



Leitfaden zur Entscheidungsfindung und Bewertung von Maßnahmen und Technologien im Verkehr

ÖKONVER – Ökonomisch fundierte
Bewertung neuer Technologien
und Maßnahmen im europäischen
Verkehrssystem,
TP 1000 Bewertungsmethoden

Stand: 5. November 2020



Dokumenteigenschaften

Titel	Bewertungsleitfaden
Betreff	ÖKONVER – TP 1000
Institut	Verkehrsforschung (VF), Lufttransportsysteme (LY), Flughafenwesen und Luftverkehr (FW), Verkehrssystemtechnik (TS), Technische Thermodynamik (TT), Fahrzeugkonzepte (FK)
Autoren	Gernot Liedtke (VF), Klaus Lütjens (LY), Raphael Piendl (VF), Francisco Bahamonde Birke (VF), Wolfgang Grimme (FW), Lars Hedemann (VF), Sven Maertens (FW), Marlene O’Sullivan (TT), Janina Scheelhaase (FW), Benedikt Scheier (TS), Kathrin Viergutz (TS), Adél Schöpfer (FW), Christian Winkler (VF), Benjamin Frieske (FK), Ines Österle (FK)
Version	3.1 vom 5. November 2020

Inhaltsverzeichnis

1. Vorwort	6
2. Einleitung.....	10
2.1. Begriffe	10
2.2. Rolle von Wissenschaftlern in der Bewertung	13
2.2.1. Objektivität anstreben	13
2.2.2. Transparenz und Robustheit gewährleisten	14
2.2.3. Akzeptanz schaffen.....	14
2.3. Bewertung und Unsicherheit	15
2.3.1. Die Herausforderung von Unsicherheit in Bewertungsverfahren	15
2.3.2. Definition von Unsicherheit	16
2.3.3. Möglichkeiten des Umgangs mit Unsicherheit	16
3. Zielsystem.....	19
3.1. Anforderungen an Zielsysteme	19
3.2. Erarbeitung von Zielsystemen	20
3.3. Standardzielsysteme	21
3.3.1. Umwelt	22
3.3.2. Effizienz.....	22
3.3.3. Gerechtigkeit, Fairness	22
3.3.4. Lebensqualität	22
3.3.5. Nachhaltigkeit.....	22
3.4. Indikatoren	24
4. Alternativen.....	26
4.1. Techniken zur Alternativengenerierung.....	26
4.2. Beispiel: Infrastrukturplanung in Australien	28
5. Wirkungsermittlung.....	30
5.1. Methoden zur Umsetzung der Wirkungsmodellierung	30
5.1.1. Prognoseverfahren ohne Rückkopplung.....	31
5.1.2. Prognoseverfahren mit Rückkopplung	32
5.2. Modelle nach Aggregationsebene.....	33
5.2.1. Betriebswirtschaftliche Wirkungsmodellierung	33
5.2.2. Mikroökonomische Wirkungsmodellierung	33
5.2.3. Makroökonomische Wirkungsmodellierung	34
5.3. Beispiele für die Ermittlung von Wirkungen.....	36

6. Bewertung ohne vollständige Monetarisierung.....	39
6.1. Vorauswahl an Alternativen.....	39
6.1.1. Pareto optimale Alternativen	40
6.1.2. Weitere Einschränkungsmöglichkeiten	41
6.2. Nutzwertanalyse	42
6.2.1. Definition	42
6.2.2. Vorgehen	42
Beispiel – Nutzwertanalyse	43
6.2.3. Multi-Actor-Multi-Criteria-Analysis (MAMCA)	44
6.2.4. Analytischer Hierarchieprozess (AHP)	46
6.3. Kosten-Wirksamkeits-Analyse (KWA)	47
7. Bewertung mit vollständiger Monetarisierung (Nutzen-Kosten-Verfahren)	48
7.1. Bedeutung und Festlegung des Zinssatzes.....	48
7.2. Betriebswirtschaftliche Verfahren.....	49
7.2.1. Vorbemerkung zur Abgrenzung von LCC-A und TCO.....	49
7.2.2. Total-Cost-of-Ownership (TCO)	52
7.2.3. Life Cycle Costing Analysis (LCC-A).....	54
7.3. Volkswirtschaftliche Verfahren: Nutzen-Kosten-Analyse (NKA).....	58
7.3.1. Motivation/Ziel und Historie.....	58
7.3.2. Prinzip der Nutzenberechnung	58
7.3.3. Externe Effekte	60
7.3.4. Ansätze zur Monetarisierung nicht monetärer Einheiten.....	60
7.3.5. Entscheidungskriterium	64
7.3.6. Restriktionen und Erweiterungen.....	65
7.3.7. Anwendungsbeispiel der NKA im Verkehrsbereich	67
8. Anwendungshinweise	68
8.1. Inhaltliche Grenzen der Bewertungsverfahren	68
8.2. Einsatzmöglichkeiten der Bewertungsverfahren.....	69
9. Anhang	73

Inhaltsverzeichnis

Abbildung 1:	Schematische Übersicht der Struktur von Entscheidungsverfahren	8
Abbildung 2:	Übersicht des Entscheidungsbaums zur Wahl von Bewertungsverfahren mit Hervorhebung des Aspekts des „Zielsystems“	19
Abbildung 3:	Zielhierarchie dargestellt durch einen Zielbaum	21
Abbildung 4:	Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung 2016	23
Abbildung 5:	Mögliche Handlungsoptionen bei der Verkehrsinfrastrukturplanung	29
Abbildung 6:	Übersicht des Entscheidungsbaums zur Wahl von Bewertungsverfahren mit Hervorhebung des Aspekts der „Wirkungsermittlung“	30
Abbildung 7:	VECTOR21-Simulationen zur Diffusion unterschiedlicher Antriebstechnologien für den europäischen Pkw-Neuzulassungsmarkt bis 2030	37
Abbildung 8:	Übersicht des Entscheidungsbaums zur Wahl von Bewertungsverfahren mit Hervorhebung des Aspekts der „Bewertung“	39
Abbildung 9:	Auf den Referenzfall normierte Klimawirkung (ATR) und direkte Betriebskosten (DOC) für unterschiedliche Flughöhen und Fluggeschwindigkeiten auf der Strecke von Detroit (DTW) nach Frankfurt (FRA)	41
Abbildung 10:	Beispiel-TCO für die Anschaffung eines Pkw	53
Abbildung 11:	Festlegung vs. Entstehung der Kosten im Zeitverlauf bei Gütern mit langer Lebensdauer	55
Abbildung 12:	Lebenszyklusphasen eines Produkts nach DIN EN 60300-3-3	56
Abbildung 13:	Konzept für Kostenarten nach DIN EN 60300-3-3	56
Abbildung 14:	Strukturierung der LCC nach Lebenszyklusphasen und Kostenarten von Bahnsicherungstechnik aus Betreibersicht	57
Abbildung 15:	Nutzenvariation als Veränderung der Fläche zwischen Nachfrage- und Angebotsfunktion bei Variation des Preises p	59
Abbildung 16:	Gesamtübersicht des Entscheidungsbaums zur Wahl von Bewertungsverfahren	70

1. Vorwort

Die Problematik, Entscheidungen durch das Abwägen einzelner Aspekte zu treffen, durchzieht alle Bereiche der privaten und öffentlichen Wirtschaft. Diese Herausforderung hat selbstredend auch im Verkehr Gültigkeit und beinhaltet hierbei von politischen Maßnahmen über die Wahl von technologischen Linien bis hin zur Ausgestaltung konkreter Produkte und Designs eine große Bandbreite von Abwägungsproblemen. Das DLR im Bereich Verkehr interagiert sowohl mit Vertretern der Industrie als auch der Politik und tritt häufig als Vermittler auf. Hierdurch wird nun eine essentielle Anforderung an das DLR offensichtlich: die Unterstützung privater und öffentlicher Entscheidungsträger hinsichtlich ihrer Abwägungsprobleme und darüber hinaus die Vermittlung zwischen unterschiedlichen Interessengruppen in einem Abwägungsprozess.

Das Abwägen in der Politik bedeutet, die Entscheidungen so zu treffen, dass die vorhandenen volkswirtschaftlichen Ressourcen zur größtmöglichen Wohlfahrt führen sollen. Bei technologischen Linien hingegen ist sicherzustellen, dass Entwicklungsanstrengungen in einer Form so konzentriert werden, dass eine langfristige Wettbewerbsfähigkeit der Technologie gesichert werden kann. Werden hingegen einzelne Produkte und Produktdesigns betrachtet, gilt es für die Industrie, die Kundenanforderungen unter Berücksichtigung der Kosten maximal zufrieden zu stellen. Diesen Abwägungs- bzw. Entscheidungsproblemen liegt allen das ökonomische Prinzip zugrunde: die optimale Aufteilung knapper Ressourcen.

Des Weiteren bedeutet eine Abwägung auch mit Trade-offs umzugehen, die durch verschiedene Ziele oder involvierte Stakeholder-Gruppen den Abwägungsprozess durchdringen. In der Regel muss der Entscheider mit Zielkonflikten arbeiten, die immer dann vorliegen, wenn bei der Abwägung mindestens zwei Ziele verfolgt werden sollen, die jedoch durch ihre Unvereinbarkeit nicht gleichzeitig in vollem Umfang erfüllt werden können. Das Vorherrschen von Zielkonflikten bedingt somit im Allgemeinen eine Gewichtung der Ziele hinsichtlich der Präferenzen des Entscheiders. Dies bedeutet jedoch auch, dass der Abwägungsprozess durch normative Elemente wie beispielsweise die Festlegung der Ziele und der zugehörigen Indikatoren zur Messung geprägt ist.

Zusammengefasst spricht man hierbei von der **ökonomischen Bewertung**, die auch das Kernthema des vorliegenden Leitfadens darstellt. Hierbei handelt es sich also um eine strukturierte Abwägung von Entscheidungsoptionen hinsichtlich eines definierten Zielsystems bei gleichzeitig beschränkten Ressourcen.

Im Allgemeinen existiert zur systematischen Entscheidungsfindung in komplexen Abwägungssituationen eine Fülle an Literatur, die sich in zwei unterschiedliche Strömungen aufteilen lässt: einerseits die präskriptive Entscheidungstheorie, die versucht Strategien und Methoden herzuleiten, welche die kognitiven Fähigkeiten des Entscheiders adressieren und ihn zu objektiv besseren Entscheidungen leiten sollen. Andererseits sind dies Nutzen-Kosten-Verfahren, die sich bei betrieblicher Betrachtung mit der Investitionsrechnung befassen und auf volkswirtschaftlicher Ebene die sogenannte Nutzen-Kosten-Analyse in unterschiedlichen Modifikationen anwenden.

Allerdings erweist sich die vorliegende Literatur in mehrerer Hinsicht als suboptimal: erstens werden die unterschiedlichen Strömungen in der Bewertungsliteratur nie in einem gemeinsamen Kontext aufgeführt, was auch innerhalb des DLR zu Unklarheiten, Irritationen und Missverständnissen führt. Darüber hinaus werden (detaillierte) Betrachtungen in der bestehenden Literatur nur sehr einseitig durchgeführt und nicht in der Breite aller Bewertungsverfahren. Auch ist die verfügbare Literatur meistens auf Entscheidungsprobleme des Managements der privaten Wirtschaft fokussiert und nicht auf die Wahl von Technologielinien oder der Adressierung von Verkehrsproblematiken gemünzt. Zu guter Letzt wird die eher komplexe volkswirtschaftliche Nutzen-Kosten-Analyse meist mit stark vereinfachten Beispielen erläutert, die somit den tatsächlichen Praxisbezug nur äußerst begrenzt herstellen.

Im Rahmen des Projekts ÖKONVER (Ökonomisch fundierte Bewertung neuer Technologien und Maßnahmen im europäischen Verkehrssystem) wurde der nachfolgende praxisnahe Leitfaden erarbeitet. Das Ziel dieses Leitfadens besteht nun darin, einen Mehrwert für die breite Masse der potenziellen Anwender im DLR zu schaffen, indem

- die wesentlichen Bewertungsverfahren und Prozesse im Überblick vorgestellt und erläutert werden,
- für die Bewertungsverfahren und Prozesse der Bezug zum Verkehr ausgeführt und veranschaulicht wird,
- ein gemeinsames Verständnis innerhalb des DLR geschaffen wird,
- eine praxisnahe Handreichung zur Anwendung im politischen Milieu für Wissenschaftler mit unterschiedlichen fachlichen Hintergründen bereitgestellt wird und
- die Grenzen der ökonomischen Bewertung und Voraussetzungen für eine adäquate Durchführung des Bewertungsprozesses aufgezeigt werden.

Die Struktur dieses Bewertungsleitfadens orientiert sich stark an der grundlegenden Struktur der Entscheidungsverfahren (Abbildung 1).

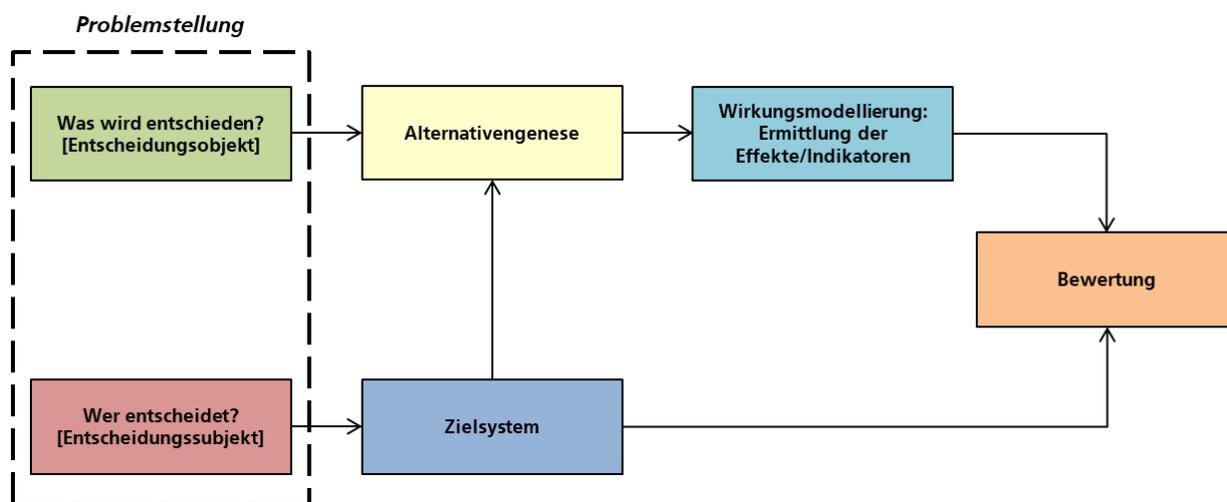


Abbildung 1: Schematische Übersicht der Struktur von Entscheidungsverfahren

Wie in Abbildung 1 ersichtlich, ist die Bewertung selbst nur der letzte Schritt in jedem Entscheidungsverfahren. Dabei ist zu beachten, dass die Problemstellung und das eingesetzte Bewertungsverfahren miteinander konsistent sein müssen.

Zwar zeigt Abbildung 1 eine abstrakte Strukturierung des Prozesses zu einer Entscheidungsfindung auf; jedoch haben sich in einigen Bereichen eigenständige Verfahren entwickelt und Begriffe etabliert, die im Detail von Abbildung 1 abweichen. Ein prominentes Beispiel im Verkehrssektor hierfür ist die Verkehrsplanung, die sogar ein eigenständiges wissenschaftliches Gebiet darstellt.

Im nächsten Kapitel – der Einleitung – werden die grundlegenden Begrifflichkeiten eingeführt, die Rolle der Wissenschaftler in der Bewertung erläutert sowie der Umgang mit Unsicherheiten in der ökonomischen Bewertung ausgeführt. Aufbauend auf einer Problemstellung zu einer Entscheidungsfindung werden in Kapitel 3 Ziele, Zielsysteme und die Messung der Ziele durch adäquate Indikatoren vertieft.

Kapitel 4 beschäftigt sich mit der Wirkungsermittlung, welche die Wirkungen soweit möglich und sinnvoll quantifiziert und somit das Mengengerüst der Bewertung liefert. Hierbei werden neben den methodischen Aspekten und der ökonomischen Einordnung von Modellen auch Beispiele der Wirkungsermittlung genannt.

Auf diesen Grundlagen und Vorarbeiten einer ökonomischen Bewertung folgt in Kapitel 5 und 6 die Vorstellung der einzelnen Bewertungsverfahren. In Kapitel 5 werden die präskriptiven bzw. multikriteriellen Entscheidungsverfahren vorgestellt, die sich dadurch auszeichnen, dass keine oder nur eine teilweise Monetarisierung der Bewertungsindikatoren erfolgt. Dies beinhaltet die Nutzwertanalyse (inklusive der Multi-Actor-Multi-Criteria-Analyse (MAMCA) für unterschiedliche Stakeholder und dem Analytical-Hierarchy-Process (AHP) bei paarweisen Vergleichen) sowie die Kostenwirksamkeitsanalyse. In Kapitel 6 folgen die Nutzen-Kosten-Verfahren, bei denen eine vollständige Monetarisierung stattfindet. Diese lassen sich in die Investitionsrechnung (Total-Cost-

of-Ownership (TCO) und Life-Cycle-Costing-Analysis (LCC-A)) und in die volkswirtschaftliche Nutzen-Kosten-Analyse (NKA) einteilen.

