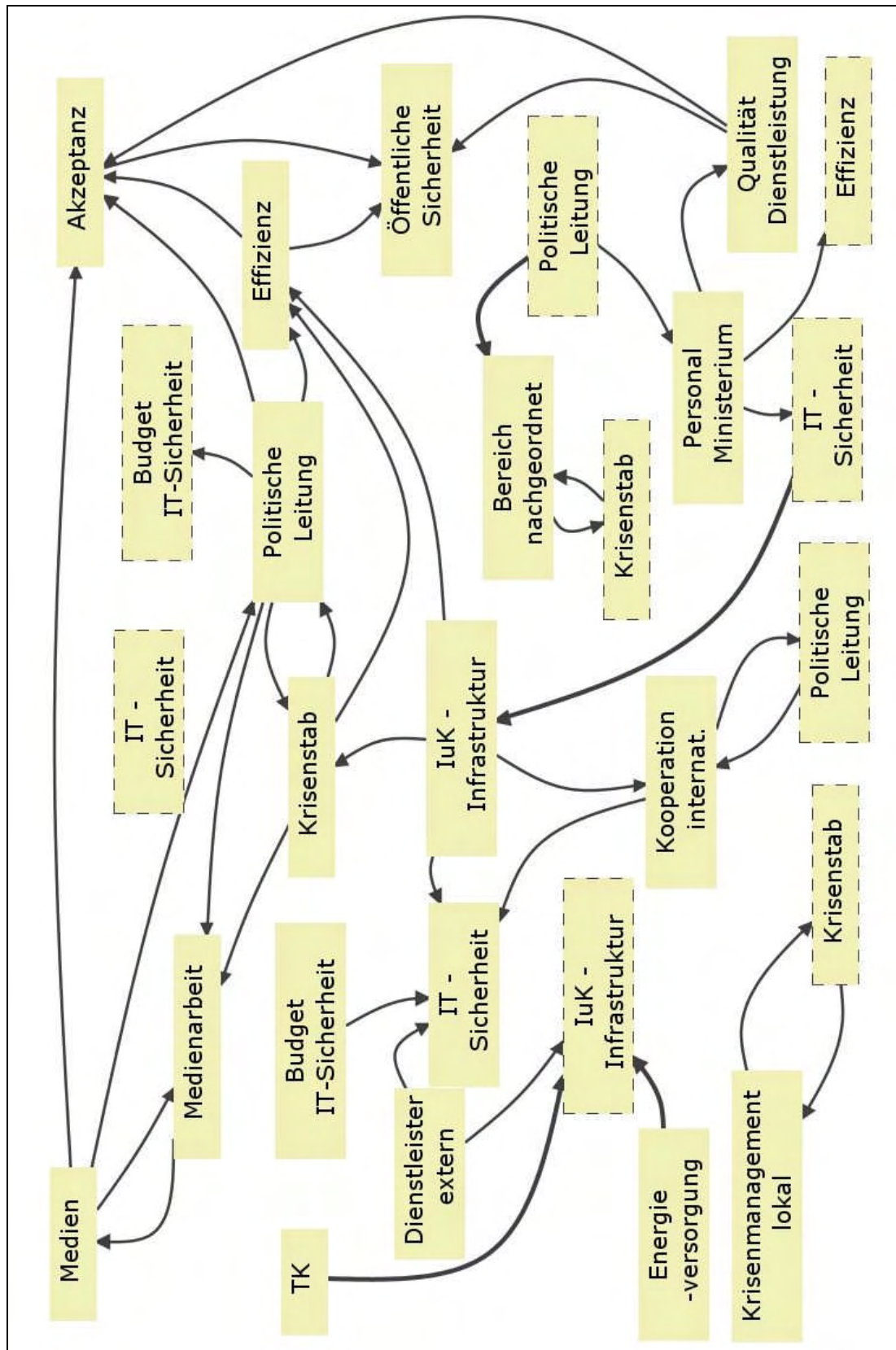


Abbildung 45: Netzstruktur