

ERWEITERUNG VON GLOBALSzenariEN AUF SPEZIFISCHE FRAGESTELLUNGEN AM BEISPIEL ALTERNATIVER KRAFTSTOFFE

P. Phleps, A. Kuhlmann*, S. Eelman

Technische Universität München
Boltzmannstr. 15
85747 Garching
Deutschland

Bauhaus Luftfahrt*
Lyonel-Feininger-Str. 28
80807 München
Deutschland

ZUSAMMENFASSUNG

Die Bewertung von neuen Technologien vor dem Hintergrund zukünftiger technischer, wirtschaftlicher und strategischer Rahmenbedingungen stellt viele Branchen vor große Herausforderungen. Insbesondere gilt dies für die Luftfahrt, weil hier Produktlebenszyklen und relevante Entwicklungszeiten deutlich länger sind als in anderen Branchen. Die Verwendung von Luftverkehrsszenarien wird daher seit mehreren Jahren in Forschung und Industrie gefördert, um das Verständnis über mögliche zukünftige Entwicklungen zu stärken und Technologiebewertungen eine robustere Grundlage zu bieten. Dieser Artikel erläutert wie globale Makro-/Meso-Szenarien methodisch auf Mikro-Problemstellungen erweitert werden können. Als Anwendungsfall werden hier die ACARE Szenarien und ihre Erweiterung auf das Themengebiet der alternativen Kraftstoffe verwendet. Es wird somit eine Möglichkeit beschrieben, innerhalb der europäischen Luftfahrtgemeinschaft etablierte Szenarien universeller für Unternehmen nutzbar zu machen, um Implikationen für die Beantwortung spezifischer Fragestellungen oder Rahmenbedingungen für die Bewertung von neuen Technologien abzuleiten. Des Weiteren werden Ergebnisse des Szenario-Projekts „Aircraft Fuels 2030+“ präsentiert. Diese enthalten sowohl die wichtigsten Treiber im Kraftstoffbereich und deren Interdependenz, als auch den resultierenden Kraftstoff-Bedarf für das Jahr 2030 mit der entsprechenden Nachfragelücke in drei Szenarien

NOMENKLATUR

Abkürzungen

ACARE	Advisory Council for Aeronautics Research in Europe
CI	Cross Impact
CIM	Cross Impact Matrix
CTL	Coal to liquid
EW	Einflusswert
GTL	Gas to liquid
PW	Potentialwert
ZI	Zeitintervall

Formelzeichen

α	Steigung der Sigmoid-Transferfunktion
----------	---------------------------------------

1. EINLEITUNG

Ein dynamischer, unsicherer Markt erfordert universelle Szenarien für robustere Entscheidungsvorbereitungen. Klimawandel, Ölpreisschwankungen und die damit verbundene Debatte über das „Ende des Öls“ (bzw. „peak oil“) verstärken die Diskussion über alternative Kraftstoffe und ihren möglichen Beitrag zu einem nachhaltigen Luftverkehr. Ein Umstieg von Kerosin auf alternative Kraftstoffe hat je nach Art und Zusammensetzung des neuen Kraftstoffs erhebliche Auswirkungen auf die Infrastruktur – möglicherweise sogar auf das Fluggerät selbst. Im Kontext der beschlossenen Einführung eines Europäischen Emissionshandelssystems in 2012 steht die Luftfahrt jedoch unter Zugzwang, ihren CO₂-Ausstoß zu reduzieren, was angesichts der prognostizierten Verkehrszuwächse eine enorme Herausforderung darstellt. Die Entscheidung, für dieses Ziel auf alternative Kraftstoffe zu setzen und ent-

sprechend in Forschung und Entwicklung zu investieren, erfordert robuste Entscheidungsvorbereitungen in einem unsicheren Marktumfeld. Für diesen Zweck eignet sich der Einsatz von alternativen Szenarien. Dabei ist ein Szenario nicht als Prognose, sondern als eine plausible Kombination von multiplen Entwicklungen zu verstehen, die zu einem bestimmten Bild der Zukunft führen. Diese Technik erlaubt es, auf Basis alternativer Szenarien frühzeitig robuste Maßnahmen vorzuplanen und auf Trendveränderungen adäquat und schnell zu reagieren, wodurch relative Wettbewerbsvorteile erzielt werden können.

Der vorliegende Artikel stellt am Beispiel alternativer Kraftstoffe eine Methodik vor, die die Generierung und die Verwendung von problemspezifischen Szenarien erleichtern kann und auf eine allgemeingültigere Basis stellt. Dafür werden zunächst die Grundlagen des Szenariomanagements dargestellt (Abschnitt 2), woraus dann der modifizierte Ansatz abgeleitet und diskutiert wird (Abschnitt 3). Im Anschluss daran werden in Abschnitt 4 in verkürzter Form die Ergebnisse eines Szenarioprozesses über alternative Kraftstoffe dargestellt, bevor in Abschnitt 5 eine Zusammenfassung erfolgt.

2. GRUNDLAGEN DES SZENARIOMANAGEMENTS

2.1. Szenarien als Instrument des Zukunftsmanagements

Ein strukturierter und methodischer Umgang mit der Zukunft ist eine Grundvoraussetzung für die erfolgreiche Ausrichtung von Unternehmen. Dabei wird eine Kombination aus strategischem und operativem Management mit der (primär auf die Antizipation fokussierten) Zukunftsforschung auch als Zukunftsmanagement bezeichnet [1].



BILD 1. Modell des Zukunftsmanagements nach [2]

Im Rahmen des Zukunftsmanagements geht es um die Verzahnung von „strategisch relevanten Zukünften“ und „zukunftsfähigen Strategien“, wobei dies auf drei Ebenen und mit Hilfe von sechs unterschiedlichen Instrumenten geschehen kann (siehe BILD 1). In der Praxis ist eine trennscharfe und einheitliche Abgrenzung dieser Kategorien nur schwer möglich. Der Einsatz der einzelnen Instrumente erfolgt in Unternehmensprozessen daher nicht isoliert, sondern zumeist parallel als Teil eines Prozessmanagements [2].

Die operative Nutzung von Szenarien als Teil des Zukunftsmanagements geht auf die späten 60er Jahre des 20. Jahrhunderts zurück und setzte sich im Laufe der Zeit vor allem bei Unternehmen durch, die auf eine strategisch langfristige Planung auf Grund unsicherer politischer, wirtschaftlicher und sozialer Entwicklungen angewiesen waren bzw. sind (z.B. Ölbranche, Automobilbranche, Banken etc.) [3]. Obwohl die Erstellung und Verwendung von Szenarien mit relativ hohem Zeit- und Personalaufwand verbunden ist, kann seit den 1980er Jahren eine kontinuierlich steigende Tendenz der Nutzung der Szenario-Technik festgestellt werden [4]. Vor allem haben dabei die beiden Hauptgrundlagen, die multiple Zukunft und das vernetzte Denken, stark zur Verbreitung beigetragen [3]. Auch die Luftfahrtindustrie und -forschung fördert seit mehreren Jahren den Einsatz von Szenarien als Bestandteil der Markt-, Produkt- und Technologieentwicklung [5][6][7]. Allerdings ist die erforderliche Standardisierung und Allgemeingültigkeit vor allem von szenariobasierten Technologiebewertungsprozessen aufgrund der hohen Varietät (numerische Komplexität bzw. Anzahl von Systemelementen) und Konnektivität (relationale Komplexität bzw. Anzahl der Abhängigkeiten) des Luftfahrtystems, der Wissensstrukturen sowie der Wahl sinnvoller Abstraktionsebenen ein weitgehend ungelöstes Problem, das bisher individuell und ohne eine klare wissenschaftliche Struktur angegangen wird.