Abschließend werden in Kapitel 7 weiterführende Einsatzhinweise zu den Verfahren gegeben und die Grenzen der ökonomischen Bewertung und ihrer Verfahren eruiert. Im Vorfeld lassen sich hierbei schon grundlegende Tendenzen zum Einsatz der Bewertungsverfahren anmerken: Die eingesetzten Verfahren hängen immer sehr stark von den Zielen bzw. dem Zielsystem eines jeden Entscheiders ab. Wird das Ziel der gesamtwirtschaftlichen Effizienz betrachtet, empfiehlt sich eher die volkswirtschaftliche Nutzen-Kosten-Analyse. Wird hingegen auf reine Gewinnmaximierung durch eine Maximierung der Erlöse bzw. Minimierung der Kosten abgezielt, kann tendenziell eher auf die Investitionsrechenverfahren (TCO oder LCC-A) zurückgegriffen werden. Liegen abstrakte Ziele vor oder besteht nicht die Möglichkeit die Ziele und ihre Indikatoren auf eine rein monetäre Skala zu vereinheitlichen, zeigen die präskriptiven Entscheidungstheorien ihre Stärken. Die Nutzwertanalyse und die Kostenwirksamkeitsanalyse können fast universell eingesetzt werden, wenn abstrakte Ziele ohne Bezug zu unterschiedlichen Gruppen vorliegen. Ist ein Interessensausgleich zwischen Stakeholdern notwendig, bietet sich die MAMCA an.

Allgemein bietet die Anzahl an unterschiedlichen Entscheidern mit ihren divergierenden Zielsystemen in Kombination mit der Wahl von adäquaten Indikatoren und unterschiedlichen Bewertungsverfahren viele Freiheitsgrade in der Vorgehensweise bei der ökonomischen Bewertung. Jedoch erscheinen nicht alle potenziellen Umsetzungen sinnvoll und schlussendlich sind immer normative Setzungen durch Experten im Bewertungsprozess erforderlich.

Der hier entwickelte Leitfaden kann kein Expertenwissen ersetzen, sondern dient stattdessen als praxisnahe Hilfestellung.

2. Einleitung

Die ökonomisch fundierte Bewertung von öffentlichen und privatwirtschaftlichen Projekten, sowie (politischen) Strategien und Maßnahmen stellt eine Möglichkeit dar, die in der Praxis häufig verwendeten intuitiven Vorgehensweisen durch eine wissenschaftlich neutrale und nachvollziehbare Entscheidungsfindung zu ersetzen und damit Subjektivität und Willkür vermeiden zu können.

2.1. Begriffe

Oft wird der Begriff der Bewertung sehr umfassend verwendet. Streng genommen muss jedoch zwischen den nachfolgend erläuterten Begriffen Wirkungsermittlung und Bewertung unterschieden werden. Bevor eine Bewertung von Technologien oder Politikmaßnahmen durchgeführt werden kann, bedarf es einer sogenannten **Wirkungsermittlung**. Hierbei werden alle relevanten Auswirkungen der zu betrachtenden Technologien und Maßnahmen mittels unterschiedlichster Prognose- und Modellberechnungen abgeschätzt. Aufbauend auf den Resultaten der Wirkungsermittlung wird in der **Bewertung** eine Technologie oder Maßnahme hinsichtlich eines zuvor definierten Zielsystems geprüft und eingeordnet. Diese meist von Ökonomen durchgeführte Bewertung kann dabei für mehrere Fragestellungen eingesetzt werden: die Vorteilhaftigkeit einzelner Maßnahmen und Technologien im Vergleich zum Status quo (Durchführung vs. Unterlassung), die Auswahl einer bestimmten Alternative unter vielen, welche hinsichtlich des Zielsystems am geeignetsten erscheint oder aber auch die Auswahl einer Kombination von unterschiedlichen Technologien oder Maßnahmen. Durch die starke Abhängigkeit zwischen der ökonomisch fundierten Bewertung und der technisch fundierten Wirkungsermittlung werden beide Begriffe zusammenfassend häufig als **Assessment** bezeichnet. Im Allgemeinen hängt die exakte Ausgestaltung des Assessments vom vorliegenden ökonomischen Kontext ab. Hierbei wird zwischen mikro-, meso- und makroökonomischen Betrachtungen unterschieden. Die **Mikroökonomie** untersucht hierbei das Verhalten einzelner Wirtschaftssubjekte in einem abgegrenzten Markt wohingegen **mesoökonomische Betrachtungen** Rückkopplungen zwischen Märkten (bspw. unterschiedliche Verkehrsträger) einbeziehen. Im Gegensatz dazu steht die **Makroökonomie**, die sich sektorenübergreifend auf stark aggregierter Ebene mit der Analyse gesamtwirtschaftlicher Zusammenhänge befasst.

Problemstellung: Die Identifikation der Problemstellung ist die Grundvoraussetzung von Entscheidungsverfahren. Hierzu ist es notwendig, dass überhaupt ein Mangel oder ein Problem gesehen wird. Die Problemstellung besteht aus dem Entscheidungsobjekt (Was wird entschieden?) und dem Entscheidungssubjekt (Wer entscheidet?).

Ziele: Im Rahmen der ökonomisch fundierten Bewertung beschreiben Ziele die gewünschten Zustände (auch Soll-Zustände) des (Wirtschafts-)Systems bzw. der unternehmerischen Aktivität und dienen sowohl als Maßstab für die geistige Problemlösung als auch als Kontrollgröße für die

Messung der Zielerreichung. Die Zielfestlegung stellt hierbei den maßgeblichen Schritt im Entscheidungsprozess dar. Die Operationalisierung der Ziele und die Messung der Zielerreichung erfolgt über **Indikatoren** (auch Attribute genannt). Oft werden zum Assessment ganze **Zielsysteme** definiert, die mehrere Ebenen und hierarchische Ordnungen umfassen. Das gewählte Zielsystem hängt stark vom Entscheider und dem ökonomischen Kontext ab, in dem sich der Entscheider befindet.

Zielbeziehungen: In der Praxis sind Entscheidungsträger häufig mit multikriteriellen Entscheidungsproblemen konfrontiert, die durch eine Vielzahl von Stakeholdern mit ihren spezifischen Zielen und deren möglichen Interdependenzen charakterisiert sind. Ziele können hierbei neben indifferenten Beziehungen (Neutralität zwischen Zielen) auch komplementäre Beziehungen (Erfüllung eines Ziels trägt zur Erfüllung eines anderen Zieles bei) und konkurrierende Beziehungen (Erfüllung eines Ziels vermindert Erfüllungsgrad eines anderen Ziels) aufweisen. Sind Zielgrößen neutral oder komplementär, verhält sich die Entscheidungsfindung nicht grundlegend anders als bei einem einzigen Ziel. Solche Zielbeziehungen sind in der Realität jedoch selten anzutreffen. Zielkonflikte treten häufig aufgrund von ökonomischen, technischen oder physikalischen Einschränkungen und Gesetzen auf, die nun Abwägungen (Prioritätensetzung) der einzelnen Zielgrößen zur Entscheidungsfindung erfordern. Auf ökonomischer Seite sind die Zielkonflikte meistens auf Ressourcenknappheit zurückzuführen, denn angesichts beschränkter Ressourcen können Zielkonflikte nicht durch umfangreiche Kompensationsmaßnahmen oder teure Lösungen ausgeräumt werden. Würden für die Durchführung von Maßnahmen oder Einführung von Technologien keine Kosten anfallen, könnte unabhängig davon die Alternative mit der besten Zielerreichung gewählt werden. Technologiebedingte Abhängigkeiten treten beispielsweise bei Verbrennungsmotoren auf, die bei hohen Verbrennungstemperaturen (Dieselmotor) viele Stickoxide und wenig Kohlenstoffdioxid emittieren, wohingegen bei niedrigeren Verbrennungstemperaturen (Ottomotor) weniger Stickoxide und mehr Kohlenstoffdioxid ausgestoßen werden.

Ist-Zustand: Als Gegenstück zu den Zielen steht der sogenannte Ist-Zustand, welcher der gegenwärtig vorliegenden Situation entspricht und durch die Entscheidung mittelbar beeinflussbar ist. Im Ingenieurwesen wird anstelle des Begriffes „Ist-Zustands“ der Begriff des **Referenzobjektes** verwendet.

Zustandsraum: Der Zustandsraum stellt den Rahmen der Bewertung dar. Der Zustandsraum wird durch **Randbedingungen (Einflussfaktoren, Rahmenbedingungen und externe Faktoren)** beschrieben, die vom Entscheider nicht beherrschbar oder beeinflussbar sind. Vom sogenannten Sicherheitsfall spricht man hierbei, wenn der individuelle Entscheider hundertprozentige Sicherheit über den zukünftigen Zustand der Umwelt hat.

(Handlungs-)Alternativen: Die Alternativen umfasst die Menge der zur Verfügung stehenden Handlungsmöglichkeiten eines Entscheiders. Im Allgemeinen sollte angestrebt werden, möglichst viele Handlungsoptionen durch bspw. Kreativworkshops, Brainstorming, Mindestanforderungen oder formale Wertanalysen zu ermitteln, die mindestens eines der Ziele beeinflussen.

Konsequenzen/Ergebnisse/Attribute/Wirkungen Die Konsequenzen beschreiben die durch die Handlungsalternativen erreichbaren Zustände. Im deterministischen Fall (Sicherheitsfall) ohne Unsicherheiten besitzt somit jede Handlungsalternative exakt eine Konsequenz hinsichtlich der definierten Ziele. Die Ermittlung dieser Ergebnisse erfolgt im Allgemeinen durch Expertenschätzungen, quantitative ökonomische Modelle/multivariate statistische Verfahren oder komplexe Modellsysteme.

Beispiel: Begriffserklärung anhand der Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie

Die Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie (MKS) des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur stellt einen dynamischen Strategieprozess zur Erreichung der Ziele des Energiekonzeptes der Bundesregierung bis zum Jahr 2050 dar. Dafür werden für verschiedene Teilbereiche des Verkehrs Maßnahmenpakete in Form von Studien erarbeitet. Als Einführungsbeispiel soll die Studie „Verkehrsverlagerungspotenzial auf den Schienengüterverkehr in Deutschland“ (BMVI, 2016) dienen, die im Rahmen der MKS durchgeführt wurde.

Ziele: Die Studie soll ein Maßnahmenpaket für den Schienenverkehr zur Reduktion des Endenergieverbrauchs und des CO₂-Ausstoßes im Güterverkehr entwickeln. Dabei sollen die anfallenden Kosten bei der Durchführung von Maßnahmen berücksichtigt werden. Das Ziel der Kostenminimierung steht im Konflikt mit der Erreichung der Umweltziele, da eine verbesserte Umweltwirkung jederzeit durch höhere Kosten erkauft werden kann.

Ist-Zustand und Zustandsraum: Als Ist-Zustand dient bei dieser Studie die Verteilung der Güterverkehrsleistung (tkm) auf verschiedene Verkehrsmittel im Jahr 2030, die anhand der Verkehrsverflechtungsprognose 2030 zum Bundesverkehrswegeplan ermittelt wurde. Darüber hinaus wird für die Studie der Sicherheitsfall angenommen, bei dem keine weiteren unbekanntem Einflussfaktoren eine Rolle spielen.

(Handlungs-)Alternativen: Anhand einer umfassenden Literaturrecherche wurden zahlreiche potenzielle Einzelmaßnahmen (bspw. automatische Kupplung, Verlängerung von Überholgleisen, Subventionen für Rollmaterial, Erhöhung der Zuglänge) zur Verlagerung auf den Schienengüterverkehr identifiziert, die jedoch unterschiedliche Dimensionen (technische, infrastrukturelle, organisatorische, politische) adressieren und sich zusätzlich widersprechen können bzw. auch teilweise in Kombination miteinander auftreten sollten. Zur Identifikation der relevanten Maßnahmenpakete (mehrere Maßnahmen in einem Bündel zusammengefasst) wurde

die sogenannte FAST-Methode (Function-Analysis-System-Technique-Methode) vorgeschaltet, welche die funktionalen Zusammenhänge zwischen einzelnen Maßnahmen und den Unterzielen der Verkehrsverlagerung (Transportkosten senken, Transportzeit senken, Zuverlässigkeit erhöhen) analysiert und insgesamt acht unterschiedliche Maßnahmenpakete (bspw. Energieeffizienz erhöhen, Zugbildung beschleunigen, Verspätungen reduzieren) mit den dazugehörigen Einzelmaßnahmen zur Verlagerung auf den Schienengüterverkehr aufzeigt.

Konsequenzen/Ergebnisse/Attribute/Wirkungen:

Anschließend wurden zur Bestimmung der Wirkungen die Maßnahmenpakete drei Szenarien zugeordnet, die jeweils unterschiedliche Maßnahmenkonstellationen beinhalten. Die jeweiligen Einzelmaßnahmen wurden daraufhin parametrisiert und ihre Gesamtwirkungen (Endenergiebedarf, CO₂-Emissionen und Kosten) anhand des aggregierten, deutschlandweiten Güterverkehrsnachfragemodells (Burgschweiger et al., 2017) in Kombination mit einem Emissionsmodell TREMOD (Knörr et al., 2015) abgeschätzt.

Bewertung:

Unter Anwendung einer Kostenwirksamkeitsanalyse wurde ein Maßnahmenpaket bestehend aus (i) infrastrukturellen Verbesserungen, (ii) kleineren Anreizen zur Einführung effizienterer Güterwagen und (iii) ein staatlich gefördertes Technologieupgrade im intermodalen Verkehr als jenes bewertet, das am besten die beiden Ziele der Problemstellung (Reduktion des CO₂-Fußabdruckes und Berücksichtigung der Kosten) erreicht.

2.2. Rolle von Wissenschaftlern in der Bewertung

2.2.1. Objektivität anstreben

Die wissenschaftliche, ökonomisch fundierte Bewertung dient der objektiven Entscheidung zwischen verschiedenen Maßnahmen- bzw. Technologiealternativen oder der Entscheidung darüber, ob eine Maßnahme überhaupt gegenüber dem Ist-Zustand vorteilhaft ist. Eine absolute Objektivität ist dabei illusorisch, zumal neben deskriptiven (Was ist?) auch normative Zielsetzungen (Was soll sein?) Grundlage der Bewertung sein können. Das gewählte Bewertungsverfahren sowie die zur Bewertung vorgelegten Alternativen sollen jedoch möglichst alle wesentlichen Aspekte sowie alle wesentlichen von einer Entscheidung betroffenen Interessengruppen und deren Ziele in angemessener Weise berücksichtigen. Gerne werden Wissenschaftler mit einer Bewertung beauftragt, um diese Objektivität zu sichern. Im Falle der Beauftragung einer Bewertung durch Dritte ist das Ziel der Objektivität auf Auftraggeberseite aber nicht zwingend gegeben. Hier obliegt dem Wissenschaftler eine besondere Verantwortung im Spannungsfeld zwischen einem vom Auftraggeber erwarteten positiven Ergebnis und einer objektiven Bewertung. Im Einzelfall muss der Bewerter sich bewusst sein und akzeptieren, in einer Rolle als Berater und nicht als Wissenschaftler

tätig zu sein, sofern dies für die eigene Organisation vertretbar ist. In einem solchen Fall sollten Zielsystem und Zustandsraum, die das Bewertungsergebnis ganz wesentlich bestimmen, transparent gemacht und als Entscheidung des Auftraggebers dargestellt werden.

2.2.2. Transparenz und Robustheit gewährleisten

Ein wichtiger Teil einer wissenschaftlichen Bewertung ist die transparente Darstellung der Bewertungsmethode und des durch Randbedingungen beschriebenen Zustandsraumes der Bewertung. So hängt das Ergebnis einer Bewertung zum einen vom Bewertungsverfahren und bei Berücksichtigung mehrerer Interessengruppen und Zielen auch von deren Gewichtung ab. Auch die Randbedingungen bestimmen ganz wesentlich das Bewertungsergebnis, wie zum Beispiel die Art der gefahrenen Strecke bei einem Fahrzeug, die Flugmission bei einem Flugzeug, die angenommene Bodenbeschaffenheit bei einer Baumaßnahme, Zeitpunkt, Zeitraum, Zinssatz, laufende oder konstante Preise oder zugrundeliegende Preisindizes. Dem Bewertungsergebnis sind daher Informationen über das Bewertungsverfahren und die Randbedingungen beizufügen. Für eine robuste Bewertung erfolgt diese unter Verwendung mehrerer geeigneter Bewertungsmethoden und unter Variation der Randbedingungen (Sensitivitätsanalyse). Die Verantwortung für die Entwicklung und die Verantwortung für die Entscheidung über das Zielsystem und die Randbedingungen sollte bei einer multikriteriellen Bewertung vorab festgelegt werden.

2.2.3. Akzeptanz schaffen

Nur bei vorliegender Akzeptanz der Bewertung durch die betroffenen Interessengruppen oder den Auftraggeber kann diese überhaupt durchgeführt werden und das Ergebnis in Form besserer Entscheidungen oder Maßnahmen einen Nutzen stiften. Im Normalfall sollten Objektivität, Transparenz und Robustheit die Akzeptanz einer wissenschaftlichen Bewertung erhöhen.

Die Ökonomen im DLR und andere technisch ausgerichtete Organisationen bewegen sich jedoch zusätzlich in einem besonderen Spannungsfeld. Das Ziel der Ingenieure und Naturwissenschaftler technisch Neues zu ermöglichen, trifft hier auf das Ziel der Wirtschaftswissenschaftler, ressourceneffiziente und anreizkompatible Entscheidungen zu treffen. Ein Technologie steht daher einer ökonomischen Bewertung seiner Technologie naturgemäß kritisch gegenüber. Eine Bewertung ist daher nur unter den folgenden Voraussetzungen zielführend.

Zum einen, wenn die Bewertung direkt in die Technologieentwicklung eingebunden wird und dem Technologen in einem iterativen Prozess laufend Hinweise für dessen weitere Entwicklung liefern kann (begleitende, iterative Bewertung). Technologie und Bewerter sind hier Partner und die Technologie oder Maßnahme ist dann ressourceneffizient durch das Design.

Zum anderen kann die Bewertung durch einen Akteur beauftragt werden, der zwischen unterschiedlichen Technologien oder Maßnahmen wählen möchte. Sofern die Bewertung die Anforderungen an Objektivität, Transparenz und Robustheit erfüllt, ist hier von der Akzeptanz des

Auftraggebers auszugehen. Die Herausforderung besteht hier allerdings in der Bereitstellung vergleichbarer Informationen durch die jeweiligen Technologie- oder Maßnahmen-Eigentümer.