des KI – Bereichs Ministerien



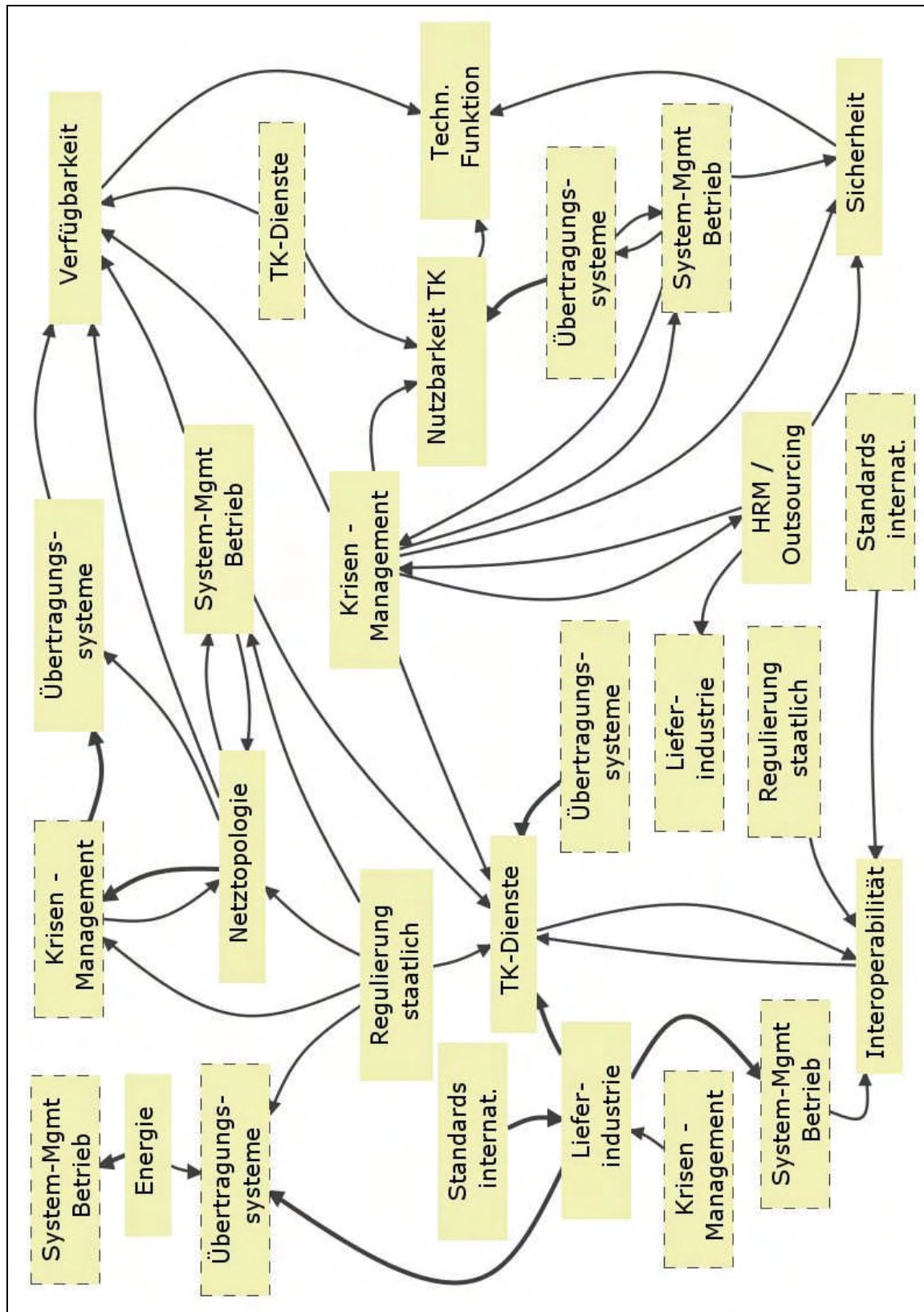