2.2. Klassifizierung von Szenarien

Es gibt eine Vielzahl an Möglichkeiten Szenarien zu klassifizieren. Zum einen werden Szenarien laut [3] nach ihrem Szenariofeld klassifiziert, also nach einem speziellen Betrachtungsbereich, dessen Zukunft beschrieben werden soll. Dabei werden Gestaltungsfeld-, System- und Umfeldszenarien unterschieden, je nachdem ob externe, interne Lenkungsgrößen, oder beide enthalten sind. Darüberhinaus kann auch eine Einteilung nach dem Gestaltungsfeld erfolgen. Somit ergibt sich eine Einordnung in Global-, Unternehmens-, Produkt- und Technologieszenarien, je nachdem welches Ziel mit dem Szenarioprojekt erreicht werden soll. Im Hinblick auf die Systemtheorie findet sich häufig auch eine Einteilung nach ihrem Umfeld-

Detaillierungsgrad. Wenn das Ziel darin liegt, den zum Teil sehr zeitintensiven Szenariogenerierungsprozess effizienter durchzuführen, so stellt sich - wie im Folgenden dargestellt wird – eine Unterscheidung gemäß dem jeweiligen Aggregationsniveau als besonders vorteilhaft heraus [6]. Diese Vorgehensweise ermöglicht eine separate Entwicklung beziehungsweise den wiederholten Gebrauch von Makroszenarien, welche das sozio-ökonomische Umfeld beschreiben, in Kombination mit dem Meso-, also dem Luftrtransportsystem mit seinen Akteuren Airlines, Airports, Hersteller, Wartungsunternehmen, Flugsicherung und Behörden, als Erweiterungsbasis für die Entwicklung von problemspezifischen Mikroszenarien. Somit wird gewährleistet, dass Experten unterschiedlicher Bereiche und Disziplinen ihre Erfahrung und ihr Wissen gezielt in ausgewählte Systemfelder einbringen können. Ein Ökonom beispielsweise kann in der Regel eher einen Beitrag für die Erstellung von globalen Makroszenarien leisten, statt Antworten auf äußerst spezifische Technologiefragstellungen innerhalb einer bestimmten Branche zu geben. Jedoch werden gerade im Bereich der Technologiebewertung problemspezifische Mikroszenarien benötigt, damit das Bewertungsumfeld durch die Szenarien ausreichend abgebildet werden kann. Diese Mikroszenarien werden zumeist von Technologieexperten erstellt, die in der Regel wiederum weniger ökonomisches oder politisches Wissen einbringen können. Im Folgenden wird deshalb eine Methodik beschrieben, wie bereits existierende, qualitative globale Makro- und Mesoszenarien erweitert werden können, um Implikationen für die Beantwortung spezifischer Fragestellungen oder Rahmenbedingungen für die Bewertung von neuen Technologien abzuleiten. Sie soll somit ermöglichen, Szenarien in der Luftfahrtindustrie- und -forschung effektiver und universeller für unterschiedliche Studien und Projekte zu nutzen.

Im folgenden Abschnitt wird der Prozess zur Entwicklung von Szenarien zunächst allgemein beschrieben, bevor daraus die genannte Modifizierung abgeleitet wird.

3. METHODISCHES VORGEHEN

3.1. Systemtheoretische Überlegungen

Das Systemdenken wird allgemein als Denkweise verstanden, die es ermöglicht, komplexe Zusammenhänge besser verstehen und gestalten zu können [10]. Ein System wird im Sinne der Szenariotechnik häufig auch als Umfeld bezeichnet. Die ein System oder Subsystem beschreibenden Faktoren wiederum werden Elemente genannt. Diese Elemente stehen in Relation, wobei sie nicht nur untereinander, sondern auch mit ihrer Umgebung in Wechselwirkung stehen [10]. Die in einem Szenarioprojekt betrachteten Systeme sollen daher immer als offene Systeme verstanden werden, was dazu führt, dass kein (Sub)system völlig unabhängig ist, sondern immer auch von der Umwelt mit beeinflusst wird [3]. Das Systemdenken stellt also die wichtigste Grundlage für die Erstellung von Szenarien dar. Gerade das komplexe Luftverkehrssystem kann infolge der zahlreichen Einflussfaktoren und Wechselwirkungen deshalb ebenso nur auf Systemebene hinreichend genau abgebildet und erklärt werden.

3.2. Das System Luftverkehr

Im Hinblick auf das Aggregationsniveau und der Lenkungsrichtung kann das Gesamtsystem Luftverkehr in drei Subsystem-Ebenen unterteilt werden [5][6][8] (siehe BILD

2). Die einzelnen Ebenen stehen miteinander in Wechselwirkung, wobei die Hauptlenkungs- und Beeinflussungsrichtung von der übergeordneten Makro-Ebene zur Problem-spezifischen Mikro-Ebene zeigt. Dem äußersten, globalen Makro-Umfeld sind sozio-ökonomische Bereiche wie Wirtschaft, Politik und Gesellschaft zugeordnet. Diese üben einen starken Einfluss auf die untergeordneten Ebenen aus, werden selber aber vom Meso- und vor allem vom Mikro-Umfeld kaum bis gar nicht gesteuert. Die mittlere Meso-Ebene beschreibt das Luftfahrtsystem u.a. mit seinen Akteuren Flughafen, Airlines und Flugsicherung. Die unterste Ebene kann als Produkt- oder Technologie-ebene bezeichnet werden und wird dazu verwendet konkret auf spezifische Fragestellungen einzugehen, die mit Hilfe des Szenarioprojektes beantwortet werden sollen. Auch wenn der Einfluss des Mikro Umfeldes auf das Makro/Meso Umfeld als eher gering einzustufen ist, so ist prinzipiell eine Lenkungsrichtung in beide Richtungen möglich.

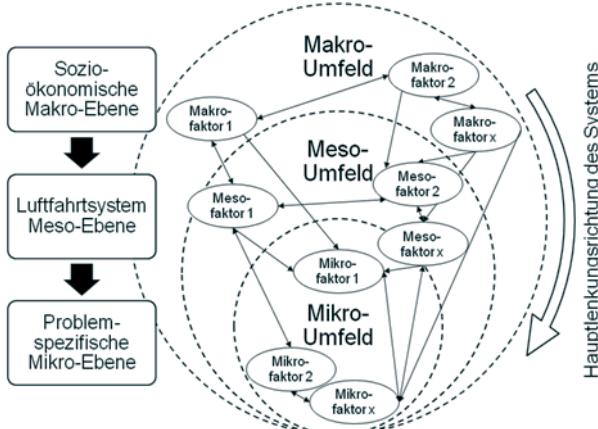


BILD 2. Hierarchische Systemdarstellung des Luftransportsystems. Das Mikro- und Meso-Umfeld sind Sub-Systeme des übergeordneten Makro-Umfeldes.

Je näher man sich der Mikro-Ebene nähert, desto spezifischer müssen die das System beschreibenden Faktoren definiert werden. Werden im Meso System z.B. allgemeine Aussagen über den Innovationsgrad von Technologien in der Luftfahrt getätigt, so reicht dies in der Regel für Bewertungen spezifischer Technologien nicht aus. Hier müssen die behandelten Technologien und ihr Umfeld im Mikrofeld weitaus ausführlicher definiert werden. Die sorgfältige Auswahl und Selektion der Umfeldfaktoren steht bei jedem Szenarioprozess ganz am Anfang. Die dafür benötigten methodischen Bausteine werden an dieser Stelle aber nicht weiter erläutert, sondern können in [5] und [7] nachgelesen werden.

In Anlehnung an die Klassifizierung in Kapitel 2.2 können durch eine Erweiterung des qualitativen Makro und Meso Umfeldes qualitative Globalszenarien in problemspezifische Produkt- oder Technologieszenarien umgewandelt werden. Das dafür notwendige methodische Vorgehen wird nach einer kurzen Vorstellung von verschiedenen Szenariogenerierungsmethoden in Kapitel 3.5 behandelt.

3.3. Szenariobildungsmethoden

Eine etablierte Klassifizierung von Szenariobildungsmethoden, die mit aktuellen Szenarioansätzen erweitert wurde, ist in BILD 3 dargestellt.

Methoden zur Entwicklung von Szenarien			
„Harte“ Methoden rein quantitative, Model-orientierte Methoden	„Weiche“ Methoden hybride Formen von quantitativen und qualitativen Methoden		
Intuitive, nicht formalisierte Ansätze		Systematische, formalisierte Ansätze	
Intuitive Logik	Model-basierte Logik	statisch	dynamisch
System Dynamics Forrester 1961 Club of Rome Meadows 1972/1974 ...	„Scenario Writing“ RAND Corporation & Hudson Institute Herman Kahn 1952, 1965 ...	SRI International 1975 Royal Dutch/ Shell Group 1972 ...	Konsistenz-basiert Morphologische Analyse CalTech 1969 (Zwickly 1969) Battelle-Institut Frankfurt 1970 Cross-impact-basiert Battelle-Institute (BASICs) 1981 ...
			Cross-Impact-Balancer Universität Stuttgart 2005 (Weimer-Jehle 2005) Dynamische Cross-Impact-Analyse Technische Universität München 2006 (Eelman, Föller 2006) ...