2.3. Bewertung und Unsicherheit

Grundsätzlich steht der Bewerter immer vor der Herausforderung, dass die Randbedingungen mit Unsicherheiten verbunden sind (sei es aus Informationsbeschaffungsgründen oder aufgrund von Zukunftsentwicklungen). Zugleich besteht auch eine Unsicherheit über die Stärke gewisser Wirkungen, wie sie in der Wirkungsermittlung aufgezeigt werden.

2.3.1. Die Herausforderung von Unsicherheit in Bewertungsverfahren

Bei Bewertungsproblemstellungen im Verkehrsbereich sind häufig folgende Parameter mit Unsicherheiten verbunden:

- Wie viele Passagiere werden eine Infrastruktur nutzen oder ein Objekt erwerben?
- Wie hoch werden zukünftige Unterhaltungsaufwände sein?
- Wie hoch ist der Finanzierungszinssatz anzusetzen?
- Welchen physischen oder monetarisierten Schaden wird die heutige Emission einer Tonne CO₂ in einem Zeithorizont von 10, 20 oder 50 Jahren verursachen?

Die Werte dieser Faktoren für ein Prognose-Zieljahr sind vor Beginn eines Projekts nicht exakt bestimmbar. Eine Abweichung der ursprünglich angenommenen Werte für entscheidende Parameter in Bewertungsverfahren kann zu erheblichen Änderungen bei den Bewertungsergebnissen führen, bspw. ob ein Projekt überhaupt durchgeführt werden sollte.

Beispiel: Unsicherheit bei Infrastrukturprojekten

Sollte vor Beginn eines Infrastrukturprojekts der monetarisierte Nutzen auf 2 Mrd. € prognostiziert worden sein und die Baukosten auf 1 Mrd. €, so besteht ein Nutzen-Kosten-Koeffizient von 2, das heißt der Nutzen des Projekts übersteigt dessen Kosten um das Doppelte. Das Projekt ist somit als volkswirtschaftlich sinnvoll einzustufen. Steigen nun im Projektverlauf die Baukosten auf 3 Mrd. €, so beträgt der Nutzen-Kosten Koeffizient nur noch 0,66 – das Projekt hätte damit nicht realisiert werden dürfen, da für dessen Bau mehr monetäre Ressourcen aufgewendet werden müssen, als in der Nutzungsphase eingespart werden. Hätte man die Baukosten vor Projektbeginn korrekt eingeschätzt, hätte das Projekt somit nicht begonnen werden dürfen.

Dieses kleine Beispiel zeigt, wie wichtig der Umgang mit Unsicherheit in Bewertungsverfahren ist. Die in diesem Leitfaden behandelten Methoden stellen den State-of-the-art dar und sind generell auch bei mit Unsicherheiten behafteten Bewertungssituationen anwendbar.

2.3.2. Definition von Unsicherheit

In der Ökonomie wird dem Umstand des ungewissen Eintritts von zukünftigen Zuständen durch eine differenzierte Betrachtung Rechnung getragen. Während umgangssprachlich die Begriffe „Risiko“, „Ungewissheit“ und „Unsicherheit“ häufig gleichbedeutend verwendet werden, unterscheidet die Ökonomie unter dem Oberbegriff der Unsicherheit zwischen „Risiko“ und „Ungewissheit“.

Der Begriff „**Risiko**“ wird verwendet, wenn der Eintritt eines zukünftigen Ereignisses nicht sicher ist, aber die Eintrittswahrscheinlichkeit und das Schadensausmaß prognostiziert werden kann. Für die Zielwerte in Prognosen lässt sich somit ein Erwartungswert angeben. Dass das Risiko des Eintritts eines zukünftigen Ereignisses bekannt ist, dürfte in der Realität nur äußerst selten vorkommen und beschränkt sich in der Regel auf objektiv nachprüfbar Situationen, wie etwa bei Lotterien oder Glücksspielen.

Bei realen Bewertungssituationen kommt es hingegen viel häufiger vor, dass die Eintrittswahrscheinlichkeit zukünftiger Zustände nicht bekannt oder bestimmbar ist. In diesem Falle wird der Begriff der „**Ungewissheit**“ verwendet.

2.3.3. Möglichkeiten des Umgangs mit Unsicherheit

Grundsätzlich ist zunächst zu beachten, dass unterschiedliche Entscheider je nach Problemstellung eine unterschiedliche **Risikoeinstellung** besitzen. Man spricht von risikoneutraler Einstellung, wenn sich der Entscheider nur am Erwartungswert, nicht jedoch an der Standardabweichung des Eintritts eines zukünftigen Ereignisses orientiert. Bei risikoscheuer Einstellung würde der Entscheider bei gleichem Erwartungswert immer jene Alternative bevorzugen, bei der die Standardabweichung am geringsten ist, da er somit das Verlustrisiko minimiert. Entscheider mit risikoaffiner Einstellung würden bei gleichem Erwartungswert jene Alternative wählen, bei der die Standardabweichung am größten ist, da die Wahrscheinlichkeit größer wird, einen höheren Ertrag zu erzielen. Der Entscheider nimmt aber gleichzeitig eine größere Wahrscheinlichkeit für einen höheren Verlust in Kauf.

Für den Umgang mit Unsicherheit stehen einige etablierte **Regeln und Methoden** zur Verfügung:

Bei Ungewissheit geben einfache Entscheidungsregeln vor, wie bei einer pessimistischen oder optimistischen Grundhaltung des Bewerter Entscheidungen zu treffen sind, um etwa den Verlust zu minimieren oder den Ertrag zu maximieren. Für den pessimistischen Fall steht die **Minimax- bzw. Wald-Regel**. Hierbei wird verglichen, welche Entscheidungsalternative bei ungünstigstem Ausgang eines zukünftigen Ereignisses den Verlust minimiert. Für den optimistischen Fall findet die **Maximax-Regel** Anwendung – es wird versucht das maximale Ergebnis zu erreichen und somit gewissermaßen das bestmögliche Resultat zu erzielen. Einen Ausgleich zwischen diesen beiden

Ansätzen versucht die **Hurwicz-Regel** zu schaffen: Hier werden die bestmöglichen und ungünstigsten Ergebnisse mit einem Optimismus-Parameter gewichtet und eine Entscheidung zugunsten jener Option gewählt, die die Summe der gewichteten Ergebnisse maximiert. Als weitere einfache Entscheidungsregeln unter Ungewissheit seien noch die **Laplace-Regel** genannt, die alle möglichen Situationen als gleichwahrscheinlich annimmt, und die **Savage-Niehans-Regel**, welche versucht den maximalen potenziellen Verlust bei einer falschen Entscheidung (maximale Opportunitätskosten) zu minimieren. Letzteres entspricht einer Anwendung der Minimax-Regel für die jeweils maximal möglichen Verluste. Da diese einfachen Entscheidungsregeln teilweise nicht überzeugende Bewertungen abliefern, gibt es noch weitere Möglichkeiten mit Unsicherheit umzugehen:

Fuzzy-Bewertungen (Rommelfanger & Eickemeier, 2013) beruhen auf dem Prinzip der Fuzzy-Mengen, die im Gegensatz zu klassischen Mengen nur unscharf abgegrenzt werden können. Ist es beispielsweise möglich die Wahrscheinlichkeiten nicht exakt anzugeben, sondern nur in Intervallen, kann dieser unvollkommene Informationsstand mit der Fuzzy-Mengen-Theorie dargestellt und die relevanten Fuzzy-Bewertungen angewendet werden. Ein Beispiel hierfür wäre: „der Kraftstoffpreis steigt in den nächsten zehn Jahren um 10 bis 25 %; am ehesten wird aber erwartet, dass er zwischen 15 und 20 % steigt.“

Bei **Erwartungsnutzenkonzepten** erfolgt eine zweistufige Bewertung: Zuerst wird die Nutzenfunktion des Entscheiders ermittelt, auf deren Basis in einem zweiten Schritt die Alternative mit dem höchsten Nutzen gewählt wird.

Sensitivitätsanalysen sind eine gebräuchliche Möglichkeit, um den Einfluss der Abweichung eines oder mehrerer Parameter auf das Gesamtergebnis einer Bewertung darzustellen.

Bei einer **Monte-Carlo-Simulation** werden Parameter-Werte stochastisch (typischerweise mittels Normalverteilung) variiert und die Bewertung vielfach wiederholt. Als Ergebnis sind Aussagen in der Form möglich, dass „in x % der Fälle ein Wert von y nicht über- oder unterschritten wird“.

Schlussendlich sind auch Untersuchungen mittels **Szenarien** möglich, die eine weitergehende Flexibilität bei der Variation der Rahmenbedingungen zulassen, als dies bei Sensitivitätsanalysen oder Monte-Carlo-Simulationen der Fall ist. Bei der Erstellung von Szenarien werden grundlegende Entwicklungstendenzen beschrieben („Storylines“), die aus einer Vielzahl von verschiedenen Eingangsparametern bestehen. Im Verkehrsbereich typisch werden als Eingangsparameter die Entwicklung des Pro-Kopf-Einkommens, der Ölpreis, regulative Maßnahmen oder technologische Entwicklungen (zum Beispiel neue Verkehrsmittel oder Verkehrssysteme) in sinnvoller Weise kombiniert und diese Parameterkombinationen quantitativ mittels Prognosemodellen abgeprüft. Die Ergebnisse spiegeln dann den sinnvollerweise zu erwartenden Spielraum („Szenariotrichter“) zukünftiger Systemzustände wider.

Literatur

- Eisenführ, Weber, Langer (2010): *Rationales entscheiden*. 5. Auflage, Springer, Heidelberg
- Rommelfanger, H. J., Eickemeier, S. H. (2013). *Entscheidungstheorie: Klassische Konzepte und Fuzzy-Erweiterungen*. Springer-Verlag.
- Laux, H., Gillenkirch, R. M., Schenk-Mathes, H. Y. (2012). *Entscheidungstheorie*. Springer-Verlag.
- BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2016). Verkehrsverlagerungspotenzial auf den Schienengüterverkehr in Deutschland, Endbericht, Berlin.
- Burgschweiger, S.; Wolfermann, A.; Liedtke, G. (2017). A Macroscopic Freight Transport Demand Model for Policy Analysis in Germany. In: proceedings of the 3rd Interdisciplinary Conference on Production, Logistics and Traffic, Darmstadt.
- Knörr, W., Heidt, C. et al: Aktualisierung „Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2035 (TREMODO) für die Emissionsberichterstattung 2016 (Berichtsperiode 1990-2014). Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Projektnummer 54329.

3. Zielsystem

3.1. Anforderungen an Zielsysteme

Ein Zielsystem ist die Grundlage für die Alternativengese, Wirkungsermittlung und die abschließende folgende Bewertung. Abbildung 2 stellt die Einordnung der Definition des Zielsystems in den Gesamtprozess dar. Ziele sind gewünschte Zustände des Wirtschaftssystems, die sogenannten „Soll-Zustände“. Ziel- bzw. Sollvorstellungen können im Laufe des Entscheidungsprozesses präzisiert werden.

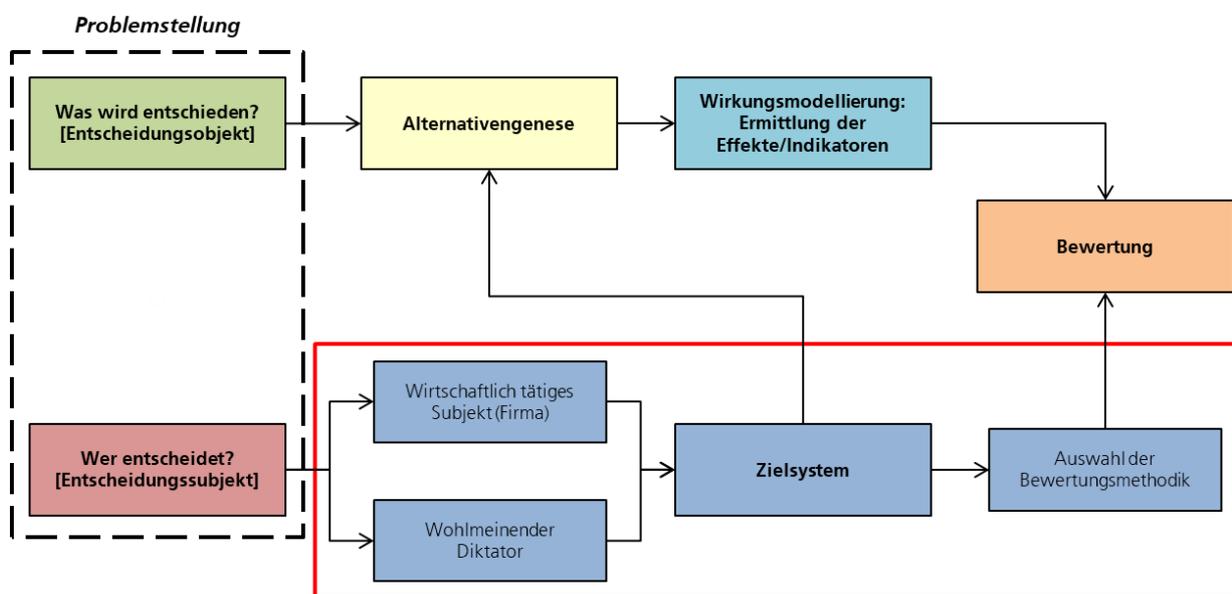


Abbildung 2: Übersicht des Entscheidungsbaums zur Wahl von Bewertungsverfahren mit Hervorhebung des Aspekts des „Zielsystems“

Das Zielsystem sollte so klar definiert sein, dass auf dessen Grundlage die zugrunde liegende Problemstellung adressiert werden kann. Zu beachten ist, dass es verschiedene Typen von Problemstellungen geben kann. Insbesondere wird unterschieden nach folgenden beiden Typen:

- Welche Alternative aus einer Menge möglicher Maßnahmen ist die beste?
- Welche Kombination von Maßnahmen ist die beste?

Es gibt zudem erweiterte Fragestellungen. Zum Beispiel könnte eine Anforderung sein, dass eine ausgewählte Lösung in der Realität auch umgesetzt werden kann, also zum Beispiel bei Industrie oder Politik auf „Akzeptanz“ stößt. Solche Anforderungen können entweder in das Zielsystem integriert werden oder als Randbedingung gesetzt werden.

Bei der Festlegung von Zielen ist das „SMART-Prinzip“ besonders wichtig, das heißt, die Ziele sollen folgendermaßen formuliert sein:

- **S**pecific: spezifisch, konkret, fokussiert, detailliert, aussagekräftig, verständlich

- **M**asurable: messbar, Messkriterien festgelegt, Messwerte bestimmt
- **A**ttainable: ambitioniert, anspruchsvoll, akzeptierbar, abgrenzbar, zuordenbar
- **R**ealistic: erreichbar mit den verfügbaren Ressourcen
- **T**imebound: zeitbezogen, termingebunden

Folgende Anforderungen an das Zielsystem müssen erfüllt sein (weitere Erläuterungen dazu im nachfolgenden Abschnitt 3.2):

- Vollständigkeit: alle wichtigen Aspekte berücksichtigen.
- Redundanzfreiheit: es soll nicht mehrere Ziele geben, die das gleiche bedeuten.
- Vermeiden von Doppelzählungen: untergeordnete Ziele nicht mit den Gesamtzielen auf der gleichen Ebene der Zielhierarchie positionieren. Konkret bedeutet das: wenn die Erfüllung eines Zieles gleichzeitig auch ein zweites Ziel erfüllt, so weist dies darauf hin, dass ein Ziel dem anderen untergeordnet ist und dass das andere Ziele weitere Aspekte berücksichtigt und sich somit auf einer höheren Ebene befindet.
- Operationalisierbarkeit bzw. Messbarkeit: quantifizierbare Zielindikatoren auf unterer Zielebene definieren.

3.2. Erarbeitung von Zielsystemen

Generell sind die Ziele auf verschiedene Hintergründe bzw. Motivationsimpulse eines Entscheiders zurückzuführen. Diese Motivationsimpulse sind dabei sowohl vom allgemeinen Kontext als auch vom Entscheider abhängig. Im Folgenden werden für typische Motivationsimpulse Beispiele sowohl aus Makroperspektive als auch aus der Mikroperspektive aufgezeigt:

- (1) Unzufriedenheit mit bestehender Situation (Wunsch nach einem anderen Ist-Zustand)
 - Makro: Arbeitslosigkeit, Umweltproblematik, Lärm etc.
 - Mikro: Kundenbeschwerden, Konkurrenz auf dem Markt etc.
- (2) Künftige Herausforderungen, die rechtzeitig angegangen werden müssen
 - Makro: Altersvorsorge
 - Mikro: Innovation von Produkten
- (3) Vergleich alternativer Ist-Zustände in zeitlicher und räumlicher Dimension
 - Makro: Vorbild-Länder
 - Mikro: Produkte der Mitbewerber, Produkte in anderen Märkten
- (4) „Allgemeingültige“ strategische Ziele
 - Makro: soziale Gerechtigkeit, Effizienz, Wohlstand
 - Mikro: Gewinnmaximierung
- (5) Externe Vorgaben
 - Makro: Richtlinien der Europäischen Kommission
 - Mikro: Normen, Gesetze, Vorgaben einer Konzernleitung
- (6) Engagement betroffener Personen

- Makro: Lobbyarbeit (zum Beispiel Ärztevereinigungen in der Gesundheitspolitik)
- Mikro: Gesellschafter, Kreditgeber, Kunden, Arbeitnehmer

Bei Mehrfachzielsetzungen kann die Erstellung von Zielhierarchien bzw. eines Zielbaums (Abbildung 3) zur übersichtlichen Strukturierung des Zielsystems beitragen. Hierbei werden die Ziele in einen vertikalen und horizontalen Zusammenhang gesetzt. Die Feinziele sind nach dem SMART-Prinzip zu formulieren. Die Zielhierarchie kann entweder klassisch Top-down oder insbesondere bei neuartigen Problemen im Bottom-up-Verfahren erzeugt werden. Meistens werden die zwei Verfahren miteinander kombiniert angewandt, mit den folgenden Schritten:

- Aufstellung einer untergeordneten Liste von Zielen (Bottom-up),
- Überprüfung der Wichtigkeit von jedem formulierten Ziel,
- Zuordnung in einer Hierarchie (Zielstrukturierung),
- Überprüfung der Zielstruktur nach Logik (Top-down).