Abbildung 46: Netzstruktur des KI – Bereichs TK/IT

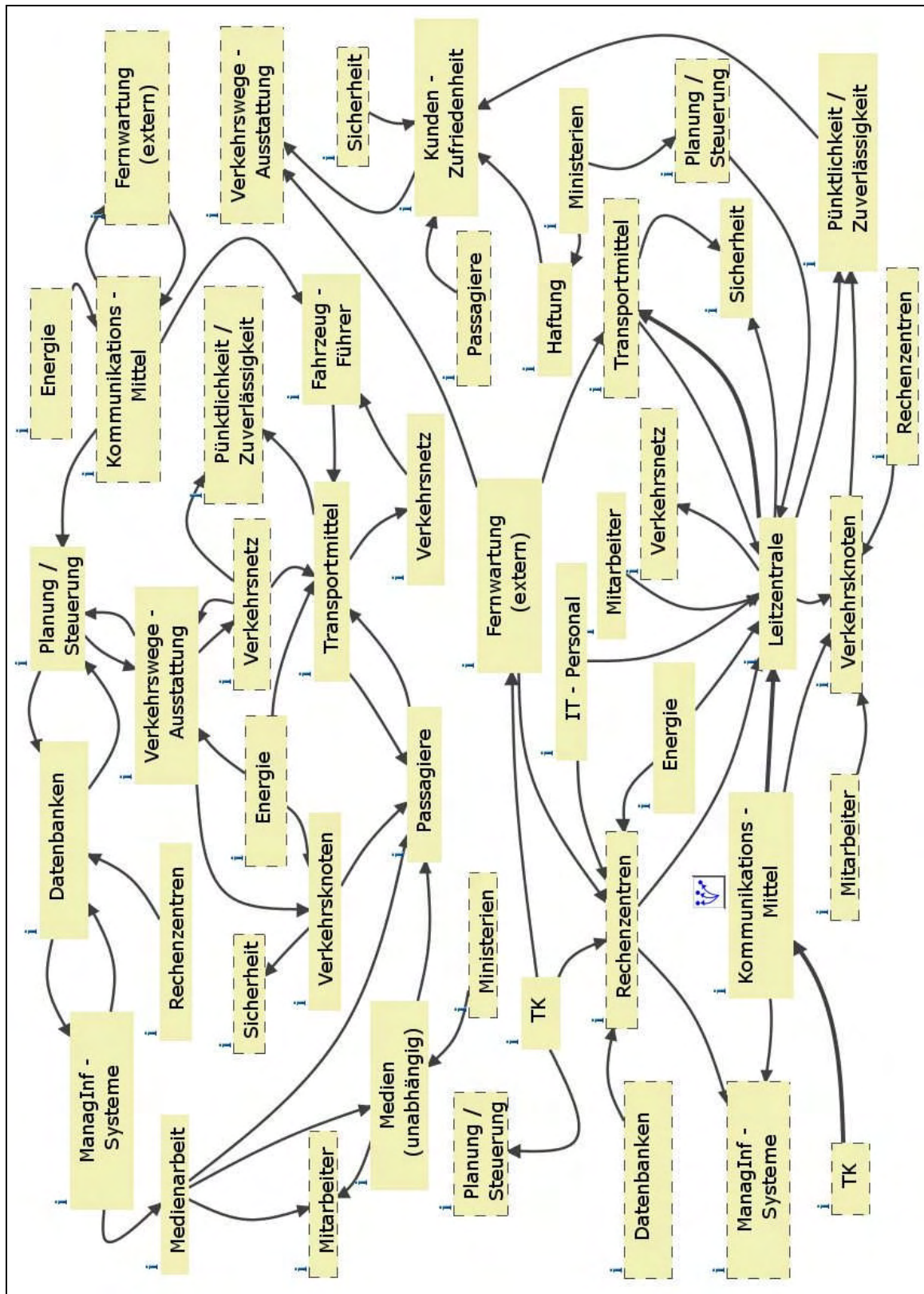
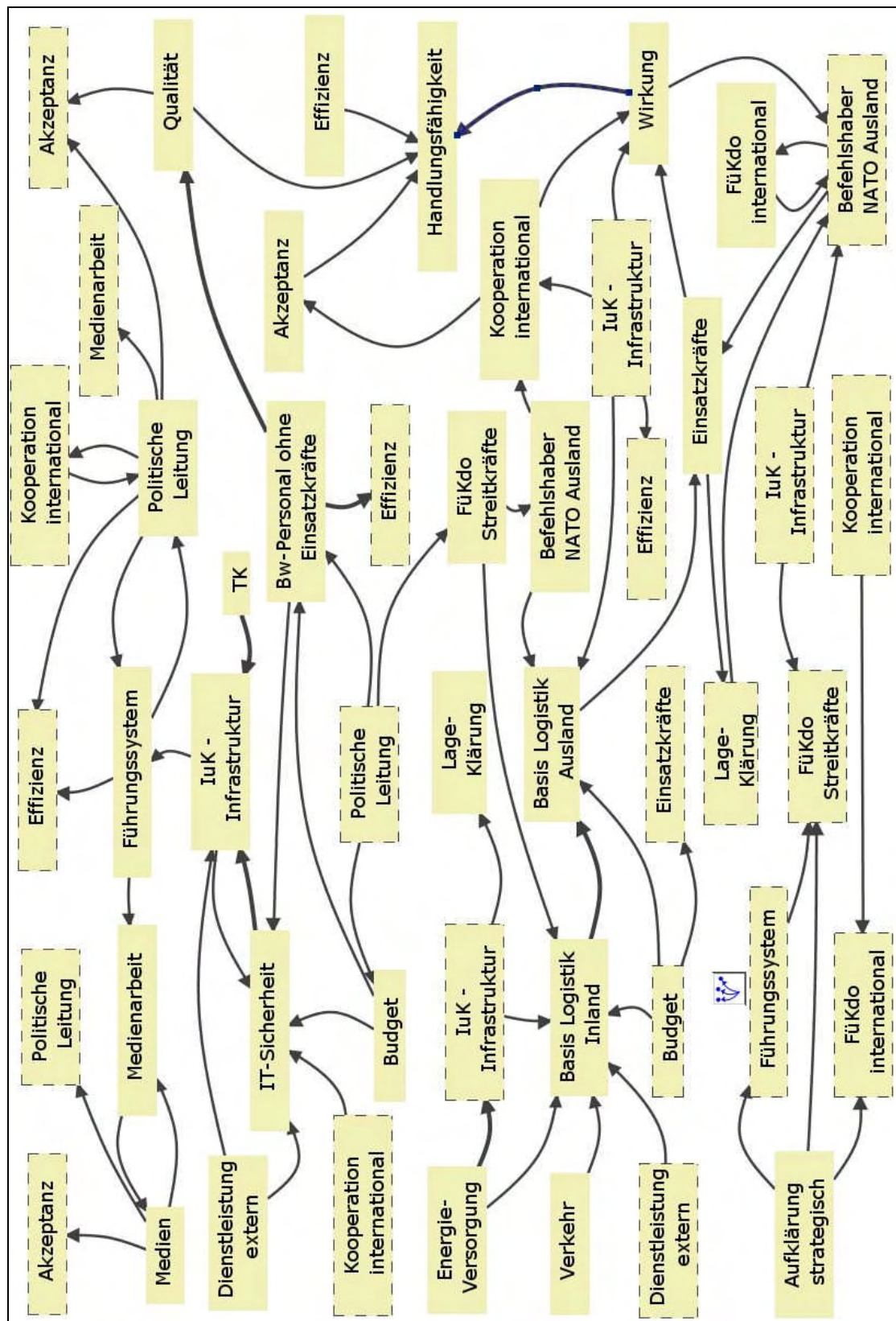