BILD 3. Einteilung von Methoden zur Entwicklung von Szenarien [11] (modifiziert von [8])

Im Gegensatz zu „harten“ Simulationsmethoden, die ausschließlich auf quantifizierbaren Daten beruhen und dementsprechend qualitative Beziehungen kaum erfassen können, erfüllen die „weichen“ Methoden die Anforderung unvorhersehbare, weit entfernte und gleichzeitig komplexe Bilder der Zukunft zu reflektieren. In den Anfängen der Szenariotechnik wurde von nicht formalisiertem, kontext-abhängigem Verfassen möglicher Zukunftsentwicklungen ausgegangen, welche hoch spekulativ in ihrer Art waren und „wie vergleichbare Dinge, die Hollywood Autoren produzieren“ [12]. In den vergangenen Jahren zogen hingegen verstärkt Szenarioansätze die Aufmerksamkeit auf sich, die die systematische Bildung von multiplen, relevanten und plausiblen Bildern der Zukunft ermöglichen. Dadurch wurde die Behandlung ein und desselben Problems auf Basis alternativer Entwicklungen und somit eine robustere Ableitung von Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen ermöglicht.

Um die Transparenz sowie den Umgang mit der Komplexität zu verbessern und gleichzeitig plausible und verständliche Ergebnisse zu erzielen, wurde der Grad der Formalisierung nach und nach erhöht. Verschiedene Schulen verfolgten das allgemeine Ziel einer detaillierteren und strukturierteren Analyse von Einflussfaktoren und Variablen, um von einer rein qualitativen Beschreibung zu einer systematischen Problembehandlung zu gelangen. Während dieser Entwicklung reiften spezifische Ansätze zu intuitiven und modellbasierten Logiken heran, wobei erste- re als natürliche Evolution des „Szenario-Writings“ auf Basis eines systematisierten Prozesses zur Generierung der Szenariostories und deren Ableitungen angesehen werden kann. Modellbasierte Logiken wiederum entwickelten sich aus Ansätzen, die eine Bildung von diskreten, aufeinander folgenden Zuständen verfolgten, wobei diese Abfolge durch im betrachteten System gleichzeitig eintretende Ereignisse beeinflusst wird. Die unterschiedlichen Techniken konzentrieren sich darauf, wie bestimmte Systemzustände bzw. deren Kombinationen mit Hilfe von Konsistenz-, Cross-Impact- (CI) oder Wahrscheinlichkeitskriterien identifiziert werden können. Da die Komplexität von Systemen teilweise durch Diskussionen der Experten allein nicht verarbeitet werden kann, werden häufig Computerprogramme verwendet, die den Szenariogenerierungsprozess unterstützen. Die qualitativen Informationen für Konsistenz-, Wechselwirkungs- (Cross-Impact) oder

Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen werden dabei zumeist in Matrizen gesammelt bzw. in quantifizierte Wahrscheinlichkeits-, Konsistenz- oder Einflusswerte umgewandelt und anschließend weiterverarbeitet.

Eine Besonderheit an Cross-Impact-Methoden ist, dass diese ein dynamisches Verhalten induzieren können indem die Cross-Impact-Matrix (CIM) in sequenziellen Berechnungsschritten verarbeitet wird. Neben der relativ einfachen Berechnung von direkten kausalen Zusammenhängen, können auch Systemverhalten der zweiten oder höherer Ordnung, wie z.B. Phasenwechsel oder Schwingungen, berechnet werden. Dies ermöglicht eine Verbesserung des Systemverständnisses, vermeidet eine allzu starke Vereinfachung der komplexen Realität, und unterstützt darüberhinaus die Suche nach indirekten oder weniger konsistenten Entwicklungen. Wahrscheinlichkeitsmatrizen ermöglichen für die Problembehandlung von indirekten Systemzusammenhängen einen eher eingeschränkten Zugang, Konsistenzansätze überhaupt keinen.

Nach einer ersten Logikentwicklung zur iterativen CI Berechnung von Kane [13] folgten weitere Ansätze, von denen allerdings die meisten nur lineare Systemzusammenhänge betrachteten und komplexe Systemattribute wie Dämpfung, Phasenverschiebung oder andere nicht-lineare Entwicklungen außer Acht ließen. Für den hier betrachteten komplexen Kontext der Erstellung alternativer Kraftstoffszenarien wurde ein Ansatz verwendet, der auch indirekte und nicht lineare Systemvorgänge berücksichtigt. Im Folgenden wird diese Logik erklärt. Anschließend wird die notwendige Modifizierung des Ansatzes erläutert, die eine Integration der bereits existierenden Makro-/Meso-Rahmenbedingungen (in Form der Europäischen ACARE Szenarien) in die bestehende Logik und damit die Behandlung der komplexen Eigenschaften des zu erstellenden Mikro-Systems ermöglicht.

3.4. Evolutionäre Cross-Impact-Analyse

Basierend auf ersten Ansätzen von Gordon und Hayward [14], welche die CI-Analyse als Verbesserung der Delphi-Methodik erstmals eingeführt haben, folgten mehrere Weiterentwicklungen. All diese CI-Methoden basieren auf Ursache-Wirkungs-Beziehungen, weil sie den gegenseitigen Einfluss und Effekt einer Entwicklung auf eine andere berücksichtigen. Die Notierung der Einflusswerte und Wahrscheinlichkeitswerte in einer unsymmetrischen Matrix (siehe BILD 4) ermöglicht die Visualisierung aller bidirektionalen Abhängigkeiten, im Gegensatz zur Konsistenzbetrachtung, die keine gerichteten Informationen beinhaltet und deren Matrix daher symmetrisch ist.

In Analogie bedient sich die hier verwendete evolutionäre CI-Analyse nach [8] ebenso Deskriptoren (Umfeldfaktoren, Variablen, Trends, Indikatoren, Attribute, etc.) und Deskriptorzuständen, sogenannten Projektionen (mögliche Entwicklungen eines Deskriptors, in der Regel zwei bis vier pro Faktor und versehen mit Eintrittswahrscheinlichkeiten). Die Summe dieser als Potentialwerte (PW) bezeichneten Wahrscheinlichkeiten muss dabei immer 100% pro Deskriptor ergeben (siehe BILD 4). Für jede Zelle der Matrix wird folgende Fragestellung beantwortet: „Wie ändert sich die ursprünglich angenommene Eintrittswahrscheinlichkeit der Ausprägung eines (Zeilen-) Deskriptors x unter der Voraussetzung, dass eine Ausprägung eines (Spalten-) Deskriptors y eintritt?“ Der Bereich der Einflusswerte reicht von -3 (die Wahrscheinlichkeit vermindert

sich stark) bis +3 (die Wahrscheinlichkeit erhöht sich stark), wobei sich die Verwendung von ausschließlich ganzen Zahlen bewährt hat.

Das Diagramm zeigt ein Koordinatensystem mit Achsen x und y. Rechts daneben befindet sich ein vertikaler Pfeil, der auf die Spalten eines Tisches zeigt, beschriftet mit „Projektionen“. Der Tisch besteht aus drei horizontalen Tabellen, die von „Faktor 1“, „Faktor 2“ und „Faktor 3“ beschriftet sind. Jede Tabelle hat drei Zeilen, die „Projektion 1“, „Projektion 2“ und „Projektion 3“ heißen. Die Spalten sind ebenfalls nach den Projektionen benannt. Die Zellen enthalten Zahlenwerte, die durch Prozentangaben (z.B. 45%, 30%, 25%) und Einflusswerte (-3 bis +3) ergänzt sind. Die Zellen sind farblich schattiert: grau für die Prozentangaben und hellgrau für die Einflusswerte. Die Tabelle ist mit „Deskriptor“ und „Potentialwerte“ beschriftet. Ein vertikaler Pfeil auf der rechten Seite weist auf die Spalten hin, beschriftet mit „Projektionen“. Ein vertikaler Pfeil auf der linken Seite weist auf die Zeilen hin, beschriftet mit „x“.