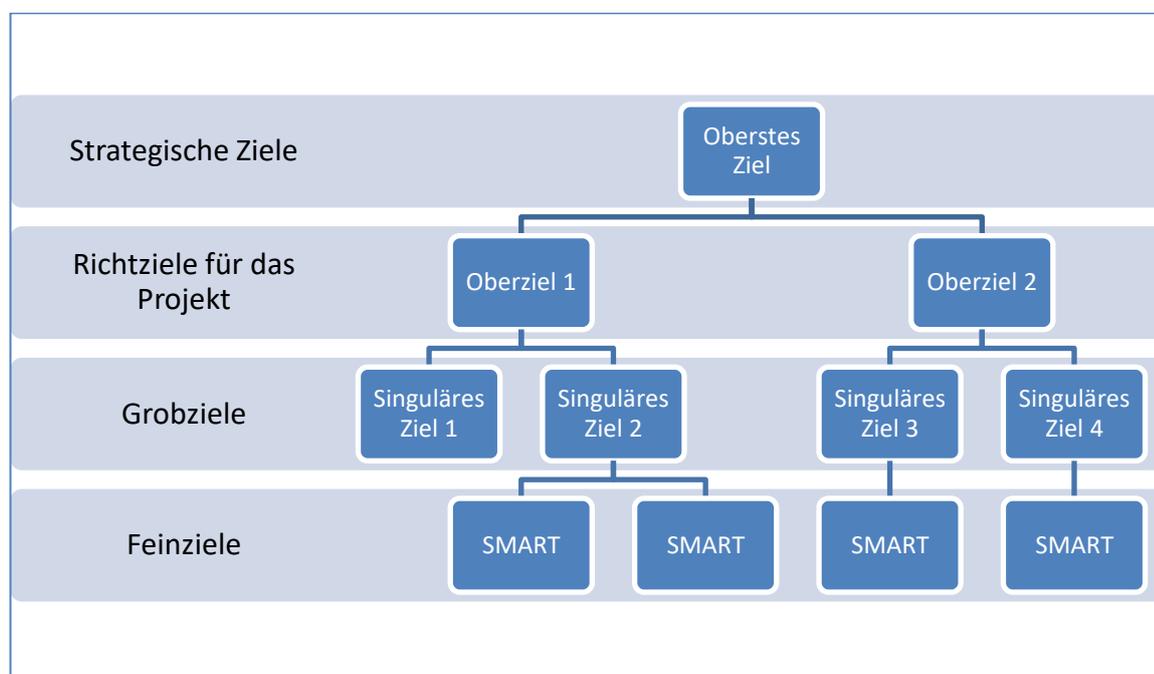


Abbildung 3: Zielhierarchie dargestellt durch einen Zielbaum

3.3. Standardzielsysteme

In der Praxis werden häufig Standardzielsysteme eingesetzt, über die ein gewisser gesellschaftlicher Konsens herrscht und somit die Bildung eines eigenen potenziell unvollständigen und verzerrenden Zielsystems ersetzt. Üblicherweise basieren Zielsysteme auf einem strategischen Ziel.

3.3.1. Umwelt

Das Umweltziel beinhaltet das Erreichen einer bestimmten Umweltqualität durch die Verminderung der Belastung (i) der Böden, (ii) der Ästhetik der Landschaft, (iii) der Luft, (iv) des Lärms und der (iv) Treibhausgase. Auch können darunter Artenschutz und Biodiversität gefasst werden.

3.3.2. Effizienz

Effizienz beschreibt das Verhältnis von Input zu Output, von Leistung oder Nutzen zu Kosten und anderen Nachteilen. Wird die (ökonomische) Effizienz als Zielsystem festgelegt, kommen in der Regel Verfahren der Nutzen-Kosten-Analyse und der Wohlfahrtstheorie zum Einsatz. Hierbei werden Marktveränderungen durch eine Maßnahme (Infrastruktur oder Politik) abgebildet.

3.3.3. Gerechtigkeit, Fairness

Werden Zielsysteme anhand der Fairness ausgerichtet, wird versucht, Maßnahmeneffekte so auf die jeweiligen Haushalte und Personen aufzuteilen, dass eine fairere Verteilung von Ressourcen erfolgt. Jedoch existieren unterschiedliche Ansichten über Fairness, die beispielsweise die Aufteilung von Maßnahmengewinnen bedingen können, zum Beispiel: die Aufteilung gemäß gleicher Ressourcen für alle oder eine deutliche Verbesserungen für die Ärmsten. Hierbei sei auch auf philosophische bzw. ethische Ansätze verwiesen, die sich mit Theorien zur Gerechtigkeit auseinandersetzen (absolute Gerechtigkeit, Rawl's Konzept der Gerechtigkeit, Leistungsgerechtigkeit).

3.3.4. Lebensqualität

An den Bedürfnissen der Menschen ausgerichtet beschreibt die Lebensqualität ein mehrdimensionales Zielsystem, das sich aus einer Vielzahl an Teil- und Unterzielen zusammensetzen kann. Im Lebensqualitätsatlas von Korcak (1995) werden beispielsweise die Teilziele Gesundheit, Wohlstand, Umwelt, Versorgung, Sicherheit, Kultur etc. durch Unterziele wie NO_x-Belastung, Arbeitslosigkeit oder Anzahl an Kinos operationalisiert. Das strategische Ziel der Lebensqualität mit seinen Unterzielen ist im Allgemeinen eher hedonistisch geprägt und legt somit den Fokus eher auf das Glück der einzelnen Stakeholder.

3.3.5. Nachhaltigkeit

Das umfassendste Standard-Zielsystem zur Nachhaltigkeit wurde 1987 im Bericht „Our Common Future ‚Unsere gemeinsame Zukunft‘ durch die Weltkommission für Umwelt und Entwicklung der Vereinten Nationen („Brundtland-Kommission“) veröffentlicht: „Nachhaltigkeit bedeutet Befriedigung der Bedürfnisse der heutigen Generation ohne die Bedürfnisbefriedigung zukünftiger Generationen zu gefährden“. Der Betrachtungshorizont eines Zielsystems zur Nachhaltigkeit reicht deshalb immer sehr weit in die Zukunft und umfasst damit auch zukünftige Generationen. Generell

existieren bei der Operationalisierung unterschiedliche Auslegungen, jedoch sind drei allgemeine Dimensionen unstrittig: Gesellschaft, Ökonomie, Ökologie. Bei der Nachhaltigkeit handelt es im Grunde um ein Zielsystem bestehend aus den drei strategischen Zielen Umwelt, Effizienz und Gerechtigkeit. Der Begriff der Nachhaltigkeit ist ein sehr facettenreicher Begriff. Er wird oft als Begriff für nachhaltiges (enkelgerechtes) Wirtschaften oder auch als ein Leitbild in einem Strategieprozess verwendet.

Beispiel: Zielsystem zu Nachhaltigkeit

Hinsichtlich des von den Vereinten Nationen vordefinierten Nachhaltigkeitszielsystems umfasst die Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung 2016 insgesamt 17 Nachhaltigkeitsziele für den Zeithorizont 2030 (Abbildung 4).



Abbildung 4: Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung 2016, Quelle: Bundesregierung (2017)

Wie ersichtlich, können diese Nachhaltigkeitsziele mehr oder weniger eindeutig den drei Oberzielen der Nachhaltigkeit zugeordnet werden. Auf einer weiteren untergeordneten Zielebene wird die Zielerreichung anhand von 63 Schlüsselindikatoren gemessen. Zum Beispiel beinhaltet im Bereich

Mobilität das Ziel Nr.11 „Städte und Siedlungen inklusiv, sicher, widerständig und nachhaltig machen“ folgende Indikatoren und dazugehörige konkreten Ziele (Bundesregierung 2017, S. 38, S. 163 ff):

Tabelle 1: Indikatoren und Ziele aus Nachhaltigkeitsziel Nr. 11

Indikator	Ziel
Endenergieverbrauch im Güterverkehr	Zielkorridor bis zum Jahre 2030 minus 15 bis minus 20 % gegenüber 2005
Endenergieverbrauch im Personenverkehr	Zielkorridor bis zum Jahre 2030 minus 15 bis minus 20 % gegenüber 2005
Bevölkerungsgewichtete durchschnittliche ÖV-Reisezeit von jeder Haltestelle zum nächsten Mittel-/ Oberzentrum	Verringerung

3.4. Indikatoren

Indikatoren, auch Attribute oder Kriterien genannt, werden zur Messung der Zielerreichung (Erfüllung der Kriterien) benötigt. Wichtig ist zu betonen ist, dass mit den bei der Wirkungsmodellierung eingesetzten Methoden (siehe Kap. 5) die Indikatorausprägungen bestimmt werden können. Man unterscheidet dabei zwischen natürlichen, künstlichen und Proxy-Indikatoren. Ein natürlicher Indikator ist eine Zielvariable, die sich aus der Formulierung des Ziels eindeutig ergibt (zum Beispiel Anzahl der Kunden oder Umsatz).

Wenn natürliche Indikatoren schwer zu finden sind, dann können als zweite Wahl künstliche Indikatoren durch Kombination mehrerer Zielvariablen konstruiert werden (zum Beispiel „Windchill“, ein Maß für empfundene Kälte durch Temperatur und Windgeschwindigkeit). Eine weitere Möglichkeit sind Proxy-Indikatoren, die wiederum nicht direkt die Zielerreichung messen (zum Beispiel Kundenzufriedenheit anhand der Anzahl an Beschwerden). Die Problematik hierbei ist die unsichere Korrelation, die unklare kausale Wirkung des Proxy-Indikators auf die Erreichung des eigentlichen Ziels (zum Beispiel Messung des Zukunftspotenzials durch die Forschungsausgaben).

Die erstrebenswerten Eigenschaften von Indikatoren sollten daher einem Kriterienkatalog entsprechen, den sogenannten „DONAU-Kriterien“:

- **D**irekt – direkter Bezug auf die Erreichung des vorgegebenen fundamentalen Ziels
- **O**perational – verlässlich und mit einem vertretbaren Aufwand bestimmbar
- **N**achvollziehbar – für den Laien und Entscheider genau verständlich
- **A**llumfassend – berücksichtigt die Konsequenzen angemessen
- **U**nmissverständlich – es wird klar, inwiefern das angestrebte Ziel erreicht wird

Literatur

- Bundesregierung (2017): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie 2016 – Neuauflage, Berlin 2017.
<https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975292/730844/3d30c6c2875a9a08d364620ab7916af6/deutsche-nachhaltigkeitsstrategie-neuauflage-2016-download-bpa-data.pdf>
- Eisenführ, Franz, Martin Weber, Thomas Langer (2010): Rationales entscheiden. 5. Auflage, Springer, Heidelberg.
- Korczak, Dieter (1995): "Lebensqualität-Atlas: Umwelt, Kultur, Wohlstand, Versorgung, Sicherheit und Gesundheit in Deutschland", Westdt. Verlag, Opladen.
- Maruda, Tatiana (2005): Anpassung und Weiterentwicklung der Wertanalyse zur Unterstützung politischer Entscheidungen. Dissertation, Karlsruhe. Karlsruher Beiträge zur wirtschaftspolitischen Forschung. Bd.18, Nomos Verlagsgesellschaft, Baden-Baden.

4. Alternativen

Für die Erreichung definierter Zielsysteme stehen verschiedenste Handlungsoptionen zur Verfügung, die sich zum Beispiel in ihrer Durchführbarkeit, Kosten, Ressourcenaufwand und Wirkungen unterscheiden. Allerdings können letztendlich nur diejenigen Alternativen hinsichtlich ihrer Wirkungen untersucht, bewertet und realisiert werden, die initial entwickelt worden sind. Um daher zu gewährleisten, dass eine möglichst gute Entscheidung getroffen werden kann, ist es wichtig, den Lösungsraum gut auszuleuchten und die Intelligenz in die Findung von Alternativen zu investieren. Den mit der Ausgestaltung von Alternativen beauftragten Ingenieuren kommt gerade bei öffentlichen Projekten eine hohe Verantwortung zu, da sie die Grundlagen für sämtliche spätere Entscheidungsprozesse legen.

Die Betrachtung unterschiedlicher Handlungsoptionen ist vor allem deshalb wichtig, um eine möglichst effiziente Nutzung von Ressourcen zu gewährleisten. Die Entwicklung von Handlungsoptionen wird jedoch oftmals durch Partikularinteressen beeinträchtigt, was dem Effizienzkriterium zuwiderläuft. Um diesem entgegen zu wirken, können für die Alternativengenerierung externe Vorgaben gemacht werden.

In diesem Kapitel sollen einige Instrumente und Methoden vorgestellt werden, die für die Entwicklung von Alternativen angewendet werden können. Dazu eignen sich eine Reihe von Instrumenten, wie zum Beispiel Kreativworkshops oder bionisches Arbeiten. Diese werden in Kapitel 4.1 vorgestellt. Kapitel 4.2 beschreibt anhand des guten Beispiels der Verkehrsinfrastrukturplanung in Australien, welche Ansätze es dort gibt, um die Entwicklung von Handlungsoptionen zu verbessern.

4.1. Techniken zur Alternativengenerierung

Es gibt eine Reihe von Instrumenten, um verschiedene Alternativen zu identifizieren und zu entwickeln. Diese können auch kombiniert eingesetzt werden. Es kommen unterschiedliche unterstützende Instrumente wie Berechnungswerkzeuge und rechnergestütztes Konstruieren (Computer-aided Design, CAD) zum Einsatz. Gegebenenfalls müssen bestimmte Entwicklungsrichtlinien berücksichtigt werden (zum Beispiel minimale Radien von Autobahnen oder Anforderungen der Festigkeitslehre). Eine wichtige Rolle beim Entwicklungsprozess spielt auch die Kreativität, die Intuition und Erfahrung der damit beauftragten Entwicklungsingenieure.

Um das kreative Potenzial der Entwickler optimal auszunutzen und auch ein breiteres Wissen, zum Beispiel der Bürger, Nutzer und Betroffenen, zu berücksichtigen, ist die Durchführung von **Kreativworkshops** für die Entwicklung von Konzeptideen zu Produkten, Dienstleistungen oder Projekten weit verbreitet. Ziel von Kreativworkshops ist es, unter Anleitung eines Moderators Konzeptideen im Team zu entwickeln. Dabei können unterschiedliche Kreativtechniken wie zum

Beispiel Brainstorming, Brainwriting, Shared-Drawings, Reizworttechnik oder Osborn-Methode zur Anwendung kommen.

Eine zweite Möglichkeit besteht darin, **Alternativen aus anderen Kontexten** zu suchen, zum Beispiel in anderen Ländern, die dort erfolgreich realisiert worden sind. So zum Beispiel wird das Konzept des sogenannten **Tram-Train** inzwischen vermehrt in Regionen eingesetzt, um Städte mit ihrem Umland zu verbinden. Das entsprechende Vorbild wurde 1992 das erste Mal in Form einer Zwei-System-Stadtbahn in Karlsruhe realisiert und taugt seitdem als Vorbild für viele Regionen weltweit. Eine Erweiterung dieser Übertragung verwandter Lösungen ist die **Bionik**, bei der Lösungen für schwierige, technische Probleme und Herausforderungen durch Analogien zur Natur und Biologie gesucht werden. Die Methode eignet sich vor allem zur Problemlösung und Ideenfindung im technischen und verfahrenstechnischen Bereich. Vom VDI wurden verschiedene Richtlinien zu Bionik entwickelt; zum Beispiel zeigt VDI 6220 Blatt 1 (Entwurf) die Grundlagen, Konzeption und Strategie von bionischem Arbeiten auf.

Die **Wertanalyse** ist eine Methodik, mit dessen Hilfe Kostenoptimierungen und Ergebnisverbesserungen in Unternehmen erreicht werden sollen – entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Sie findet in Wirtschaft und Technik, Wissenschaft und Verwaltung Anwendung. Die Wertanalyse orientiert sich dabei an einem Funktionenmodell, dass eine logische Verknüpfung zwischen den Eigenschaften der Alternativen und den Zielen herstellt. Das Denken in Funktionen bietet eine gute Grundlage in Kombination mit anderen Kreativtechniken, neue Ideen zu generieren und Ideen gezielt zu verbessern. Die Wertanalyse hat nach der Definition von DIN EN 1325:2014-07 das „Ziel, eine einheitliche Sprache zur Nutzung bei der Optimierung von Leistung und Produktivität bei Organisationen, Projekten, Produkten und Dienstleistungen festzulegen.“ VDI 2800 Blatt 1 beschreibt die Vorgehensweise der Wertanalyse. Die Entwicklung von Handlungsoptionen ist Bestandteil der Wertanalyse und stützt sich dabei auf die Informationen und Ideen, die im Rahmen der vorhergehenden Phase "Objektsituation analysieren" gesammelt wurden. Diese könnte man im Hinblick von Fragen, wie zum Beispiel welche Lösungen bereits vorhanden sind (zum Beispiel Produkte, die bei Wettbewerbern zum Einsatz kommen) oder ob ein Produkt durch günstige Zusatzfunktionen erweitert werden könnte. Daran schließt sich eine kreative Phase an, bei dem im Projektteam mithilfe von Kreativitätstechniken neue Lösungsansätze für die Soll-Funktionen gefunden werden soll. Insofern ist die Wertanalyse eine Vorgehensweise zur integrierten Entwicklung und Verbesserung von Alternativen. Sie geht zwar über die Alternativengenesse hinaus, jedoch ist die gezielte Alternativengenesse eine besondere Stärke der Wertanalyse.

Eine letzte Form der Alternativengenesse besteht in der **Ausrichtung von Wettbewerben**. Wettbewerbe sind zum Beispiel weit verbreitet in der Architektur. Aus diesem Grund könnten sie ähnlich auch für Infrastrukturprojekte durchgeführt werden. Zusätzlich gibt es Innovationswettbewerbe, bei denen sich Unternehmen und Institutionen Vorschläge zur Lösung

aktueller Probleme machen lassen. Gerade bei Aufgaben, die einen hohen kreativen Akt erfordern, bietet ein Wettbewerb die Möglichkeit die Ideen unabhängig denkender Planer in einen später stattfindenden Auswahlprozess eingehen zu lassen.