Abbildung 47: Netzstruktur des KI – Bereichs Verkehr





# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die acht Infrastruktur-Sektoren in der Bundesrepublik .....	8
Abbildung 2: Start-Bildschirm des Consideo Modelers (Energieversorgung) .....	11
Abbildung 3: Faktorennetz Energieversorgung (Spaghetti-Form).....	12
Abbildung 4: Netz Energieversorgung - Hauptkomponenten.....	15
Abbildung 5: Netz Energieversorgung als Struktur von Submodellen .....	15
Abbildung 6: Netzstruktur von Submodellen (Farbunterscheidung) .....	16
Abbildung 7: Submodell Funktionsfähigkeit .....	17
Abbildung 8: Submodell Krisenmanagement .....	18
Abbildung 9: Submodell Leitzentralen .....	18
Abbildung 10: Submodell Kraftwerke .....	18
Abbildung 11: Submodell Energietransport.....	19
Abbildung 12: Submodell Energietransport.....	19
Abbildung 13: Submodell Weitere KI-Sektoren .....	20
Abbildung 14: Verstärkende Rückkopplung.....	23
Abbildung 15: Musterdarstellung Erkenntnismatrix .....	25
Abbildung 16: Erkenntnismatrix für Faktor Verfügbarkeit (q1).....	28
Abbildung 17: Erkenntnismatrix für Faktor Verfügbarkeit (q1) (Zoom) .....	29
Abbildung 18: Direkte Ursachenkette Verfügbarkeit (Verkehr) (q5).....	30
Abbildung 19: Indirekte Ursachenkette Verfügbarkeit (Verkehr) (q5) .....	31
Abbildung 20: Wirkungskette des Faktors Transport Primärenergie.....	32
Abbildung 21: Submodell Funktionsfähigkeit (quant.) mit Bestandsfaktor .....	36
Abbildung 22: Submodell Krisenmanagement (quant.).....	37
Abbildung 23: Submodell Leitzentralen (quant.).....	38
Abbildung 24: Submodell Energietransport (quant.) .....	38
Abbildung 25: Submodell Energieverteilung (quant.) .....	39
Abbildung 26: Submodell Weitere KI-Sektoren (quant.) .....	39
Abbildung 27: Zeitverzögerungen im quant. Submodell Energieverteilung .....	42
Abbildung 28: Beispiel von Verzögerungen und Inputs in quant. Submodellen.....	42
Abbildung 29: Beispiel – Startfenster für die Simulation Verfügbarkeit Energieversorgung .	45
Abbildung 30: Input – Manipulatoren aus dem Submodell Kraftwerke.....	47
Abbildung 31: Input – Manipulatoren aus dem Submodell Krisenmanagement .....	48
Abbildung 32: Input – Manipulatoren aus dem Submodell Leitzentralen .....	49
Abbildung 33: Input – Manipulatoren aus dem Submodell Weitere KI - Sektoren.....	50
Abbildung 34: Gesamt – Diagramm Simulation Verfügbarkeit Energieversorgung .....	51
Abbildung 35: Input für Test Nullstellenbildung .....	54
Abbildung 36: Saldierung Bestand ohne Nullstellenbildung .....	54
Abbildung 37: Nullstellenbildung Bestand .....	55
Abbildung 38: Saldierung Bestand mit Nullstellenbildung .....	55
Abbildung 39: Zeitverzögerungen im Submodell Energietransport .....	56
Abbildung 40: Zeitverzögerungen im Submodell Kraftwerke.....	56
Abbildung 41: Zeitverzögerungen im Submodell Leitzentralen .....	57
Abbildung 42: Zeitverzögerungen im Submodell Krisenmanagement.....	57
Abbildung 43: Netzstruktur des KI – Bereichs Banken .....	59
Abbildung 44: Netzstruktur des KI – Bereichs Innere Sicherheit.....	60