BILD 4. Notierung der Systemwechselwirkungen und Potentialwerte in einer unsymmetrischen Cross-Impact-Matrix.

Im Gegensatz zu Gordon's Ansatz oder Battelle's BASICS, wird in der hier vorgestellten Methodik eine spezielle Sigmoid-Transferfunktion verwendet (siehe GLEICHUNG 1 und BILD 5), welche eine iterative Berechnung der CIM erlaubt. Die Systemkonstante α definiert in diesem Zusammenhang die Steigung der Sigmoid-Funktion und sollte im Bereich von 0,4 - 0,6 liegen um eine hohe Konsistenzgüte der Szenarien zu erreichen. Eine detaillierte Zusammenfassung der Transformationslogik findet sich in [8].

$$(1) \quad f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha x}} \quad \text{Sigmoid-Transferfunktion}$$

Die Berechnung der CIM hat das Ziel, für jeden Deskriptor die Projektion auszuwählen, die nach einer kompletten Beeinflussung durch alle anderen Projektionen den höchsten PW aufweist. Die Kombination aller pro Faktor ausgewählter Projektionen ergibt das sogenannte Szenario-Gerüst, aus welchem die Szenarien ausgearbeitet werden.

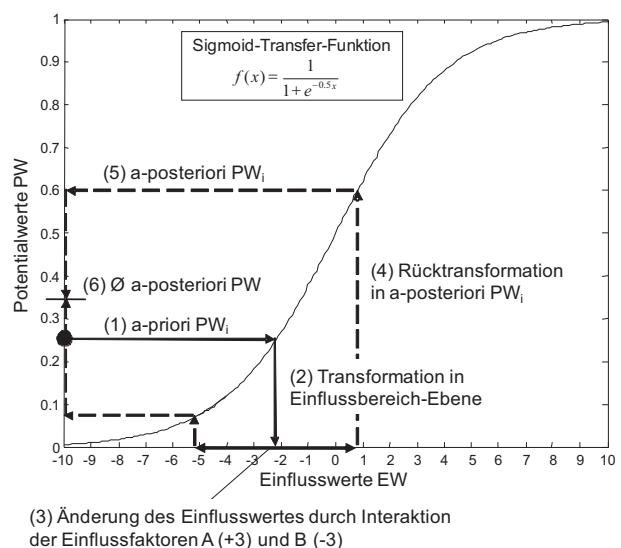


BILD 5. Überführung von a-priori Potentialwerten in a-posteriori Werte mit Hilfe einer Sigmoid-Transfer-Funktion. Eine detaillierte Beschreibung der Methodik findet sich in [8].

Der evolutionäre und dynamische Charakter der in [8] betrachteten Logik kommt dadurch zustande, dass die Ergebnisse des ersten Szenarioberechnungsdurchlaufes als Startpunkt für den nächsten verwendet werden (siehe BILD 6). Durch diese iterative Entwicklung in mehreren Zeitscheiben kann gezeigt werden, dass die sich entwickelnden Szenarien Emergenzen, Phasenverschiebungen und ein allgemein umfangreiches Verhalten der komplexen Systemeigenschaften abbilden. Dabei wird die Anzahl von unterschiedlichen Szenarien deutlich reduziert sowie indirekte und schwache Faktoren, die ihren Einfluss auf das System erst in späteren Zeitscheiben vergrößern, sichtbar gemacht. Der Vorteil dieses verbesserten Einblickes in die Systemdynamik höherer Ordnung ist, dass auch die Entwicklung von eher unerwarteten Szenarien tiefgreifender und detaillierter beschrieben werden kann.

Die endgültige Auswahl der Szenariogerüste erfolgt über spezielle Clusteralgorithmen. Die Clusterung dient der Strukturierung und Zusammenfassung von ähnlichen Rohszenarien zu Szenariobündeln. Der Auswahlprozess wird durch den Einsatz von unterschiedlichen Szenariofiltern und anschließender Berechnung von Distanzwerten unterstützt [8]. Bei der Auswahl sollte beachtet werden, dass der größtmögliche betrachtete Bereich von alternativen, plausiblen Entwicklungen auch den am breitesten gefächerten Blick in die Zukunft und somit die Grundlage für robuste Strategien und Entscheidungen bietet.

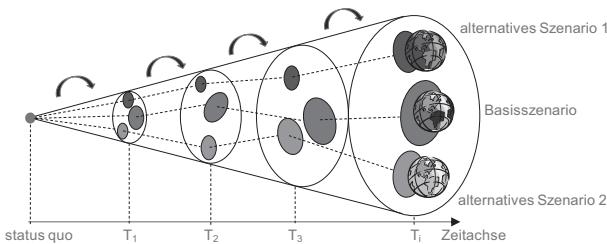


BILD 6. Iterative Entwicklung von Szenarien in mehreren diskreten Berechnungsschritten (in Anlehnung an [8]).

3.5. Modifizierung des Ansatzes

Die Verwendung bereits existierender, in der Systemhierarchie weiter oben stehender (Makro-) Szenarien erleichtert den Entwicklungsprozess von problemspezifischen Szenarien, da die Teilnehmer des Szenarioprojektes bereits auf vorformulierte Umfeldbedingungen zurückgreifen können, die sie dann mit den neu zu erstellenden problemspezifischen Szenarien methodisch verknüpfen.

3.5.1. Intuitive Szenarioerweiterung

Bei Nutzung intuitiver Methoden hat sich die Auswahl eines Startfaktors für die Erstellung des Szenariogerüstes als nützlich erwiesen. Durch intensive gedankliche Auseinandersetzung mit den existierenden Makro/Meso Szenarien wird in einem Selektionsprozess von den Teilnehmern für jedes Mikro Szenario derjenige Faktor (inklusive einer bestimmten Projektion) ausgewählt, der als Startpunkt für die kausale Verknüpfung zwischen der gegebenen globalen Systemebene und der neu zu entwickelnden Mikroebene am plausibelsten erscheint (siehe BILD 7). Ausgehend von diesen Startpunkten werden die einzelnen Mikrofaktoren intuitiv durch szenariospezifische Auswahl der Projektionen zu einem plausiblen und konsistenten Gerüst zusammengefügt. Die parallele Dokumentation von Kern-

aussagen zur Nachverfolgung der Kausalketten stellt dabei ein notwendiges Mittel dar. Durch Überlagerung der alternativen Gerüste erfolgt anschließend eine Überprüfung, ob die einzelnen Mikroszenarien weit genug voneinander abgegrenzt sind und möglichst unterschiedliche Entwicklungen abdecken. Dies kann innerhalb des Plenums durch erneute Diskussion und Verschiebung der Szenariogerüste angepasst werden. Nach der Konsolidierung der Gerüste folgt abschließend die Ausformulierung der Szenarien zu plausiblen Zukunftsstories.

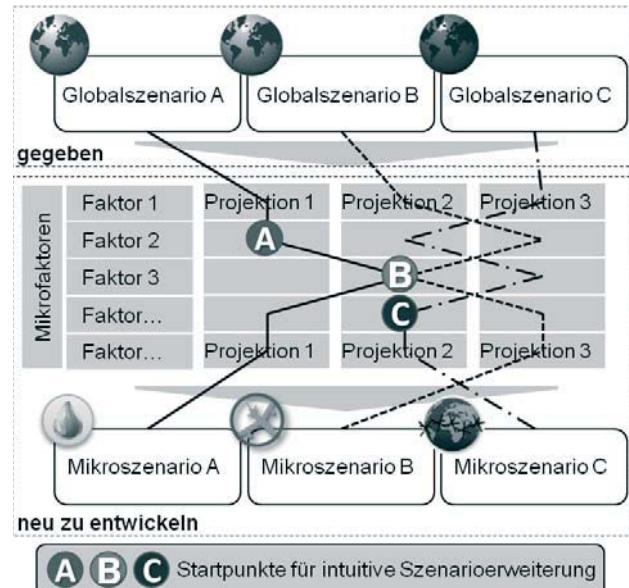


BILD 7. Erstellung der alternativen Mikro-Szenarioerüste durch intuitive Fortschreibung bereits existierender Makro/Meso Global-szenarien.