4.2. Beispiel: Infrastrukturplanung in Australien

Unter den Planungsprozessen für Verkehrsinfrastrukturen kann der Australische Prozess genannt werden, der die oben beschriebenen Aspekte voll umfänglich nutzt. In Australien legen Zuwendungsgeber, zum Beispiel die Behörde Infrastructure Australia für Projekte, die vom Commonwealth of Australia finanziert werden, zunehmend Wert darauf, dass eine große Bandbreite und Anzahl an Handlungsalternativen bei der Projektplanung Berücksichtigung finden.

Der Infrastrukturplanungsprozess in Australien folgt der gängigen Sequenz, dass ein Antragsteller für Förderung die Alternativengenesse im Anschluss an die Problem- und Zielanalyse durchführen soll. Im Anschluss folgen mehrere Bewertungsiterationen, um Vorauswahlen zu treffen, sowie vielversprechende Optionen detaillierter zu planen oder Varianten derer zu entwickeln. Nach jeder Bewertungsrunde überprüft der Zuwendungsgeber, ob das Projekt für die nächste Stufe der Planung qualifiziert ist. Der Förderentscheid durch den öffentlichen Geldgeber erfolgt auf Grundlage der Ergebnisse der finalen Bewertungsrunde, die auf einer detaillierten Kosten-Nutzen- und Wirtschaftlichkeitsanalyse beruht. Durch die Bewertungsiterationen wird sichergestellt, dass am Anfang eine große Bandbreite an Alternativen betrachtet werden kann. In der späteren Verbesserung und Feinplanung folgt dieses Verfahren einem Verbesserungsprozess, wie er auch in der Wertanalyse praktiziert wird.

Bei der Prüfung von Förderanträgen wird zunehmend darauf geachtet, dass der Antragsteller eine umfassendere Berücksichtigung verschiedener Handlungsoptionen vorweisen kann. So sollen neben Infrastrukturinvestitionen auch Regulierungen, Verbesserung von Governance-Prozessen oder eine optimierte Nutzung der vorhandenen Infrastruktur berücksichtigt werden (siehe Abbildung 5). Diese Alternativen müssen nun bei der Planung explizit berücksichtigt werden, sowie aufgezeigt werden, welche Vor- und Nachteile diese Optionen im Vergleich zur Neuinvestition bietet.

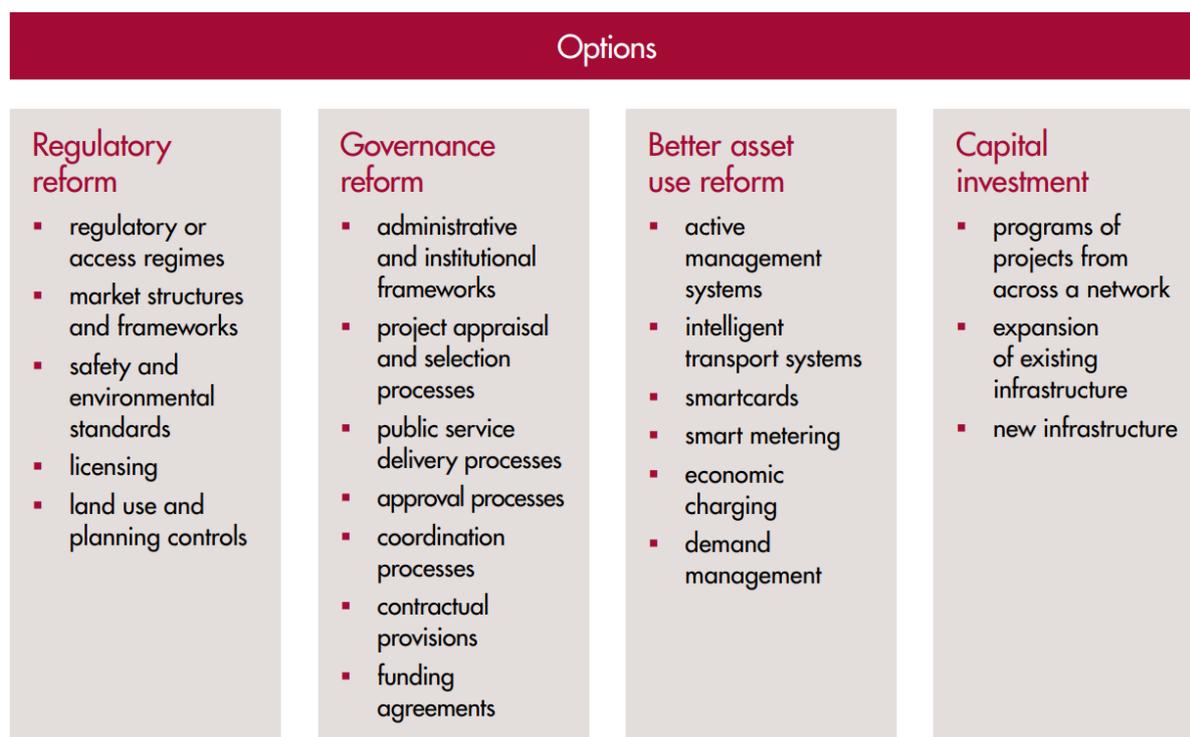


Abbildung 5: Mögliche Handlungsoptionen bei der Verkehrsinfrastrukturplanung,
Quelle: Infrastructure Australia

Literatur

- Australian Transport Assessment and Planning Guidelines. F3 Options generation and assessment, 2018
- Infrastructure Australia: Assessment Framework. For initiatives and projects to be included in the Infrastructure Priority List, 2018

5. Wirkungsermittlung

Die Aufgabe der Wirkungsermittlung, auch Wirkungsabschätzung und Wirkungsanalyse genannt, ist, die notwendigen Eingangsdaten für die anschließende Bewertung zu liefern (Abbildung 6). Das Ergebnis der Wirkungsermittlung ist also ein Mengengerüst als Input für die Bewertung. Hierfür werden alle im definierten Betrachtungsrahmen relevanten Auswirkungen der Maßnahmen, Projekte, Technologieinnovationen oder Politiken modellgestützt abgeschätzt. Je nach Sachverhalt und Umfang der zu modellierenden Auswirkungen wird zwischen einer betriebswirtschaftlichen, mikro- und makroökonomischen Perspektive unterschieden.

Die Wirkungsmodellierung muss bei der Anwendung drei wichtigen Kriterien gerecht werden. (1) Erstens sollten die Modelle eine möglichst hohe Strukturähnlichkeit zur Realität aufweisen (Homomorphie). Dafür ist eine gute empirische Datenbasis des Verhaltens und vergangener Entwicklungen erforderlich. (2) Zweitens sollten Veränderungen der Komponenten oder der exogenen Parameter im Zeitverlauf berücksichtigt werden (Dynamisierbarkeit). (3) Drittens sollten Änderungen politisch oder strategisch gesetzter Rahmenbedingungen in der Modellierung abbildbar sein (Politiksensitivität).

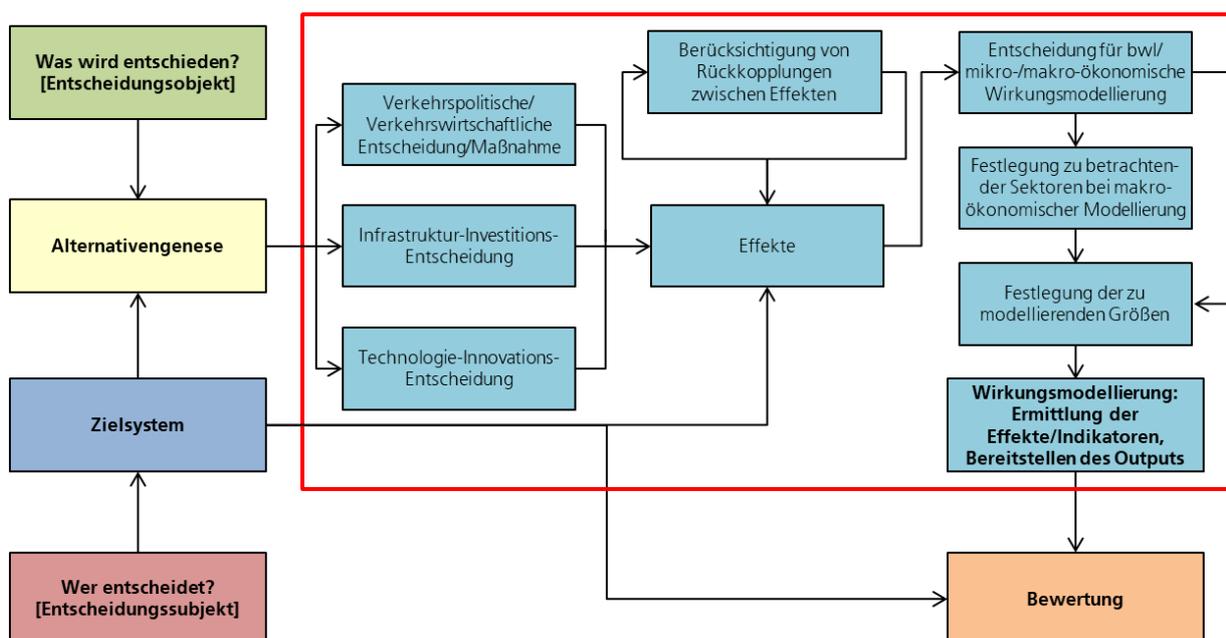


Abbildung 6: Übersicht des Entscheidungsbaums zur Wahl von Bewertungsverfahren mit Hervorhebung des Aspekts der „Wirkungsermittlung“

5.1. Methoden zur Umsetzung der Wirkungsmodellierung

Bei der Wirkungsermittlung geht es darum zu ermitteln, welche Wirkungen die verschiedenen Alternativen auf die Indikatoren haben. Da jede Wirkung immer nur in einer wie auch immer gearteten Zukunft stattfindet, kann die Wirkungsermittlung nicht losgelöst von der Entwicklung

des Systems und seiner Umgebung stattfinden. Dem entsprechend gibt es verschiedene Prognoseverfahren.

Die Prognoseverfahren lassen sich einteilen in Prognoseverfahren ohne Rückkopplung und Prognoseverfahren mit Rückkopplung. Bei **Prognoseverfahren ohne Rückkopplung** werden exogene Werte als gegeben angesehen, die einen Einfluss auf den prognostizierten Zustand haben. Bei **Prognoseverfahren mit Rückkopplung** wird neben der als exogener Bereich bezeichneten Menge an Inputparametern ein endogener Bereich betrachtet. Hierbei werden Rückkopplungsschleifen berücksichtigt, die Wechselwirkungen der Komponenten innerhalb des Systems beschreiben. Rückkopplungsschleifen umfassen häufig mehrere Zwischenpunkte und wirken nicht nur bilateral. Der prognostizierte Zustand resultiert bei Prognoseverfahren mit Rückkopplung sowohl aus dem exogenen als auch aus dem endogenen Bereich. Bei Letzteren wird auch von Systemanalysen oder Systemprognosen gesprochen.

5.1.1. Prognoseverfahren ohne Rückkopplung

Das Standardverfahren für Prognoseverfahren ohne Rückkopplung ist die Anwendung von Trendfunktionen. **Lineare und nichtlineare Trendfunktionen** lassen sich als **Trendprognosen** sowohl über die Zeit als auch über jede andere Variable aufstellen. Sie können auch ineinander verkettet sein, sodass die abhängige Variable einer ersten Funktion die unabhängige Variable einer zweiten Funktion ist. Es lassen sich als multiple Regressionen in unterschiedlichsten Funktionsformen auch mehrere unabhängige Variablen simultan berücksichtigen. Häufig lassen sich die verwendeten Parameter anhand von Werten aus der Vergangenheit empirisch ermitteln.

Diffusionsmodelle sind von Bedeutung für die Beschreibung der Ausbreitung neuer Technologien. Dabei werden Lernprozesse berücksichtigt, welche zu einer stärkeren Verteilung von Wissen führen. Anfängliche Hemmnisse in der Diffusion werden so sukzessive abgebaut und führen zu einer Zunahme der Diffusionsgeschwindigkeit. Zusätzlich zu dem als epidemische Komponente einfließenden Lernprozess können Kostenkomponenten (zum Beispiel ein Preisrückgang über die Zeit) berücksichtigt werden. Häufig werden bei Diffusionsmodellen Sättigungswerte angesetzt, die eine Obergrenze der Diffusion beschreiben. Angewandt werden dabei zum Beispiel exponentielle Funktionen oder Gompertz-Funktionen.

Zum Abbilden des Wahlverhaltens von Nutzern wird zwischen **diskreten und kontinuierlichen Wahlentscheidungen** unterschieden. Bei diskreten Wahlentscheidungen wird die Wahl zwischen einer bestimmten Anzahl von Alternativen getroffen (zum Beispiel die Entscheidung für ein Pkw-Modell), es kann sich hierbei auch um eine zweiteilige (binäre) Entscheidung zwischen den Alternativen „Kauf“ und „Nicht-Kauf“ eines Produkts handeln. Bei kontinuierlichen Wahlentscheidungen bestimmen die Nutzer die nachgefragte Menge eines oder mehrerer Produkte.

Zur Abbildung **diskreter Wahlentscheidungen** werden Logit-Modelle oder verwandte bzw. spezifizierte Formen (zum Beispiel Probit-Modelle bzw. Nested-Logit-Modelle) genutzt. Elementar ist dabei das Beschreiben einer Nutzenfunktion für jede wählbare Alternative, ausgehend von den Eigenschaften der Alternativen für das Individuum, empirisch ermittelten Schätzparametern, sowie einem einer Gumbel-Verteilung unterworfenen Fehlerterm. Unter Berücksichtigung der genannten Bestandteile der Nutzenfunktionen entscheiden die Individuen sich jeweils Nutzen-maximierend. Diskrete Wahlmodelle sind zum Beispiel bei der Verkehrsmittelwahl von Bedeutung.

Einer diskreten Wahlentscheidung gegenüber steht die Entscheidung über die Menge eines bestimmten Gutes. Für Individualentscheidungen wurde mit den linearen und nichtlinearen Trendfunktionen schon eine wesentliche Methode der **kontinuierlichen Entscheidungsmodelle** benannt. Auch hier ist ein Kalibrieren an empirischen Daten aus der Vergangenheit notwendig, gestützt durch Annahmen für zukünftige Entwicklungen. Im Güterverkehr sind zum Beispiel Losgrößenwahlmodelle von Bedeutung, zum Aufteilen der Transportmengen im Zeitverlauf.

5.1.2. Prognoseverfahren mit Rückkopplung

Systeme mit Rückkopplungen können als Regelkreise oder Flussdiagramme dargestellt werden. Rückkopplungen können durch negative und positive **Feedback-Loops** beschrieben werden. Ein **System-Dynamics-Modell (SDM)** stellt beispielsweise eine Zusammenstellung verschiedener Feedback-Schleifen dar, die jeweils in Kausaldiagrammen abgebildet werden können. Eine Gleichgewichtslösung wird je nach Komplexität in der Regel erst mithilfe einer **Simulation** abbildbar. Eine Abgrenzung von endogenen und exogenen Variablen ist notwendig, um die Grenzen des Systems zu beschreiben und ein Modell definieren zu können. Hierbei ist die Definition des Zielsystems zu berücksichtigen.

Im Fall von **Verkehrsnachfragemodellen** werden Simulationen mit unterschiedlichen Rückkopplungseffekten eingesetzt. Als wichtiger Aspekt der Rückkopplung zu nennen ist hier die Auslastung von Infrastrukturkapazitäten, die Anpassungen des Verhaltens hervorruft und letztendlich im Gleichgewichtszustand in einem Wahlverhalten der Individuen endet, das nicht zwangsläufig dem Wahlverhalten in einem freien Netz entspricht. Je nach Definition des Zielsystems kann dieser Gleichgewichtszustand zum Beispiel auch zu einem wohlfahrtsoptimalen Zustand führen, wobei eine Internalisierung externer Kosten notwendig wird, deren Ausprägung sich aus der Simulation ergeben kann.

Es gibt unterschiedliche Formen von Verkehrsnachfragemodellen, eine wichtige Unterscheidung ist die Abgrenzung von mikroskopischen und makroskopischen Verkehrsnachfragemodellen. Mikroskopische Verkehrsnachfragemodelle stellen das Entscheidungsverhalten einzelner Agenten in den Vordergrund, makroskopische Verkehrsnachfragemodelle basieren auf Verkehrsströmen und aggregieren das Verhalten von Personengruppen in Quell- und Zielbezirken. Makroskopische Modelle sind in der Regel weniger rechenintensiv und können daher für ein größeres

Untersuchungsgebiet eingesetzt werden. Beiden Formen liegt das klassische **Vier-Stufen-Verfahren** der Verkehrsplanung zugrunde, welches sich in die Verkehrserzeugung, Verkehrsverteilung, Verkehrsmittelwahl und Verkehrsumlegung gliedert. Es kommen bei den einzelnen Stufen unterschiedliche Verfahren zum Einsatz; am wichtigsten ist dabei die Modellierung diskreter Wahlentscheidungen.

5.2. Modelle nach Aggregationsebene

Neben der gerade genannten Differenzierung der Methoden nach Rückkopplung, kann auch zwischen der Aggregationsebene unterschieden werden. Im Folgenden werden die betriebswirtschaftliche (Einzelwirtschaftliche) sowie die volkswirtschaftliche mikro- und makroökonomische Wirkungsmodellierung voneinander abgegrenzt und die Unterschiede anhand kurzer Beispiele aus dem Verkehrsbereich verdeutlicht.