Abbildung 45: Netzstruktur des KI – Bereichs Ministerien.....	61
Abbildung 46: Netzstruktur des KI – Bereichs TK/IT .....	62
Abbildung 47: Netzstruktur des KI – Bereichs Verkehr .....	63
Abbildung 48: Netzstruktur des KI – Bereichs Verteidigung .....	64

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kurzbeschreibung der Faktoren im Netz Energieversorgung .....	14
Tabelle 2: Gewichtungsmatrix Energieverteilung.....	20
Tabelle 3: Gesamt – Gewichtungsmatrix Energieversorgung.....	22
Tabelle 4: Beispiel Quantifizierung mit Formel .....	40
Tabelle 5: Auszug Gewichtungsmatrix zur Formel-Quantifizierung.....	41
Tabelle 6: Übersicht Input – Möglichkeiten in das Modell .....	44

## Quellenverzeichnis <sup>4</sup>

- Ref. 1:** F. Fischer: Simulation kritischer Infrastrukturen (SIMKRIT) - Vom Denken in Systemen zu Prototypen von Simulationsmodellen - Ein subjektiver Rundgang durch die Fachliteratur  
Karlsruher Institut für Technologie (K.I.T.), IKET, Februar 2010  
[http://scr.bi/Fischer\\_Collage\\_SIMKRIT](http://scr.bi/Fischer_Collage_SIMKRIT)
- Ref. 2:** F. Fischer: Visualisierung kritischer Infrastrukturen mit der GAMMA – Methode: Funktionssicherheit Stromversorgung im Krankenhaus und Versorgungssicherheit Treibstoffversorgung, Karlsruher Institut für Technologie (K.I.T.), IKET, März 2010  
[http://scr.bi/Fischer\\_Beispiele\\_KI\\_mit\\_GAMMA](http://scr.bi/Fischer_Beispiele_KI_mit_GAMMA)
- Ref. 3:** F.Fischer: Kritische Infrastrukturen – Denkweisen, Zusammenhänge, Visualisierungen, Karlsruher Institut für Technologie (K.I.T.), IKET, Mai 2010  
[http://scr.bi/Fischer\\_KI\\_Denkweisen\\_Visualisierungen](http://scr.bi/Fischer_KI_Denkweisen_Visualisierungen)
- Ref. 4:** Comparative Evaluation of Modeling and Simulation Techniques for Interdependent Critical Infrastructures, Laboratorium für Sicherheitsanalytik, ETH Zürich und Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS), Juni 2008,  
[http://bit.ly/ETH\\_Zuerich\\_0](http://bit.ly/ETH_Zuerich_0)
- Ref. 5:** Focal Report 2: Critical Infrastructure Protection, Crisis and Risk Network (CRN) Center for Security Studies (CSS), ETH Zürich, März 2009,  
[http://bit.ly/ETH\\_Zuerich\\_FocRep\\_2](http://bit.ly/ETH_Zuerich_FocRep_2)
- Ref. 6:** International CIIP Handbook 2008/2009, An inventory of 25 national and 7 international critical information infrastructure protection policies, Crisis and Risk Network (CRN), Center for Security Studies (CSS), ETH Zürich, Juli 2008,  
[http://bit.ly/ETH\\_Zuerich\\_CIIP\\_HB](http://bit.ly/ETH_Zuerich_CIIP_HB)
- Ref. 7:** Internationale Aktivitäten zum Schutz Kritischer Infrastrukturen, Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI), Deutschland, 2008,  
[http://bit.ly/BSI\\_Aktivitaeten\\_SKI](http://bit.ly/BSI_Aktivitaeten_SKI)
- Ref. 8:** GAMMA Software , Ver. 4.2, Oktober 2007, TATA Interactive Systems GmbH, Tübingen  
<http://www.topsim.com>
- Ref. 9:** P. Gomez, G. Probst: Die Praxis des ganzheitlichen Problemlösens, Haupt Verlag, Bern, 1999
- Ref. 10:** Consideo Modeler, <http://www.consideo.de>
- Ref. 11:** K. Neumann: Consideo Modeler – E-Book Qualitative Modellierung  
[http://bit.ly/Neumann\\_Qualitative\\_Modellierung](http://bit.ly/Neumann_Qualitative_Modellierung)
- Ref. 12:** <http://www.consideo-modeler.de/quantitatives-modeln.html> bzw.  
<http://www.consideo-modeler.de/system-dynamics.html>