3.5.2. Modellbasierte Szenarioerweiterung

Wie die intuitive Szenarioerweiterung nach Abschnitt 3.5.1 hat der modellbasierte Erweiterungsansatz ebenso das Ziel auf bereits vordefinierten globalen Szenarien Mikro-Szenarioerüste aufzubauen. Im Gegensatz zum intuitiven Ansatz ist die Betrachtung einer vollständigen CIM des Gesamtsystems zwingend erforderlich. Diese ist in vier Sektoren unterteilbar, wobei nach BILD 8 das bereits existierende Makro/Meso System mit seinen Deskriptoren und Projektionen in Sektor I zu finden ist.

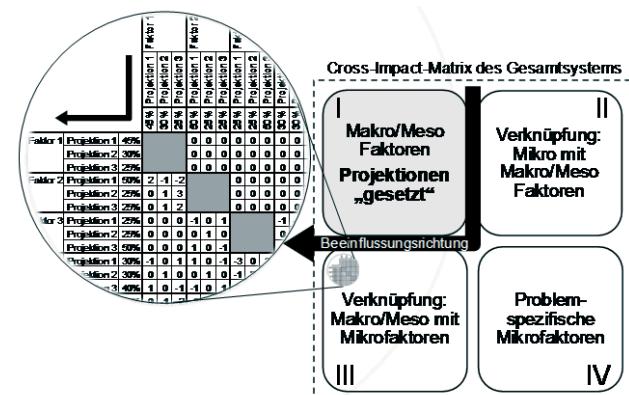


BILD 8. Zerlegung der Gesamtsystem Cross-Impact-Matrix in vier Untermatrizen. Die Beeinflussung erfolgt immer von einem Zeilenfaktor (bzw. einer Zeilenprojektion eines Faktors) zu einem Spaltenfaktor (bzw. einer Spaltenprojektion eines Faktors).

Sektor II betrachtet die Beeinflussung des Mikro- auf das Makro/ Meso System. Erneut sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass zwar in der Realwelt eine Lenkungsrichtung in diese Richtung möglich, der Einfluss des Mikro-Umfeldes auf das Makro/Meso Umfeld aber als eher gering einzustufen ist. In Sektor III erfolgt die Verknüpfung des Makro/ Mesosystemeinflusses auf das problemspezifische Mikroumfeld. Sektor 4 umfasst die Beeinflussung der Mikrofaktoren auf das Mikroumfeld.

Die Verknüpfung der Globalszenarien mit dem Mikro System geschieht indem die in den Makro/Meso Szenarien betrachteten Umfeldfaktoren als Prämissen behandelt werden, d.h. pro Globalszenario wird genau eine Projektion je Umfeldfaktor gesetzt. Methodisch wird dies durch Definition der jeweiligen bestimmten Projektion eines Globalfaktors in Sektor I mit dem a-priori Potential von 100% umgesetzt. Um eine Rückwirkung aus der CIM auf das gesetzte globale Umfeld (Sektor I) zu vermeiden, werden alle Einflusswerte der CIM Bereiche I und II auf „0“ gesetzt. Dadurch wird sichergestellt, dass bei der Entwicklung der Potentialwerte auf Basis der Sigmoid-Transferfunktion (siehe BILD 5) keine Änderung der Projektion eines Makro/ Meso Faktors eintreten kann, das Makro/Meso-System bleibt also über der Zeit stabil.

Bevor die erweiterten Szenariogerüste berechnet und per Clusteranalyse ausgewählt werden können, müssen von den Teilnehmern wie in Abschnitt 3.4 beschrieben noch die beiden restlichen Untermatrizen III und IV der Gesamtsystem CIM ausgefüllt werden. Dadurch wird eine kausale Verknüpfung zwischen den einzelnen Subsystemen hergestellt (siehe BILD 8). Anschließend erfolgt für jedes betrachtete Globalszenario mit seinen gesetzten Makro/Meso-Potentialwerten eine evolutionäre Szenarioentwicklung nach Abschnitt 3.4. Bei der Berechnung werden zwei Beeinflussungen auf das neu zu entwickelnde Mikrosystem berücksichtigt. Zum einen die Wirkung des gesetzten Makro/ Meso Sektors I, zum anderen die Wirkung ausgewählter treibender Mikrofaktoren (Die Anzahl dieser das System anregenden Mikrofaktoren wird auf Grund des hohen Informationsverwaltungsaufwandes durch die zur Verfügung stehende Rechenleistung limitiert [8]). Ist im ersten Berechnungsschritt für Zeitscheibe 1 noch ersterer Einfluss ausschlaggebend, so kommt es in den nachfolgenden Iterationsschritten zu einer Mischung der beiden Einflüsse und damit zu einer dynamischen Entwicklung des Mikrosystems unter der Annahme, dass das vorgegebene Makro/ Meso System stabil bleibt.

Bei der Auswahl der Mikro-Szenarien über Clusteranalysen ist erneut sicherzustellen, dass die alternativen Mikroszenarien weit genug voneinander abgegrenzt sind. Dies wird durch die Verwendung der fertigen Szenarien höherer Ordnung unterstützt. Abschließend erfolgt analog zu Abschnitt 3.5.1 die Ausformulierung der Szenarien zu plausiblen Zukunftsstories.

Im hier betrachteten Anwendungsprojekt „Aircraft Fuels 2030+“ wurde für jeden der 18 ACARE Umfeldfaktoren (z.B. globale Wirtschaftsentwicklung, Umweltbewusstsein, Luftverkehrswachstum) und für jedes ACARE Szenario die entsprechende Projektion gesetzt. Durch die zusätzliche Auswahl von 21 Kraftstoff relevanten Mikrofaktoren mit jeweils drei Projektionen waren theoretisch 3^{21} unterschiedliche Mikro-Szenarien möglich, durch die methodische Verknüpfung mit den ACARE Szenarien waren aller-

dings deutlich weniger auch wirklich plausibel. Nach der Systementwicklung über die evolutionäre Cross-Impact-Methode (Abschnitt 3.4) blieben pro ACARE Szenario ca. 100 mögliche Szenarien übrig. Per Clusteranalyse wurden jeweils drei bis fünf Szenariocluster identifiziert. Abschließend wurde durch Plausibilitätscheck sowie der Forderung nach möglichst unterschiedlichen alternativen Szenarien für jedes ACARE Globalszenario genau ein Mikro-Szenariocluster ausgewählt.

3.6. Diskussion des modifizierten Ansatzes

Obwohl die Szenariotechnik bzw. der Begriff Szenario über die letzten Jahrzehnte mehr und mehr an Popularität gewann, ist ein operationeller Einsatz als Teil des Zukunftsmanagements eines Unternehmens immer noch mit Hemmschwellen verbunden. Vor allem der limitierende Faktor Zeit stellt häufig den Hauptgrund dar, warum sich die Verwendung der Szenariotechnik vor allem in kleinen Unternehmen nur schwer durchsetzt [4][9]. Der Prozess der Bildung von alternativen Zukunftsbildern verbraucht dabei nur einen Teil der personell und zeitlich notwendigen Ressourcen. Szenarien müssen nach ihrer Erstellung auf verschiedene Fragestellungen angewendet, regelmäßig hinterfragt und bei Bedarf aktualisiert werden. Nur dann ist eine effiziente Nutzung in der Unternehmensplanung sinnvoll. Für die Rechtfertigung des Einsatzes der zeitlich aufwendigen Szenariotechnik ist deshalb häufig ein „revolutionärer Wandel“ der Einstellung von Planungsträgern notwendig [4].