5.2.1. Betriebswirtschaftliche Wirkungsmodellierung

Der kleinste und am stärksten abgegrenzte Betrachtungsraum tritt bei der betriebswirtschaftlichen Wirkungsmodellierung auf. Die Perspektive geht dabei von einem Anbieter aus. In der Regel handelt es sich hierbei um Marktforschungsanalysen für Unternehmensentscheidungen mit dem Ziel einer Gewinnmaximierung. Aus Sicht eines Unternehmens sind zwei Wirkungen eines Produktes zu beachten. Das erste ist die Firmen-spezifische Nachfragefunktion in Abhängigkeit der vom Nachfrager wahrgenommenen Produkteigenschaften und dem Angebot der Wettbewerber. Das zweite sind die mit einem Produkt verbundenen Kosten für das Unternehmen, zum Beispiel Entwicklungs- und Herstellungskosten. Es kann sich hierbei beispielsweise um eine Investitionsentscheidung für eine Produktveränderung handeln, wie etwa ein Fahrassistenzsystem in einem Pkw. Die Investition kann dabei Nachfrageänderungen bei dem betreffenden Produkt hervorrufen, die Nachfrageänderungen bei Produkten der Konkurrenz werden dagegen nicht betrachtet.

5.2.2. Mikroökonomische Wirkungsmodellierung

Bei der mikroökonomischen Wirkungsmodellierung werden bereits unterschiedliche Anbieter betrachtet. Es sind allerdings nicht verschiedene ökonomische Sektoren betroffen, zwischen denen Wechselwirkungen beschrieben werden. Beispielhaft zu nennen sind hier Auswirkungen auf das Verkehrsnachfrageverhalten, die verkehrsmittelübergreifend, aber dennoch innerhalb des Verkehrssektors wirken (zum Beispiel Nachfrageverschiebungen im Personenfernverkehr zwischen dem Flug-, Fernbahn- und Fernbusmarkt). Die Grenzen der ökonomischen Sektoren können für die Abgrenzung der mikroökonomischen Wirkungsmodellierung von der makroökonomischen Wirkungsmodellierung je nach Sachverhalt relativ weit gefasst sein.

5.2.3. Makroökonomische Wirkungsmodellierung

Makroökonomische Modelle werden für Fragestellungen der wirtschaftlichen Folgenabschätzung herangezogen, die die Einbeziehung der Zusammenhänge einer gesamten Wirtschaftsregion erfordern. Sie ermöglichen Untersuchungen einzelner Volkswirtschaften oder auch regionaler Wirtschaftszonen bis hin zum globalen Wirtschaftssystem. Auf Grund ihres sehr weiten Analysebereichs untersuchen makroökonomische Modelle hoch aggregierte Indikatoren, die keine Rückschlüsse auf einzelne Technologien zulassen. Gleichzeitig ermöglichen sie jedoch Aussagen über die Auswirkungen grundlegender technologischer Veränderungen auf das jeweils betrachtete gesamte Wirtschaftssystem. Dabei geht es bei solchen Analysen zum Beispiel um allgemeine Trends und Entwicklungen bezogen auf die Gesamtmenge produzierter Güter und Dienstleistungen sowie deren Handel innerhalb wie außerhalb des betrachteten Systems, das dadurch erzielte Gesamteinkommen oder die Beschäftigung. Die Analyse der Auswirkungen solcher Veränderungen auf verschiedene Wirtschaftssektoren ist dabei abhängig von dem Aggregationsgrad der Sektoren innerhalb des jeweiligen makroökonomischen Modells. Der limitierende Faktor im Detaillierungsgrad dieser Modelle ist dabei die verfügbare Datenbasis, welche nicht nur einen Teilbereich, sondern das gesamte Wirtschaftsgeschehen konsistent erfassen muss.

Es gibt eine Reihe von makroökonomischen Modellansätzen, die jede für sich Vor- und Nachteile beinhaltet. Die konventionelle **Input-Output-Rechnung (IO)** ist eine zentrale Grundlage für jegliche Form von makroökonomischer Modellierung. Eine Input-Output-Tabelle zeigt die Verflechtung in monetären Größen innerhalb einer Volkswirtschaft auf. IO-Tabellen existieren für eine Vielzahl von Ländern und ermöglichen so auch globale Analysen von wirtschaftlichen Zusammenhängen. Auf IO-Tabellen aufbauende ökonometrische Modelle nutzen die detaillierte Disaggregation der IO-Systematik und ermöglichen es durch ihren dynamischen Charakter gleichzeitig Analysen von zeitlichen Verläufen vorzunehmen.

Computable-General-Equilibrium-Modelle (CGE) verfolgen ebenfalls den Ansatz der vollständigen Abbildung einer Volkswirtschaft, sind im Vergleich zu den zuvor genannten Modellen jedoch Optimierungsmodelle. Im Unterschied zu den nachfrageorientierten IO-Modellen, basieren CGE-Modelle im Kern auf der Theorie angebotsseitiger Verknappung. Im Wesentlichen sind CGE-Modelle statische Modelle, die jedoch auf nicht-linearen Produktionsfunktionen beruhen.

Die Weiterentwicklung dieser Modelle hin zu einer dynamischen Form hat die Klasse der **Dynamic-Stochastic-General-Equilibrium-Modelle (DSGE)** hervorgebracht, welche aktuell vermutlich die größte Verbreitung in der ökonomischen Forschung haben.

Ein weiterer Modellansatz ist die **Agentenbasierte Modellierung (Agent-based Computational Economics, ACE)**, welche bislang jedoch nur in geringem Maße in der makroökonomischen Forschung etabliert ist. Ebenso wie die IO-basierten Modelle sind ACE-Modelle keine Optimierungsmodelle. Im Vergleich zu den klassischen DSGE-Modellen ermöglichen sie eine sehr viel stärkere Differenzierung verschiedener Akteursgruppen und damit eine ergänzende Berücksichtigung der mikroökonomischen Zusammenhänge (trotz des Fokus auf die makroökonomische Anwendung in diesem Abschnitt).

Für die Anwendung makroökonomischer Modelle im Verkehrsbereich sei darauf hingewiesen, dass Güter und Dienstleistungen stets in monetären Größen ausgedrückt werden und räumliche Darstellungen nicht vorhanden sind. Dies ermöglicht es einerseits, die Veränderung des Handels mit Gütern nachzuvollziehen, andererseits ist es aber nur sehr eingeschränkt möglich, anhand solcher Modelle direkt Informationen zu den zu transportierenden Tonnagen zu erhalten beziehungsweise die zu überwindenden räumlichen Wege der veränderten Handelsströme zu erfassen.

Ein Anwendungsgebiet sind die Beschäftigungseffekte von Transformationsprozessen, wie sie beispielsweise im Bereich der Energiewende auftreten. In diesem Zusammenhang wird die wandelbedingte Wirkung der veränderten Nutzung einer Technologie auf die Beschäftigung untersucht. Anhand eines Vergleichs zweier alternativer Entwicklungspfade (Szenarien) kann die Nettobeschäftigung ermittelt werden. Einbezogen werden dabei sowohl positive, wie negative Beschäftigungseffekte. Zu den positiven sind die direkten wie indirekten Bruttobeschäftigungseffekte zu zählen, welche durch den Bau sowie die Nutzung neuer Anlagen erfolgen. Als negative Effekte sind zum einen Substitutionseffekte zu nennen, welche durch den Ersatz einer Technologie durch eine andere zustande kommen, aber auch Budgeteffekte, die aus möglichen Mehrkosten der neuen Technologie resultieren und dazu führen, dass weniger Mittel für den Konsum von Gütern in anderen Wirtschaftszweigen zur Verfügung stehen. Die Wirkung des Außenhandels ist abhängig davon, ob durch die Transformation mehr exportiert wird, was einen positiven Beschäftigungseffekt auslösen würde, oder mehr importiert wird. Die Darstellung der neuen Technologien wird dabei anhand einer technologiespezifischen Erweiterung der Input-Output Tabelle vorgenommen.

5.3. Beispiele für die Ermittlung von Wirkungen

Im Folgenden wird die Wirkungsmodellierung anhand von zwei Beispielen verdeutlicht. Hierbei wird – basierend auf Annahmen – mit Hilfe von ökonomischen und physikalischen Modellen ermittelt, wie sich Maßnahmen hinsichtlich entscheidungsrelevanter Indikatoren auswirken.

Beispiel – Wirkungsermittlung für intermodales Verkehrsmanagement

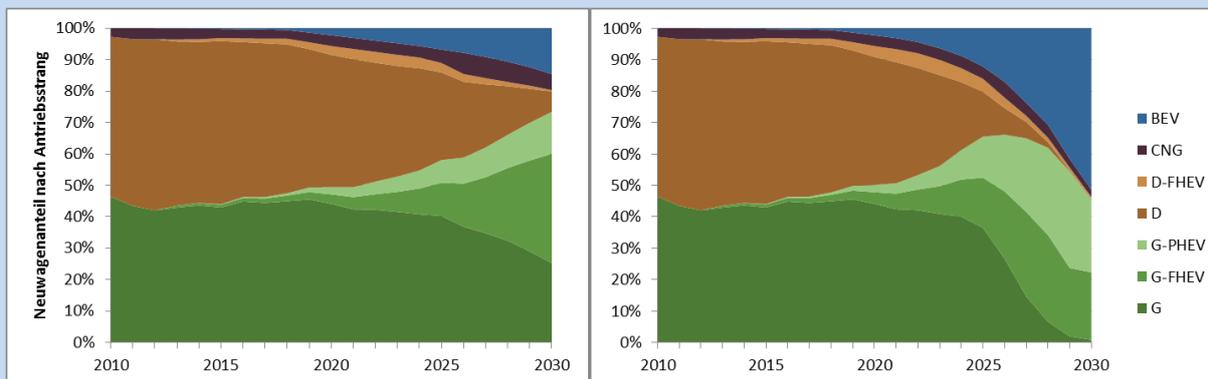
In öffentlichen Verkehrssystemen werden oft mehrere Verkehrsmittel zu einer Transportkette verbunden. Dies ist insbesondere bei Transportketten mit Einbeziehung des Luftverkehrs relevant, da der Zugang zum Flughafen in der Regel mit einem anderen Verkehrsträger erfolgt. Eine große Verspätung und das (mögliche) Verpassen des Fluges haben für die Nutzer erhebliche negative Wirkungen. Um die Wirkungen verschiedener Dispositionsmaßnahmen ermitteln zu können, wurde im Rahmen des Projektes OPTIMODE.net mehrere Simulationsmodelle entwickelt und miteinander verknüpft. Im Fokus stehen die Bewegungstrajektorien von Reisenden, die sich über eine Kette von Aktivitäten (zum Beispiel Gehen, Shoppen, Sicherheitskontrollen) in einem Flughafen bewegen. Die Reisenden werden als Agenten abgebildet, die eine Route planen und die mit anderen Agenten interagieren (zum Beispiel in einer Schlange stehen). Dabei verwendet das Modell auch physikalische Gesetzmäßigkeiten (Bewegungsgleichungen). Es handelt sich bei dem Modell um eine mikroökonomische Form der Modellbildung: das Verhalten basiert auf den Annahmen bezüglich der Präferenzen und des Entscheidungsverhaltens einzelner Agenten, allerdings steht das Gesamtsystem „Flughafen“ im Vordergrund. Die Kapazitäten der Abfertigungseinrichtungen und Infrastrukturen stellen das „Angebot“ für räumliches Bewegen dar, die Agenten wiederum die Nachfrageseite.

Die Wirkungen von Maßnahmen (zum Beispiel Öffnen von Sicherheitskontrolllinien, verschieben von Abflügen, Gate-Wechsel) werden nicht nur für die Passagiere selbst ermittelt, sondern auch für weitere Stakeholder¹. Die Wirkungen werden direkt in monetarisierte Schäden oder Nutzen umgerechnet. So zum Beispiel werden die Gewinnrückgänge bei den Ladenbetreibern aufgrund von veränderten Aufenthaltszeiten der Kunden in Duty-Free Bereichen ermittelt. Die Form einer konsequenten Monetarisierung von Wirkungen entspricht im Übrigen einer bestimmten Bewertungsmethodik – der Nutzen-Kosten-Analyse (vgl. Kapitel 6).

¹ Stakeholder sind in diesem Kontext all jene Personengruppen und Unternehmen, die von den Wirkungen der Störungen und Dispositionsmaßnahmen betroffen sein könnten, zum Beispiel Reisende, Verkehrsunternehmen, Infrastrukturunternehmen, Airlines, Flughafenbetreiber.

Szenario 1 „Business-as-Usual“, Pkw-Markt, EU28

Szenario 2 „Progressiv“, Pkw-Markt, EU28



(G = Gasoline, FHEV = Full Hybrid Electric Vehicle, PHEV = Plug-in Hybrid Electric Vehicle, D = Diesel, CNG = Compressed Natural Gas, BEV = Battery Electric Vehicle)

Abbildung 7: VECTOR21-Simulationen zur Diffusion unterschiedlicher Antriebstechnologien für den europäischen Pkw-Neuzulassungsmarkt bis 2030

Beispiel – Wirkungsermittlung zur Diffusion alternativer Antriebstechnologien

Das Fahrzeugszenariomodell VECTOR21 ermöglicht eine wissenschaftlich verifizierte, agentenbasierte Simulation des Kaufverhaltens von Pkw-Neuwagenkunden unter Berücksichtigung unterschiedlicher Entwicklungen der Rahmenbedingungen, somit die Analyse der Diffusion neuer, oftmals im Wettbewerb stehender Antriebskomponenten und -technologien. Dabei werden sowohl Angebots- als auch Nachfrageseite dynamisch und unter Einfluss gesetzlicher, politischer, technologischer und marktlicher Entwicklungen modelliert.

Die Angebotsseite besteht aus unterschiedlichen Antriebskonzepten, Modulen, Komponenten, Technologien und Treibstoffarten (zum Beispiel BEV, PHEV, HEV, CNG, ICE). Dabei wird unter anderem die Geschwindigkeit der technologischen und kostenseitigen Entwicklung der Fahrzeuge und einer Vielzahl weiterer Komponenten berücksichtigt (zum Beispiel Batteriesystem, Elektromotor, Leistungselektronik). Je nach „Storyline“ des Szenarios ergeben sich unterschiedliche Technologiediffusions- und Kostenverläufe. Die Nachfrageseite besteht aus einzelnen Kundengruppen, die sich unter anderem hinsichtlich der Anforderungen an das Fahrzeug (zum Beispiel Jahresfahrleistung, Fahrprofil, Transportaufgabe, Fahrzeuggröße), der Zahlungsbereitschaft sowie dem Innovationsverhalten unterscheiden.

Die Kaufentscheidung des Kunden wird Jahr für Jahr bis 2030 in einem modellierten Umfeld simuliert, das die Entwicklung weiterer, externer Rahmenbedingungen – wie zum Beispiel der Energiepreise, der Infrastrukturverfügbarkeit, von länderspezifischen Steuern, (Emissions-) Regularien und Zuschüssen sowie der industriell zur Verfügung stehenden Produktionskapazitäten und -verfügbarkeiten – einbezieht. Je nach Entwicklungspfad dieser externen Faktoren (zum Beispiel „konventionell“ oder „progressiv“) ergeben sich andere Anforderungen sowohl an das Fahrzeugangebot als auch die Marktnachfrage und entsprechend unterschiedliche

Technologieentwicklungsverläufe und Kaufentscheidungen. Dem Kunden wird dabei unterstellt, dass er das Fahrzeug kauft, das seine Anforderungen an ein Fahrzeug sowie die notwendige Infrastruktur erfüllt und die für ihn hinsichtlich der Gesamtkosten (Total-Cost-of-Ownership, TCO) günstigste Variante darstellt.

Da die dargestellten Wirkungsanalysen auf Technologien basieren und in der genannten Form zum Beispiel aus Sicht eines Automobilherstellers durchgeführt werden könnten, lassen sie sich einerseits als eine betriebswirtschaftliche Modellbildung verstehen. Andererseits könnte man sie als Analysen innerhalb von Technologie- und Mobilitätsmärkten verstehen, also als mikroökonomische Analysen.

Literatur

- Guy R. West (1995) Comparison of Input–Output, Input–Output + Econometric and Computable General Equilibrium Impact Models at the Regional Level, *Economic Systems Research*, 7:2, 209-227, DOI: 10.1080/09535319500000021
- Lehr, U.; Ulrich, P.; Lutz, C.; Thobe, I. (GWS); Edler, D. (DIW); O’Sullivan, M.; Naegler, T.; Simon, S.; Pfenning, U. (DLR); Peter, F.; Sakowski, F. (Prognos); Bickel, P. (ZSW) (2015): Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland – Ausbau und Betrieb, heute und morgen. Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi), März 2015.
- O’Sullivan, M. (DLR), Lehr, U. (GWS), Edler, D. (DIW) (2015): Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland und verringerte fossile Brennstoffimporte durch erneuerbare Energien und Energieeffizienz – Zulieferung für den Monitoringbericht 2015, Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi), September 2015.

6. Bewertung ohne vollständige Monetarisierung

Die folgenden Kapitel 6 und 7 widmen sich der Beschreibung der ökonomischen Bewertungsmethoden (vgl. Abbildung 8). In diesem Kapitel werden die Methoden betrachtet, bei denen **keine oder nur eine teilweise Monetarisierung** der Bewertungsindikatoren erfolgt. Nach einem übergreifenden Abschnitt zur Vorauswahl von Alternativen wird dazu in die Methoden der Nutzwertanalyse und der Kostenwirksamkeitsanalyse eingeführt.

Auf die **vollständig monetären** Nutzen-Kosten-Verfahren aus dem Bereich der Investitionsrechnung wie Total-Cost-of-Ownership (TCO) und Life-Cycle-Costing-Analysis (LCC-A) sowie die volkswirtschaftliche Nutzen-Kosten-Analyse (NKA) wird separat in Kapitel 6 eingegangen.