---

<sup>4</sup> Die Arbeit nutzt den Service <bit.ly> zur Erzeugung von short URLs. Die <bit.ly> URLs lassen sich wieder zu den originalen URLs expandieren mit [www.getlinkinfo.com](http://www.getlinkinfo.com).

- Ref. 13:** C. Dethloff: Systemisches Denken mit dem Consideo Modeler – Eine Kernkompetenz für die Zukunft, 2008  
[http://bit.ly/Dethloff\\_Systemisches\\_Denken](http://bit.ly/Dethloff_Systemisches_Denken) und [http://bit.ly/Dethloff\\_Modellierung](http://bit.ly/Dethloff_Modellierung)
- Ref. 14:** Im komplexen Umfeld erfolgreich agieren, Data Logistix, Schweiz  
[http://bit.ly/Data\\_Logistix\\_Qualitatives\\_Modellieren](http://bit.ly/Data_Logistix_Qualitatives_Modellieren)
- Ref. 15:** K. Niemeyer: Modell wichtiger Branchen einer Region für die Simulation von kritischen Störungen mit einer mittleren Abstraktion, Bericht TR-7, Februar 2002  
<http://www.n-o-a.de>
- Ref. 16:** K. Niemeyer: Simulation of Critical Infrastructures, Oct. 2005  
[http://bit.ly/Niemeyer\\_Simulation\\_of\\_CI](http://bit.ly/Niemeyer_Simulation_of_CI)
- Ref. 17:** F. Grimm, D. Kahrs: Systemische Wissensbilanz, September 2010  
[http://bit.ly/Grimm\\_Kahrs\\_Wissensbilanz](http://bit.ly/Grimm_Kahrs_Wissensbilanz)
- Ref. 18:** [http://bit.ly/Projektbericht\\_Consideo](http://bit.ly/Projektbericht_Consideo)
- Ref. 19:** K. Neumann: Intuitive Entscheidungsunterstützungssysteme, SEM Radar, 6, 2008, 3-33  
[http://bit.ly/Neumann\\_Intuitives\\_Entscheiden](http://bit.ly/Neumann_Intuitives_Entscheiden)
- Ref. 20:** K. Neumann: Consideo Modeler – so einfach wie Mind Mapping: Vernetztes Denken und Simulation, Lübeck, 2010, ISBN 978-3-83701-800-4
- Ref. 21:** Krisenhandbuch Stromausfall, Krisenmanagement bei einer großflächigen Unterbrechung der Stromversorgung am Beispiel Baden-Württemberg (Langfassung) Abschnitt F, Januar 2010, ISBN: 978-3-86325-350-4
- Ref. 22:** W. Schmitz: Modellbildung und Simulation für Kritische Infrastrukturen, Feb. 2004,  
[http://bit.ly/Schmitz\\_Modellbildung\\_KI](http://bit.ly/Schmitz_Modellbildung_KI)
- Ref. 23:** T. Binder et al: Developing System Dynamics models from causal loop diagrams, Conference paper, 2004  
[http://bit.ly/Binder\\_SD\\_Models\\_from\\_CLDs](http://bit.ly/Binder_SD_Models_from_CLDs)
- Ref. 24:** J.R. Burns; Simplified translation of CLDs into SFDs, Conference Paper, 2001  
[http://bit.ly/Burns\\_Translation\\_CLD\\_into\\_SFD](http://bit.ly/Burns_Translation_CLD_into_SFD)