Durch die Aufteilung des Gesamtsystems Luftverkehr in mehrere Aggregationsebenen kann der Prozess der Szenarioerstellung vor allem auf der Mikro-Ebene zeitlich optimiert werden. Die Auswahl potentieller Experten kann auf deren Kenntnisstand über das betrachtete Mikro-Problemfeld beschränkt werden, da die Teilnehmer nicht mehr selbstständig das übergeordnete und für sie teils eher unbekanntere Makro/Meso-System analysieren müssen, sondern auf bereits vorgefertigte Zukunftsbilder anknüpfen können. Das Aufbauen auf diese vorformulierten Szenarien hilft beim kreativen Prozess der Mikro-Szenariobildung. Darüberhinaus wird die notwendige Abgrenzung der alternativen Szenarien während des Bildungsprozesses erleichtert und dadurch die anschließende notwendige Konsolidierung der einzelnen Zukunftsbilder zeitlich reduziert. Ein weiterer großer Vorteil liegt in der Möglichkeit einer robusteren Bewertung von verschiedenen Technologieumfeldern innerhalb ein und desselben Makro/Meso Umfeldes. Die mehrmalige Verwendung von Globalszenarien zur Beantwortung unterschiedlicher problemspezifischer Fragestellungen kann dabei die Akzeptanz der Szenariotechnik innerhalb eines Unternehmens oder einer Branche zusätzlich fördern.

Neben den genannten Vorteilen des modifizierten Ansatzes sind jedoch auch Nachteile bzw. Kompromisse zu nennen. Zwar kann die Nutzung bereits existierender Szenarien zeitliche Vorteile bringen, der Zeitaufwand zum Ausfüllen der Gesamtsystem-CIM wächst allerdings mit steigender Anzahl an betrachteten Faktoren. Auch wenn die CIM des Makro/Meso Umfelds nicht mehr von den Teilnehmern ausgefüllt werden muss, so darf der Zeitaufwand für die restlichen Sektoren III und IV (siehe BILD 8) nicht unterschätzt werden.

Besonders die zum Teil fehlende Transparenz in der Erstellung der Szenariogerüste mit Hilfe von Computer ge-

stützten Modellen stellt bei Prozessteilnehmern in manchen Fällen ein Hindernis in der Akzeptanz der Szenarien dar. Bei der intuitiven Entwicklung wird diesem Problem entgegengewirkt, indem die Kausalketten und Kernaussagen bereits während der szenariospezifischen Auswahl der Projektionen durch die Teilnehmer formuliert werden, und nicht erst nach der Fertigstellung der Szenariogerüste. Andererseits hilft gerade die in diesem Artikel verwendete evolutionäre CI Methode durch die Visualisierung der dynamischen Entwicklung einzelner Faktorausprägungen häufig bei der Suche nach Argumentationen, wie bestimmte Entwicklungen über der Zeit Schritt für Schritt zustande gekommen sind. BILD 9 zeigt am Beispiel des Faktors „Marktdiffusion von Drop-In-fähigen Kraftstoffen für Kerosin“ wie sich die relative Häufigkeit des Auftretens von Projektionen innerhalb eines Clusters über die Zeitintervalle (ZI) ändern kann. In der konkreten Beispielentwicklung wurde mit Hilfe der evolutionären Berechnungslogik eine hohe Marktdiffusion im letzten ZI identifiziert, obwohl in ZI 1 noch eine mittlere Marktdiffusion dominiert hat. Dies spiegelt die Realität gut wieder, da die Einführung alternativer Kraftstoffe auf Grund der hohen Entwicklungs- und Zertifizierungsstandards, sowie politischen und wirtschaftlichen Hindernissen sicherlich nicht ein schlagartiger, sondern eher kontinuierlich wachsender Prozess sein wird. Auch das globale Makro- und Meso-Umfeld entwickelt sich in der Realität Schritt für Schritt in die Zukunft, dies kann allerdings in der vorgestellten Verknüpfungsmethodik nicht berücksichtigt werden, da durch das Setzen die jeweiligen Makro/Meso Ausprägungen über alle Be rechnungsintervalle stabil bleiben, was als Kompromiss akzeptiert werden muss.

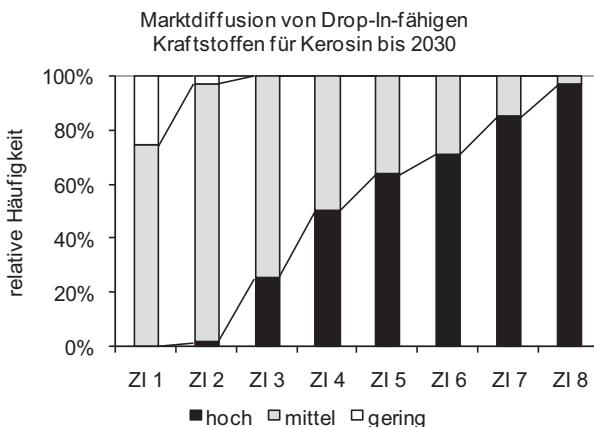


BILD 9. Beispielhafte iterative Entwicklung der relativen Häufigkeit von Projektionen eines Faktors (innerhalb eines Clusters) über die Zeitintervalle (ZI). Durch die evolutionäre CI Methode kann das nicht lineare, dynamische Verhalten von Umfeldfaktoren abgebildet werden.

In diesem Kontext soll auch angesprochen werden, unter welchen Bedingungen die Verwendung von existierenden Szenarien noch zeitliche Aktualität und Relevanz besitzt. Obwohl ein regelmäßiges Fortschreiben von Szenarien ratsam ist, so ist es umso schwieriger eine Empfehlung über die dafür sinnvollen Zeit-Intervalle abzugeben. Abhängig vom Ausmaß der Veränderungen müssen die Nutzer individuell entscheiden, in welchen zeitlichen Abständen die Szenarien angepasst werden sollen [4]. Vor allem die aktuellen Entwicklungen in der globalen Wirtschaft, oder die dramatisch gestiegenen Energiepreise im

Jahre 2008, lassen manch unerfahrenen Szenarioanwender zweifeln, ob beispielsweise die ACARE Szenarien aus dem Jahr 2003 immer noch verwendet werden können. Es sind gerade derartige extreme Entwicklungen, die den Vorteil des Denkens in alternativen Szenarien erst bestätigen, bzw. die im Nachhinein aufzeigen, ob die Spanne der entwickelten Szenarien groß genug war. Die gegenwärtige Wirtschaftskrise sollte dabei eher als Trendbruchereignis (eine sogenannte Wild Card) angesehen werden, und nicht als Trendentwicklung für die kommenden 10-15 Jahre. Wild Cards können als gravierende Einzelereignisse bezeichnet werden, die zwar laut Meinung von Experten im Vorfeld als relativ unwahrscheinlich eingestuft werden, aber bei Eintreffen eine weitreichende Wirkung auf das betrachtete System haben [15].

Bei genauer Betrachtung der ACARE Szenarien kann festgestellt werden, dass diese auf Grund ihres langfristigen Zeithorizontes, des stark qualitativen Charakters und der unterschiedlichen positiven sowie negativen Entwicklungsrichtungen immer noch als Basis für die in diesem Artikel beschriebene Erweiterungsmethodik verwendet werden können. Obwohl beispielsweise eine der wenigen quantitativen Aussagen eines globalen Wirtschaftswachstums von $\varnothing +4\%$ p.a. im positiven „Segmented Business Models“ Szenario für viele Experten zwar als wünschenswert aber für die kommenden Jahre als eher unwahrscheinlich eingestuft wird. Längerfristig besteht aus Erfahrung der letzten Jahrzehnte eine realistische Chance, dass die Wachstumsraten von Wirtschaft und Luftverkehr relativ rasch wieder auf alte Niveaus ansteigen können. Eine erneute Diskussion der getroffenen Annahmen und Aussagen in den aktuellen ACARE Szenarien bzw. eine Integration von kurzfristigen Entwicklungsalternativen aus der bestehenden Wirtschaftskrise in den kommenden zwei bis drei Jahren ist daher trotzdem empfehlenswert. Ein Update oder die Entwicklung völlig neuer Globalszenarien in Zeiten großer Trendbrüche oder gar Krisen kann aber auch Risiken in sich bergen. Durch die stark subjektive Komponente der Szenariotechnik bei der Auswahl der Faktoren und Ereignisse, sowie deren Entwicklung und Interdependenzen, können aktuelle Ereignisse eine Übergewichtung erfahren und somit den gesamten Szenariohorizont dominieren, was zu einer ungerechtfertigten Verschiebung der Zukunftswahrnehmung führen kann.