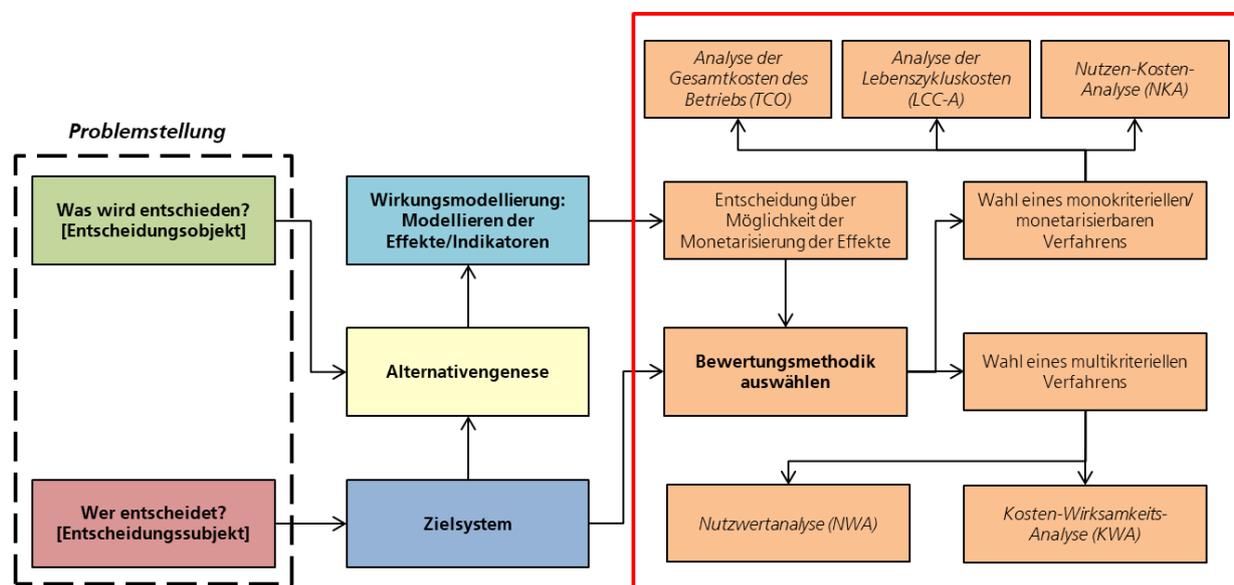


Abbildung 8: Übersicht des Entscheidungsbaums zur Wahl von Bewertungsverfahren mit Hervorhebung des Aspekts der „Bewertung“

6.1. Vorauswahl an Alternativen

Bei Entscheidungsproblemen kann es sehr leicht dazu kommen, dass aus der Alternativengenerierung eine große Anzahl an potenziellen alternativen Maßnahmen ermittelt wird. Schwierigkeiten in der Implementierung der Wirkungsermittlung für eine Vielzahl von Varianten, hohe Kosten für die Implementierung bestimmter Maßnahmen und geringer relativer Nutzen einer Maßnahme sind jedoch gute Gründe, bestimmte Alternativen schon in einer Vorauswahl auszuschließen. Eine Vorauswahl an Alternativen ist im Allgemeinen nur bei vorherrschenden Zielkonflikten erforderlich, da einerseits bei neutralen Zielbeziehungen für jedes Ziel einzeln die beste Alternative gewählt werden sollte, und andererseits bei vollständig komplementären Zielen (durch häufig vorliegende

Mittel-Ziel Beziehungen) die beste Maßnahme für eines der Ziele auch die beste für alle anderen Ziele ist.

In den folgenden Abschnitten werden Methoden zur Vorauswahl von Alternativen und ein Projektbeispiel beschrieben.

6.1.1. Pareto optimale Alternativen

Die Menge pareto-optimaler Alternativen besteht lediglich aus Alternativen, bei denen eine Verbesserung eines Zielergebnisses nur durch eine Verschlechterung bei einem konkurrierenden Ziel erreicht werden kann. Diese Menge kann über das sogenannte Dominanzprinzip bestimmt werden: Durch den Vergleich von Alternativen können dominierte Alternativen identifiziert und vom weiteren Entscheidungsprozess ausgeschlossen werden. Eine Alternative wird hierbei dominiert, wenn sie im Vergleich zu einer anderen Alternative hinsichtlich keines Zielergebnisses besser und bei mindestens einem Zielergebnis schlechter abschneidet. In der Regel stellen dabei auch anfallende Kosten ein Zielergebnis dar. Befindet sich die Umwelt in einem Zustand der Unsicherheit, können Alternativen durch die Anwendung der stochastischen Dominanz ebenfalls ausgeschlossen werden. Damit diese Art der Vorauswahl durchgeführt werden kann, müssen sowohl das Zielsystem mit den zugehörigen Zielindikatoren als auch für jeden Zielindikator die Richtung von subjektiven Beurteilungen für Verbesserungen bzw. Verschlechterungen (Präferenzrichtung) bekannt sein.

Beispiel – Bestimmung pareto-optimaler Alternativen

Im Rahmen des Projektes Climate compatible Air Transportation System (CATS, siehe Koch et al., 2011) wurde eine interdisziplinäre Analyseketten entwickelt, die es ermöglicht, potenzielle Optionen wie neue Technologien, neue Flugzeugdesigns und Änderungen im Flugbetrieb hinsichtlich Klimawirkung und Betriebskosten zu bewerten. Unter Klimawirkung ist hier der globale Temperaturanstieg infolge der bei einem Flug entstehenden Emissionen zu verstehen. Eine wichtige Rolle spielen die Flughöhe und die Fluggeschwindigkeit, die einerseits die Klimawirkung von Flügen reduzieren können, jedoch andererseits die Betriebskosten im Vergleich zum aktuellen Fall in der Regel durch steigenden Treibstoffverbrauch und variierende Flugzeiten erhöhen. Mithilfe der Modellkette wurden für existierende Flugrouten bei unterschiedlichen Flughöhen und Fluggeschwindigkeiten die relative Änderung der Klimawirkung (Average Temperature Response, ATR) und der direkten Betriebskosten (Direct Operating Costs, DOC) im Verhältnis zum aktuellen Zustand bestimmt. Aus diesen Ergebnissen konnten alle pareto-optimalen Kombinationen von Flughöhen und Fluggeschwindigkeiten ermittelt werden und somit alle anderen Kombinationen von der darauf aufbauenden Bewertung ausgeschlossen werden. Abbildung 9 bildet die diversen Kombinationen von Flughöhen und Fluggeschwindigkeiten für die Strecke Detroit – Frankfurt ab. Alle Kombinationen oberhalb der Pareto-Front werden dominiert, da bei gleicher Klimawirkung höhere Kosten anfallen oder bei gleichen Kosten eine größere Klimawirkung entsteht. Wie man an

der Abbildung sieht, optimieren die Fluglinien ausschließlich unter Kostengesichtspunkten (vgl. „Referenzpunkt $x, y = 1,1$ rechts unten in der Abbildung), da eine Regulierung der Klimawirkung von Flügen durch Vorgaben oder Bepreisung zum Zeitpunkt der Untersuchung fehlte und auch bis heute nur teilweise gegeben ist.

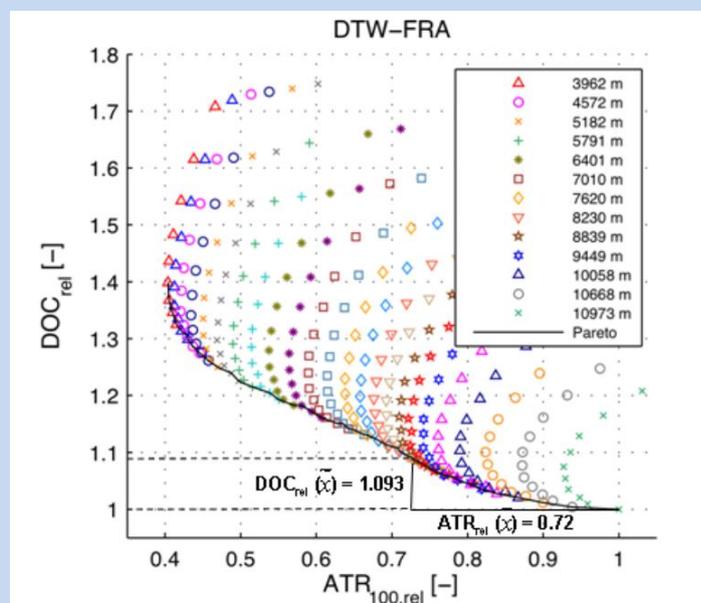


Abbildung 9: Auf den Referenzfall normierte Klimawirkung (ATR) und direkte Betriebskosten (DOC) für unterschiedliche Flughöhen und Fluggeschwindigkeiten auf der Strecke von Detroit (DTW) nach Frankfurt (FRA), Quelle: Koch et al. (2011).

6.1.2. Weitere Einschränkungsmöglichkeiten

Mindestanforderungen: Vor einem Bewertungsverfahren können unpassende Alternativen auch anhand von Restriktionen (nominales Niveau, gesetzliche Grenzwerte) oder Anspruchsniveaus (mindestens ordinale Vorgaben) aus der Menge aller potenziellen Handlungsalternativen ausscheiden. Zu beachten ist bei dieser Vorgehensweise, dass sowohl gute Handlungsoptionen schon verfrüht ausgeschlossen werden können als auch die Mindestanforderungen nur bedingt deckungsgleich mit den Präferenzen des Entscheiders sind, da kein Ausgleich durch andere Zielerfüllungen möglich ist. Darüber hinaus besteht auch eine weitere Problematik in der konkreten Festsetzung der Mindestanforderungen.

Min-Max-Prinzip: Ergebnisse von Handlungsalternativen können zwischen einzelnen Zielen stark variieren. Durch das Min-Max-Prinzip (Minimierung der maximalen Abweichung) können nun Alternativen ausgeschlossen werden, die extreme negative Ausreißer hinsichtlich eines bestimmten

Ziele aufweisen. Diese Verfahren tendieren eher zu durchschnittlichen Alternativen, die überall akzeptable Ergebnisse aufweisen.

Literatur

- Eisenführ, Weber, Langer (2010): Rationales entscheiden. 5. Auflage, Springer, Heidelberg
- Laux, H., Gillenkirch, R. M., & Schenk-Mathes, H. Y. (2012). Entscheidungstheorie. Springer-Verlag.
- Koch, Alexander, B. Lührs, K. Dahlmann, F. Linke, V. Grewe, M. Litz, M. Plohr, B. Nagel, V. Gollnick and U. Schumann. Climate impact assessment of varying cruise flight altitudes applying the CATS simulation approach. 3rd International Conference of the European Aerospace Societies (CEAS), Venice, Italy (2011).

6.2. Nutzwertanalyse

6.2.1. Definition

Die Nutzwertanalyse (auch Punktbewertungsverfahren oder Scoring-Modell genannt) ist eine Methode zur Bewertung und Entscheidungsfindung, bei der sowohl qualitative als auch quantitative Ziele berücksichtigt werden können. Der Vorteil zu statischen oder dynamischen Investitionsrechenverfahren ist, dass dabei auch nicht monetäre Bewertungskriterien einbezogen werden können. Nachteil ist, dass bei diesem Vorgehen das Ergebnis stark von den Verfahren zur Gewichtung der Indikatoren abhängig ist.

6.2.2. Vorgehen

Das Vorgehen bei der Nutzwertanalyse beinhaltet die Erarbeitung des Zielsystems sowie anschließend die Beschreibung, Nutzwertermittlung und Rangfolgenbildung für die Alternativen.

- Erarbeitung des Zielsystems
 - Zielbestimmung bzw. Festlegung von Bewertungskriterien
 - Festlegung von „K.-o.-Kriterien“²
 - Gewichtung der Ziele zum Beispiel mit Direct-Ranking, Präferenzanalyse oder Analytic-Hierarchy-Process (AHP)
- Beschreibung der Alternativen
- Nutzwertberechnung für die Alternativen
 - Definition der Skala zur Bewertung

² Als K.-o.-Kriterien bezeichnet man Nebenbedingungen, die unbedingt erfüllt sein müssen, damit die Alternative überhaupt in Betracht gezogen wird. „Harte Kriterien“ wird oftmals als Synonym hierzu verwendet.

- Bewertung der Alternative für jedes Ziel (Zielerreichungsgrad)
- Multiplikation des Zielerreichungsgrades mit dem Gewichtungsfaktor des Zieles
- Nutzwertberechnung der Alternative durch Summenbildung aller gewichteten Zielerreichungsgrade
- Rangfolgenbildung der Alternativen

Der Vorteil der Nutzwertanalyse liegt in der einfachen, transparenten Handhabung auch sehr unterschiedlicher Ziele und der Aggregation der Bewertung zu einem Nutzwert für jede Alternative. Bei der scheinbar objektiven Rangfolgenbildung nach dem Nutzwert darf aber nicht vergessen werden, dass die Auswahl der Ziele, deren Gewichtung und mitunter auch die Bewertung des Zielerreichungsgrades subjektiv sind.

Beispiel – Nutzwertanalyse

Für eine Reise von Hamburg nach München soll der Nutzwert verschiedener Verkehrsmittel ermittelt werden. Dies könnte gemäß Tabelle 2 geschehen:

Tabelle 2: Nutzwertanalyse für verschiedene Verkehrsmittel

Ziele	Gewichtung	Pkw		Fernbus		Bahn		Flugzeug	
		Punkte gewichtet		Punkte gewichtet		Punkte gewichtet		Punkte gewichtet	
Reisezeit	25 %	2	0,50	1	0,25	3	0,75	4	1,00
Preis	40 %	3	1,20	4	1,60	2	0,80	1	0,40
Komfort	20 %	3	0,60	1	0,20	4	0,80	2	0,40
Umweltfreundlich	15 %	1	0,15	3	0,45	4	0,60	2	0,30
Nutzwert		2,45		2,5		2,95		2,1	
Ranking		3.		2.		1.		4.	

Bei diesem Beispiel ist zu beachten:

- Es wird hier im Wesentlichen nur die Sicht des Reisenden betrachtet.
- Die Zielkriterien sind nachvollziehbar, aber letztlich subjektiv ausgewählt; zum Beispiel wird dem Reisenden hier ein Umweltbewusstsein unterstellt.
- Die Gewichtungen sind je nach Passagier individuell.
- Der Zielerreichungsgrad (Punkte) wird hier in Form einer eindeutigen Rangfolge 1 bis 4 gemessen (Ordinalskala mit 4 als bester Wert). Sofern entsprechende Werte vorliegen, sollten stattdessen die Verhältnisse der tatsächlichen Reisezeiten, Preise etc. für die verschiedenen Verkehrsmittel verwendet werden (Verhältnisskala der Kardinalskala). Die Summe der vergebenen Punkte muss für jedes Ziel gleich sein (Normierung) und hohe

Zielerreichungsgrade müssen immer zu hohen Punkten führen (geringe Reisezeit und geringer Preis, aber hoher Komfort und hohe Umweltfreundlichkeit).

In den folgenden beiden Kapiteln werden zwei Erweiterungen der Nutzwertanalyse beschrieben, die zum einen die Einbeziehung mehrerer Stakeholder ermöglicht (MAMCA) und zum anderen die Subjektivität der Bewertung begrenzen soll (AHP).

Literatur

- Christof Zangemeister (1976): Nutzwertanalyse in der Systemtechnik – Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen. Diss. Techn. Univ. Berlin 1970, 4. Aufl., München: Wittmann, [ISBN 3-923264-00-3](https://www.amazon.de/dp/3923264003)
- Hoffmeister, W. (2000): Investitionsrechnung und Nutzwertanalyse. Eine entscheidungsorientierte Darstellung mit vielen Beispielen und Übungen. Stuttgart, Berlin, Köln: Kohlhammer
- <https://welt-der-bwl.de/Nutzwertanalyse>

6.2.3. Multi-Actor-Multi-Criteria-Analysis (MAMCA)

Motivation

Bei der Multi-Actor-Multi-Criteria-Analysis (MAMCA) handelt es sich um eine spezielle Form der Nutzwertanalyse, die insbesondere bei Problemen gut geeignet ist, bei denen es viele Einzelbeteiligte oder Gruppen in unterschiedlichen Rollen gibt (sogenannte Stakeholder). Komplexe Situationen solcher Stakeholder treten insbesondere im Verkehr auf. Zum Beispiel sind häufig private und unternehmerische Nutzer, Infrastrukturplaner, Infrastrukturbetreiber, Verkehrsdienstleister, Behörden, Verbände und viele mehr bei Entscheidungen zu berücksichtigen. Die MAMCA macht die Zielerfüllung der unterschiedlichen Stakeholder explizit und ermöglicht damit ausgewogene und damit von allen Stakeholdern akzeptierte Entscheidungen.

Vorgehensweise

Die MAMCA erlaubt die Strukturierung komplexer Entscheidungsfindungsprozesse sowie die tiefere Analyse der Sichtweisen der verschiedenen Stakeholder, um deren Anforderungen zu berücksichtigen. Dabei werden qualitative und quantitative Kriterien unterschiedlicher Stakeholder gewichtet und Stakeholder in Entscheidungsprozesse einbezogen. Vom Prinzip her ist die MAMCA eine mehrfache Ausführung einer Nutzwertanalyse je Stakeholder mit anschließender Konsensfindung. Im Ergebnis der MAMCA entstehen Nutzwerte je Stakeholder. Die Aggregation dieser Nutzerwerte erfordert entweder eine politische Festlegung oder geschieht im Rahmen eines konsensualen Abstimmungsprozesses. Dabei können zum Beispiel die Nutzwerte der verschiedenen

Stakeholder gleich oder unterschiedlich gewichtet werden, was das Setzen gewisser Prämissen wie Gerechtigkeit oder Effizienz erfordern kann.

Die Vorgehensweise orientiert sich dabei an den folgenden sieben Arbeitsschritten, die in Hadavi et al. (2018) übersichtlich beschrieben und hier im Gesamtprozess dargestellt werden:

1. Problemdefinition und Entscheidungsalternativen
2. Stakeholderanalyse und Identifikation der Ziele der Stakeholder (zum Beispiel Umweltverträglichkeit).
3. Ableitung von Kriterien aus den Zielen (zum Beispiel Luftverschmutzung) und Gewichtung der Kriterien durch die Stakeholder. Dafür kann beispielsweise die Methode des analytischen Hierarchieprozesses (AHP), die in nachfolgendem Kapitel 6.2.4 beschrieben wird, verwendet werden.
4. Operationalisierung der Kriterien: Festlegung der Indikatoren (zum Beispiel CO₂-Ausstoß) und deren Bestimmungsmethode für jedes Kriterium; sowohl kardinal als auch ordinal beschreibbar
5. Bestimmung der Performance jeder Alternative (Bestimmung der Wirkung jeder Alternative auf die Kriterien) anhand von Bewertungsmatrizen.
6. Ranking der Alternativen für jeden Stakeholder einschließlich Sensitivitätsanalysen bezüglich der Gewichtungsfaktoren auf das Ranking.
7. Konsensuale Abstimmungsprozess basierend auf normativen Setzungen.