4. BESCHREIBUNG DER ALTERNATIVEN KRAFTSTOFFSzenariEN

Im Rahmen des Szenarioprojektes „Aircraft Fuels 2030+“ wurden auf Grundlage der ACARE Szenarien aus dem Jahr 2003 [16] drei alternative Kraftstoffszenarien abgeleitet. Für jedes dieser evolutionär entwickelten Zukunftsbilder wird nachfolgend eine Zusammenfassung der Kernaussagen präsentiert. Anschließend werden in knapper Form Implikationen wie der globale Primärenergie- bzw. Erdölbedarf, sowie Möglichkeiten zur Schließung der Lücke zwischen Kraftstoffangebot und -nachfrage in der Luftfahrt abgeleitet. Eine ausführliche inhaltliche Beschreibung der Studie findet sich in [17].

4.1. “Ruling Energy Markets”

Dieses Szenario basiert auf dem ACARE „Basic Scenario“, das weitgehend moderate Wachstumsraten für Weltwirtschaft (3% p.a.) und Luftverkehr (4,5% p.a.) annimmt. Der asiatische Raum nimmt bezüglich des Wachstums jeweils eine führende Rolle ein. Eine global weitgehend

stabile politische Situation geht im Energiebereich einher mit steigender Nachfrage bei relativ konstantem Angebot sowie wachsender Marktmacht der Konzerne. Dies führt in Kombination mit regional zunehmenden Umweltauflagen (z.B. Steuern und Emissionshandel) zu erheblichen Preissteigerungen - insbesondere beim Öl. Sowohl von politischer als auch gesellschaftlicher Seite entstehen Anreize, in alternative, nachhaltige Energieformen zu investieren. Strenge Zertifizierungsprozesse, hohe Investitionskosten und ein starker Einfluss der etablierten Energieunternehmen verhindern jedoch, dass die Markteintrittsbarrieren für neue Kraftstoffe schnell (genug) sinken. Somit bleibt der Anteil an beimischungsfähigen, neuen Kraftstoffen, insbesondere Biokraftstoff der nächsten Generation, zunächst gering. Mit dem Erreichen eines Öl-Produktionsmaximums („Peak Oil“) im Jahr 2018 und einem bald darauf folgenden jährlichen Produktionsrückgang von 1%, entsteht jedoch hohe Nachfrage nach alternativen Energiequellen. Entsprechend steigen bereits ab dem Jahr 2015 die Kerosinpreise, die sich erst ab 2025 aufgrund von höherer Verfügbarkeit von Alternativen auf hohem Niveau stabilisieren. Ab 2021 übersteigt die Nachfrage das Angebot an konventionellem Flug-Kraftstoff, wobei diese Nachfragerücke zunächst vor allem von fossilen Alternativen überbrückt wird, bevor Biokraftstoffe in relevanten Mengen verfügbar werden.

4.2. „Efficient Technologies“

Dieses Szenario basiert auf dem Positiv-Szenario „Segmented Business Models“ von ACARE. Nach einer schnellen Überwindung der Finanzkrise in den Jahren 2008-2010 setzt der Globalisierungsprozess wieder in vollem Ausmaß ein und führt zu einem starken Wachstum von Weltwirtschaft (4% p.a.) und Luftverkehr (6,5% p.a.) bei stabiler politischer und wirtschaftlicher Lage. Diese Situation vereinfacht die internationale Koordination bezüglich weltweiter Herausforderungen, so dass sich u.a. ein globales Emissionshandelssystem etablieren lässt, wodurch Entwicklungsanstrengungen für energieeffiziente Technologien massiv verstärkt werden. Somit beschleunigt sich die Entkopplung von Energie- und Wirtschaftswachstum und die Ölnachfrage reduziert sich relativ zum gesamten Energiebedarf. Die Entwicklung von Alternativen zu Öl-basierten Kraftstoffen verringert die Marktmacht der Ölkonzerne und der Ölpreis stabilisiert sich auf niedrigem Niveau. Sinkende Markteintrittsbarrieren für neue Kraftstoffe erlauben eine regionale, umwelteffiziente und günstige Bio-Kraftstoff-Produktion. Das Ölfördermaximum wird erst im Jahr 2025 erreicht, da sowohl die Produktionstechnologie, die Erschließung schwer zugänglicher Ölquellen, die effizienzbedingte Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch, sowie die gestiegene Verfügbarkeit von Alternativen diesen Prozess verlängern. Ab diesem Moment steigen die Energiepreise moderat von ihrem zunächst niedrigen auf ein etwas höheres Niveau an und stabilisieren sich dort. Die bis 2030 entstehende Nachfrage-Lücke wird nach einer Übergangszeit mit anteilmäßig mehr fossilen Alternativen schlussendlich überwiegend mit Biokraftstoffen der nächsten Generation gefüllt.

4.3. „Cold Energy War“

Das dritte Szenario basiert auf dem Negativ-Szenario „Block Building“ von ACARE und zeichnet sich durch schwaches Wirtschafts- (1,3% p.a.) und Luftverkehrs-

wachstum (2% p.a.) aus. Wirtschaftliche, religiöse und politische Konflikte dominieren die Entwicklung, wodurch der internationale Handel mit Waren und Dienstleistungen (und damit die gesamte Globalisierung) massiv eingeschränkt werden. Da durch diese Konflikte und den generell erschweren Zugang zu international gehandelten Gütern auch Öl erneut zum knappen Gut wird, steigen die Energiepreise und verbleiben auf hohem Niveau. Ausgehend von der Wirtschaftskrise im Jahr 2009 verschlechtert sich der Zugang zu Krediten, was Investitionen in neue Ölfordertechniken und energieeffiziente Technologien behindert. Regionale Regulierungen führen zu einer großen internationalen Bandbreite von Flugkraftstoff-Preisen. Trotz schwacher Wachstumsdaten führen die hohen Energiepreise zur lokalen Entwicklung und Zertifizierung einiger alternativer Kraftstoffe, die sich aber aufgrund gestiegener Handelsbarrieren kaum global verbreiten. Da soziale und umweltbezogene Standards unter dem ungünstigen politischen Umfeld in den Hintergrund rücken, werden statt Biokraftstoffen der nächsten Generation insbesondere synthetische (auf Kohle und Gas) basierende Kraftstoff-Alternativen weiterentwickelt und produziert. Da kaum frisches Kapital in bestehende Ölförderanlagen fließt, wird trotz geringem Wirtschaftswachstum im Jahr 2013 ein frühes Öl-Fördermaximum erreicht. Nach einem rezessionsbedingten Verfall der Energiepreise zwischen 2009 und 2011 steigen die Ölpreise aufgrund des verschlechterten Zugangs bis 2030 wieder kontinuierlich an. Das geringe Luftverkehrswachstum führt jedoch dazu, dass der konventionelle Flug-Kraftstoff erst ab 2027 nicht mehr ausreicht um die Nachfrage zu decken. Diese Lücke wird überwiegend durch synthetisch fossile Alternativen geschlossen. Nur in wenigen Regionen gibt es Nischenmärkte für Biokraftstoffe.

4.4. Auswirkungsanalyse

Vor dem Hintergrund der erarbeiteten Kraftstoffszenarien (Abschnitt 4.1 - 4.3) wurden der globale Primärenergiebzw. Erdölbedarf, sowie Möglichkeiten zur Schließung der Lücke zwischen Kraftstoffangebot und -nachfrage in der Luftfahrt abgeleitet. Die einzelnen Szenarien unterscheiden sich dabei nicht nur in der Menge der benötigten Kraftstoffalternativen, sondern auch in der prozentualen Zusammensetzung des Gesamtkraftstoffmixes (siehe BILD 10).

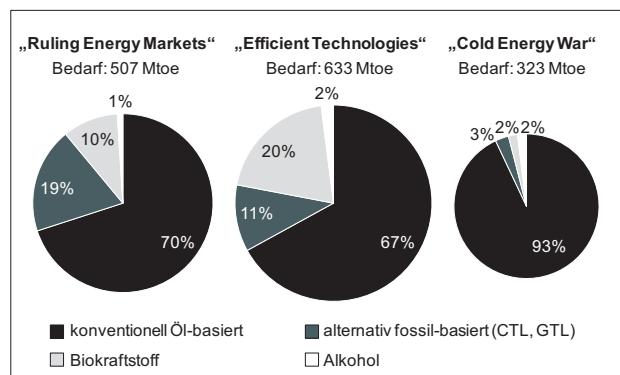


BILD 10. Globaler Flugkraftstoffbedarf im Jahre 2030 unter der Annahme, dass Ø 8% p.a. des weltweit zur Verfügung stehenden Erdöls zur Herstellung von Kerosin verwendet werden [17].

Die Auswertung der Szenarien lässt den Rückschluss zu, dass eine Verbesserung der Energieeffizienz des Luft-

transportsystems zu einer beträchtlichen Entkoppelung von Marktwachstum und Energieverbrauch führen kann. Sowohl der Ölpreis als auch die begrenzte Verfügbarkeit bestimmen nach wie vor den Kerosinpreis, allerdings werden in den nächsten Jahrzehnten speziell in der Luftfahrt Umweltanliegen und -maßnahmen zur Reduktion des Klimaeinflusses die operationellen Kosten der Airlines noch stärker beeinflussen. Die Szenarien zeigen in diesem Zusammenhang einen dringenden Bedarf zur Förderung der Entwicklung von alternativen Kraftstoffen. Allerdings bleiben Eintrittsbarrieren wie Zertifizierungszeiten, Infrastrukturaufbau oder die Marktmacht ölpproduzierender Länder und Unternehmen ein Hindernis für eine zeitnahe Einführung von Kerosinalternativen. Um den zukünftigen Bedarf zu decken müssen deshalb Flugzeug-, Triebwerks- und Kraftstoffproduzenten, Flughäfen, Airlines und Behörden enger zusammenarbeiten um eine kritische Masse für eine anhaltende Marktdiffusion von alternativen Kraftstoffen zu erreichen. Obwohl Umwelt- und soziale Nachhaltigkeit von Kraftstoffalternativen nach wie vor politischen und ökonomischen Interessen untergeordnet sind, werden vor allem politische Instrumente die Marktdiffusion unterstützen, speziell wenn das Emissionshandelssystem nach mehr CO₂ neutralen Kraftstoffen verlangt. Insbesondere Biokraftstoffe der nächsten Generation sind über den betrachteten Zeithorizont dafür potentiell die einzige Lösung. Deshalb werden Investoren vor allem das Langzeit-Marktpotenzial von Biokraftstoffen beachten müssen. Allerdings werden der niedrige Technologiereifegrad von Biokraftstoffen der nächsten Generation sowie die hohen Zertifizierungshürden zu einer anfänglich höheren Marktpräsenz von fossilen Alternativen wie Coal-to-Liquid (CTL) und Gas-to-Liquid (GTL) in den kommenden Jahren führen. Deshalb muss der Biokraftstoffmarkt weltweit geöffnet werden, um eine umwelteffizientere und günstigere Herstellung von Bioalternativen zu ermöglichen. Die Verwendung von Alkohol als Flugkraftstoff wird sich – wenn überhaupt – nur als Nischensegment in Südamerika durchsetzen können (nicht zuletzt aufgrund seiner für die Luftfahrt ungünstigen physikalischen Eigenschaften im Bereich Energiedichte und Flammpunkt sowie seiner stark korrosiven Wirkung hervorgerufen durch seinen hohen Sauerstoffanteil).

5. ZUSAMMENFASSUNG

Dieser Artikel zeigt, inwiefern die Bildung von problemspezifischen Mikroszenarien auf niedrigem Aggregationsniveau als Erweiterung bereits existierender, universeller Makro-/ Mesoszenarien einen vorteilhaften methodischen Einfluss im Bereich der Szenarioerstellung hat. Dadurch wird die Behandlung von komplexeren Systemen unter Verwendung einer größeren Anzahl an Umfeldfaktoren ermöglicht, wobei die Prozesszeiten zur Durchführung der methodischen Schritte in handhabbarem Rahmen bleiben. Die neu erstellten Mikroszenarien können im Bereich der Produktentwicklung und Technologiebewertung breite Anwendung finden indem sie Manager Entscheidungen durch ein detaillierteres Verständnis über Möglichkeiten und Risiken von zukünftigen Problemstellungen oder über Technologien in einem dynamischen, turbulenten und unsicheren Markt unterstützen.

Der hier beschriebene Ansatz führt nicht nur zu einer potentiellen Verkürzung und Optimierung der Szenariobildung, er erlaubt zudem eine robustere Bewertung sowie einen Vergleich des Einflusses von unterschiedlichen

Technologien innerhalb desselben sozio-ökonomischen und Luftfahrtspesifischen Umfeldes. Der Ansatz wurde im Rahmen eines Szenarioprojektes zum Thema „alternative Kraftstoffe“ gemeinsam mit einer modifizierten evolutionären Cross-Impact-Methode getestet. Diese Methode baut auf eine neuartige, nicht-lineare Technik zur Generierung von Szenarien auf, welche in diskreten Zeitschritten entwickelt werden um die komplexen und unbeständigen Eigenschaften eines dynamischen und nachhaltig beeinflussten Umfeldes zu reflektieren. Mit Hilfe der erweiterten Logik war es möglich, schrittweise alternative Kraftstoffszenarien für die Luftfahrt zu generieren. Das Mikro-Kraftstoffumfeld wurde dabei auf Grundlage existierender, in der Luftfahrtbranche anerkannter Makro-/ Mesoszenarien von ACARE entwickelt, welche im Jahr 2003 für die „Vision 2020“ erstellt worden waren [16].

REFERENZEN

- [1] P. Micic: Das Zukunftsradar, Gabal Verlag, Offenbach, 2006
- [2] A. Fink, A. Siebe: Handbuch Zukunftsmanagement – Werkzeuge der strategischen Planung und Früherkennung, Campus Verlag Frankfurt, 2006
- [3] J. Gausemeier, u.a.: Szenario-Management, Carl Hanser Verlag München Wien, 1995
- [4] M. Meyer-Schönherr: Szenario-Technik als Instrument der strategischen Planung, Verlag Wissenschaft & Praxis, Ludwigsburg, Berlin, 1992
- [5] A. Strohmayer: Szenariomethoden im Vorentwurf ziviler Transportflugzeuge, Dissertation Lehrstuhl für Luftfahrttechnik, Technische Universität München, Verlag Dr. Hut, München, 2001
- [6] M. Meussen, A. Becker: Integration of a scenario method in Airbus' technology and project evaluation. 24th International Congress of the Aeronautical Sciences, Yokohama, 2004
- [7] S. Eelman: An enhanced scenario approach assessing uncertainties in the realization of new aircraft and technologies. 25th International Congress of the Aeronautical Sciences, Hamburg, 2006
- [8] S. Eelman, S. Föller: A novel modeling approach enhancing classic scenario generation techniques. International Council on Systems Engineering 2006, Orlando, Florida, USA, 2006
- [9] D. Mietzner, G. Reger: Advantages and disadvantages of scenario approaches for strategic foresight. Int. J. Technology Intelligence and Planning, Vol. 1, No. 2, p.220 – 239, 2005
- [10] Haberfellner, Reinhard u.a. 2002: Systems Engineering – Methoden und Praxis, 11. Aufl., Verlag Industrielle Organisation
- [11] Heinecke, Schwager, 1995: Die Szenario-Technik als Instrument der strategischen Planung, Technische Universität Braunschweig, Institut für Wirtschaftswissenschaften
- [12] H. Kahn, T. Pepper: The Japanese Challenge: The Success and Failure of Economic Success, Crowell, New York, 1979

- [13] J. Kane: A Primer for a New Cross-Impact Language – SKIM, Journal of Technological Forecasting and Social Change, pp. 129 – 142, 1972
- [14] T.J. Gordon, H. Hayward: Initial Experiments with the Cross Impact Matrix Method of Forecasting, Futures 1 (2), pp. 100 – 116, 1968
- [15] A. Steinmüller, K. Steinmüller: Ungezähmte Zukunft – Wildcards und die Grenzen der Berechenbarkeit, Gerling Akademie Verlag München, 2003
- [16] ACARE: Strategic Research Agenda 2 – Vol. 1. Advisory Council for Aeronautics Research in Europe, 2004
- [17] S. Naundorf, P. Phleps, C. Kelders, S. Eelman: Implementing Alternative Fuels in Aviation – A Scenario Based Analysis of Demand, Supply and Relevant Implications, noch unveröffentlichtes Manuscript, 2009