Die Konsensfindung findet im optimalen Fall ab der Definition der Alternativen und Identifikation der Bewertungskriterien statt, indem von Anfang an die Stakeholder mit eingebunden werden. Die Bewertung zeigt manchmal, dass einige Alternativen absolut schlechter sind, als andere. Diese werden in der weiteren Konsensfindung nicht weiter berücksichtigt. Den günstigen Fall, dass eine Alternative für alle Stakeholder als die beste Alternative erscheint, ist sehr unwahrscheinlich. Daher wird bei der Auswahl einer Alternative zur Umsetzung mindestens ein Stakeholder benachteiligt werden. Möglicherweise kann diese Alternative angepasst werden, um die Benachteiligung zu verringern oder es gibt Möglichkeiten einer Kompensation. Falls eine solche konsensuale Entscheidungsfindung nicht möglich ist, bleibt immer noch die Möglichkeit, Gewichtungsfaktoren für die verschiedenen Stakeholder zu definieren. Damit können die Betroffenheiten der verschiedenen Stakeholder explizit gemacht werden und im Rahmen anderer politischer Entscheidungsprozesse außerhalb des Projektes berücksichtigt werden.

Literatur

- Hadavi, S., Macharis, C., Van Raemdonck, K. (2018): The Multi-Actor Multi-Criteria Analysis (MAMCA) Tool: Methodological Adaptations and Visualizations

6.2.4. Analytischer Hierarchieprozess (AHP)

Motivation/Ziel

Nutzerwertanalysen erlauben die Lösung multikriterieller Entscheidungsprobleme, mithilfe derer mehrere Alternativen hinsichtlich ihrer Eignung verglichen werden. Diese Analysen sehen eine vorhergehende Bestimmung von Zielerfüllungsgraden und Zielgewichten vor. Diese Bestimmung ist oftmals schwierig und kann das Ergebnis der Analyse stark beeinflussen. Eine Lösung kann dabei der Einsatz des AHP nach Dr. Thomas L. Saaty (1970) bei Gewichtung der Ziele im Rahmen der Nutzwertanalyse oder MAMCA sein. Der AHP ist ein quantifizierendes Verfahren, mit dem verschiedene Alternativen miteinander verglichen werden können, indem komplexe Entscheidungsprozesse in kleine Einheiten (Paarvergleiche) zerlegt, strukturiert und formal gelöst werden.

Als Methode der Entscheidungstheorie ähnelt der AHP einer klassischen Nutzwertanalyse, ist jedoch deutlich mathematischer und bedarf entsprechender Softwareunterstützung. Durch die zusätzliche Bewertung der Logik und der Konsistenz der Entscheidung durch den Inkonsistenzfaktor werden beim AHP subjektive Bewertungen überprüft.

Vorgehensweise

Die grundsätzliche Funktionsweise des AHP besteht darin, dass komplexe Entscheidungsprozesse in kleine Einheiten zerlegt und diese anschließend hierarchisch strukturiert und verglichen werden. Der Ablauf des AHP folgt dabei den drei Phasen Sammeln der Daten, paarweiser Vergleich und Datenverarbeitung. Zuerst erfolgt die Definition des Ziels, der Indikatoren und der Alternativen. Diese werden in einer hierarchischen Struktur verbunden. In einem nächsten Schritt wird eine erweiterte Paarvergleichsmatrix erarbeitet, die nicht nur drei mögliche Ausprägungen – [besser (2), gleich gut (1), schlechter (0)] – vorsieht, sondern neun fein differenzierte Ausprägungen von 1 bis 9 zulässt. Danach erfolgt die Berechnung eines Eigenvektors, indem die Matrix sukzessive quadriert wird. Im Ergebnis liegen quantitative Gewichtungen der Alternativen entsprechend der vorher erarbeiteten Priorisierung vor, deren Logik und Konsistenz der Entscheidung durch einen sog. Inkonsistenzfaktor überprüft werden.

Beim AHP handelt es sich um ein sehr präzises Verfahren, das die Bewertung komplexer Bewertungsprobleme erlaubt, indem diese in Teilbereiche zerlegt werden. Der Aufwand der Durchführung eines AHP ist durch den zeitintensiven Paarvergleich sehr hoch. Zudem ist der Einsatz von EDV notwendig.

Literatur

- Ein nachvollziehbares Beispiel des Vorgehens im Rahmen einer AHP findet sich in Vorlesungsfolien der Technischen Universität München, welche online abrufbar sind: http://www.fwl.wi.tum.de/fileadmin/Downloads/Master_Forst/AHP_2015.pdf

6.3. Kosten-Wirksamkeits-Analyse (KWA)

Motivation/Ziel

Bei der Kosten-Wirksamkeits-Analyse (KWA, engl. Cost-Effectiveness-Analysis) handelt es sich um eine betriebswirtschaftlich orientierte Entscheidungshilfe. Im Gegensatz zur Nutzen-Kosten-Analyse (siehe Kapitel 7.3) erfolgt bei der KWA keine monetäre Bewertung nutzenseitiger Parameter. Dadurch eignet sich diese Methode insbesondere für die Bewertung von Alternativen, deren Nutzen sich nur schwer monetär beschreiben lässt oder wenn eine Monetarisierung aus ethischen oder politischen Gründen nicht gewollt ist.

Vorgehensweise

Das Grundprinzip der KWA besteht darin, dass die Gesamtkosten einer vorher bestimmten Wirksamkeitskennzahl gegenübergestellt werden. Der dadurch ermittelte Quotient beschreibt die Kosten je Wirksamkeitspunkt, anhand dessen zur Wahl stehende Alternativen vergleichbar gemacht werden.

Die Wirksamkeitskennzahl beschreibt dabei die Gesamtwertigkeit in Form des Nutzwertes und wird anhand einer Wirksamkeitsanalyse ermittelt. Dafür werden in einem ersten Schritt Ziele identifiziert, die in einem zweiten Schritt anhand einer Wirksamkeitsskala in geeignete Teilwirksamkeiten eingeteilt werden.

Ein gutes Beispiel für eine durchgeführte KWA ist die Verkehrsverlagerungsstudie im Rahmen der Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie der Bundesregierung (MKS), die bereits im Kapitel 2.1 dieses Dokumentes als Beispiel für Begriffe in der Bewertung herangezogen wurde.

Literatur

- Breiing, Alois; Knosala, Ryszard (1997): Bewerten technischer Systeme: Theoretische und methodische Grundlagen bewertungstechnischer Entscheidungshilfen, Springer-Verlag, 1997
- Andree, Ulrich F. H. (2011): Wirtschaftlichkeitsanalyse öffentlicher Investitionsprojekte: Investitionen sicher und zuverlässig planen, Haufe Fachbuch, 2011.

7. Bewertung mit vollständiger Monetarisierung (Nutzen-Kosten-Verfahren)

Unter den Bewertungsverfahren haben die Nutzen-Kosten-Verfahren (NKA) eine herausgehobene Bedeutung aufgrund eines Alleinstellungsmerkmals: Bei diesen Verfahren werden alle positiven Effekte (Nutzen) sowie alle negativen Effekte inklusive investiver Aufwendungen (Kosten) konsequent monetarisiert, die im Vergleich zu einer Do Nothing Option entstehen. Da eine Geldeinheit heute eine andere Bedeutung besitzt als in der Zukunft, werden die monetarisierten Nutzen und Kosten zeitlich homogenisiert (abgezinst (diskontiert)) und auf einen Zeitpunkt bezogen. Nutzen-Kosten-Verfahren finden Anwendung, um die Rentabilität solcher Maßnahmen oder Investitionen zu quantifizieren und untereinander oder mit dem Status quo (Nullfall) vergleichbar zu machen und so entsprechend Entscheidungsgrundlagen für Planer zu liefern.

Der Begriff der klassischen NKA ist vor allem ein Begriff aus der gesamtwirtschaftlichen Bewertung. Sie wird insbesondere bei großen öffentlichen Investitionsausgaben praktiziert und zum Teil auch gefordert. Der Zinssatz drückt dabei den technischen Fortschritt und die Präferenz für sofortigen Konsum aus (im Vergleich zum Konsum in der Zukunft oder Konsum zukünftiger Generationen). Daneben gibt es die Life-Cycle-Costing-Analyse (LCC-A) und Analysen der Total-Cost-of-Ownership (TCO), bei denen das Entscheidungskriterium ebenfalls auf einer Barwertbildung von Zahlungsströmen beruht, bei denen jedoch in der Regel über technische Ausgestaltungsoptionen von Produkten entschieden wird. In der Betriebswirtschaft ergibt sich der anzuwendende interne Zinssatz aus der Finanzierungsstruktur des Unternehmens. Nutzenströme werden nicht in jedem Fall betrachtet.

7.1. Bedeutung und Festlegung des Zinssatzes

Sowohl bei den betriebswirtschaftlichen als auch den volkswirtschaftlichen Verfahren beeinflusst der Zinssatz, der für die Abzinsung (Diskontierung) aller zukünftigen Kosten und Nutzen auf den Barwert verwendet wird, das Bewertungsergebnis.

Der Zinssatz kann dabei folgende Komponenten beinhalten:

- a) Risikofreier Grundzins (Realzins), der im Falle einer volkswirtschaftlichen Nutzen-Kosten-Analyse die Zeitpräferenzrate von Individuen oder der Gesellschaft als Ganzes für opportune heutige (zum Beispiel unmittelbarer Konsum) gegenüber zukünftigen Verwendungen repräsentiert, traditionell in der Größenordnung von 2,5 %. In einer betriebswirtschaftlichen Analyse spricht man eher von einer Standardverzinsung des eingesetzten Kapitals.
- b) Ausgleich für die Geldentwertung in Höhe der Inflation. Dieser ist nur dann anzuwenden, wenn die Zahlungsströme in unterschiedlichen Preisniveaus in unterschiedlichen Jahren ausgedrückt werden.

- c) Risikoaufschlag, der umso höher ist, je unsicherer Kosten und Nutzen einer Investition bestimmt werden können. Der Risikoaufschlag führt dazu, dass Kosten und Nutzen in der Zukunft deshalb weniger berücksichtigt werden, da das Risiko mit der Zeit steigt, dass eine Insolvenz eintritt, die Technologie frühzeitig obsolet wird oder es zu einem Systemwechsel in der Gesellschaft kommt (zum Beispiel Katastrophe, schwere Krise).
- d) In manchen Ländern wird zusätzlich in der Nutzen-Kosten-Analyse ein Zinsaufschlag erhoben, der die Kosten der Steuereinzahlung sowie die Verzerrung anderer Märkte durch eine steigende Steuerquote repräsentiert.

Wird zum risikofreien Grundzins eine Inflationskomponente addiert, spricht man vom risikofreien Nominalzins. Die Einbeziehung eines Risikoaufschlages ergibt jeweils einen risikoadjustierten Grund- oder Nominalzins.

Sofern ein Realzinssatz zur Abzinsung verwendet wird, werden Kosten und Nutzen bzw. alle Zahlungsströme in konstanten Preisen des Basisjahres angegeben. Dies ist bei zukunftsgerichteten Analysen für Investitionen das empfehlenswerte Vorgehen. Wird ein Nominalzinssatz verwendet, müssen Kosten und Nutzen zu laufenden Preisen des jeweiligen Jahres zunächst unter Annahme einer geeigneten Inflationsrate ermittelt werden.

Bei fast allen Zinssätzen, die üblicherweise diskutiert oder von Geschäfts- und Zentralbanken veröffentlicht werden, handelt es sich um Nominalzinssätze (zum Beispiel EURIBOR als Referenzzinssatz für Termingelder in Euro im Interbankengeschäft, Zinsen für Spareinlagen von Privatkunden, Kreditzinsen für Baugeld). Verschiedene Nominalzinssätze ergeben sich im Wesentlichen aus dem unterschiedlichen Zeitraum für einen Kredit oder Guthaben und dem Ausfallrisiko. Ist der Nominalzins niedriger als die Inflation, was im risikofreien Fall zeitweise eintreten kann, impliziert dies einen negativen Realzins. Investitionen werden jedoch meistens für längere Zeiträume bewertet, so dass ein Ansatz von 2,5 % für einen risikolosen Grundzins durchaus zu rechtfertigen ist.

7.2. Betriebswirtschaftliche Verfahren

7.2.1. Vorbemerkung zur Abgrenzung von LCC-A und TCO

Der Grundgedanke der betriebswirtschaftlichen, vollkostenbasierten Investitionsrechnungen LCC-A und TCO besteht darin, dass die Kosten für ein Gut mit den Anschaffungskosten nicht abgegolten sind, sondern sich vielmehr während der Nutzung des Gutes zur Sicherstellung der Nutzbarkeit weitere Kosten ergeben, die in die Investitionsentscheidung einbezogen werden sollten. Dazu gehören insbesondere Instandhaltungs-, Energie- und unter Umständen Personalkosten. Gerade bei Investitionen in Gütern mit langen Lebensdauern, wie zum Beispiel Verkehrsinfrastruktur und Fahrzeuge, entsteht ein großer Kostenanteil erst im Laufe der Nutzung, wodurch eine ausschließliche Betrachtung der Anschaffungskosten keine schlüssige Aussage über den wirtschaftlichen Vorteil einer Alternative zulässt. Ein anschauliches Beispiel ist die Anschaffung eines

Kraftfahrzeuges (Kfz), die neben der Aufbringung des Kaufpreises weitere einmalige sowie regelmäßige oder verbrauchsabhängige Kosten verursacht: Versicherung, Reparaturen, Treibstoff sind Beispiele dafür.

Die Total-Cost-of-Ownership (TCO) und die Life-Cycle-Costing-Analyse (LCC-A) sind Methoden zur Abschätzung anfallender Kosten über den gesamten Lebenszyklus des Produkts oder des betrachteten Systems. Die TCO und LCC-A dienen bereits im Vorfeld einer Investitionsentscheidung der Identifikation der Hauptkostentreiber und versteckter Kosten. Indem beispielsweise der Anteil der Betriebskosten an den Gesamtkosten ermittelt wird, kann das Risiko einer Investitionsentscheidung reduziert werden. Die beiden Methoden werden in der Praxis branchenspezifisch angewendet: Zur Berechnung von Lebenszykluskosten von Kfz wird häufig die TCO angewendet, im Eisenbahnsektor kommt dagegen häufig die LCC-A zum Einsatz. Zum zielführenden Einsatz der Methoden sind realitätsgetreue und marktkonforme Referenzwerte notwendig.

Die Schnittmenge beider Methoden ist sehr groß, deshalb wird anhand Tabelle 3 eine Abgrenzung der Charakteristiken und Anwendungsgebiete der Methoden durchgeführt, die in den nachfolgenden Abschnitten überblicksartig beschrieben werden.

Tabelle 3: Vergleich von TCO und LCC-A (Quelle: Eigene Darstellung)

Ausprägung	TCO Total-Cost-of-Ownership	LCC-A Life-Cycle-Costing-Analysis
Anwendungsgebiet	Anschaffung, Betrieb und Veräußerung/ Entsorgung geringwertiger Produkte und Dienstleistungen, insb. Verbrauchsgüter und Lieferantenvergleich	Anschaffung, Betrieb und Veräußerung/ Entsorgung größerer Investitionsgüter
Einbezug von Transaktionskosten*	Ja, denn diese machen bei geringwertigen und häufiger beschafften Gütern einen größeren Anteil an den Gesamtkosten aus. Außerdem wird so die Identifikation von Hauptkostentreibern und versteckten Kosten ermöglicht, zu den auch die Transaktionskosten gehören können.	Nein, dadurch stehen Anschaffungs-, Betriebs- und Entsorgungskosten im Fokus. Transaktionskosten sind hier von untergeordneter Bedeutung, da die Betriebs- und Anschaffungskosten um ein Vielfaches höher sind
Bezugsgröße	Wiederkehrende Kaufentscheidungen	Einmalige oder gelegentliche Kaufentscheidungen
Erfassung von Kosten	Direkte und indirekte Kosten	Direkte Kosten
Perspektive der Erfassung von Kosten	Kostenerfassung aus Sicht von Nutzern bzw. Betreibern (Wirtschaftliche Lebensdauer im Betrieb)	Erfassung sämtlicher Kosten über den Produktlebenszyklus (physische Lebensdauer des Produkts) entweder aus Sicht der Entwickler/Hersteller oder aus Sicht der Betreiber

***Transaktionskosten** beschreiben sämtliche Kosten, die im Zusammenhang mit einem Geschäftsabschluss entstehen. Dazu zählen Such-, Anbahnungs-, Informations-, Zurechnungs-, Verhandlungs-, Entscheidungs-, Vereinbarungs-, Abwicklungs-, Absicherungs-, Durchsetzungs-, Kontroll-, Anpassungs- und Beendigungskosten. Beispiele für Transaktionskosten sind Kosten für Akquisen und die Geschäftspartnergewinnung sowie die für Vertragsformulierungen und Qualitätskontrollen anfallende Arbeitszeit.

7.2.2. Total-Cost-of-Ownership (TCO)

Motivation/Ziel

Die TCO wurde 1987 im Auftrag von Microsoft entwickelt, um Kosten von IT-Gütern, wie Software und Hardware, abzuschätzen.

Vorgehensweise

Transaktionskosten werden in vielen Kostenrechnungen als „Eh-da-Kosten“ behandelt, es wird also davon ausgegangen, dass diese Kosten kurzfristig nicht beeinflusst werden können, zum Beispiel Personalkosten für festangestellte Mitarbeiter. Beispiele für Transaktionskosten sind die Kosten für den Personaleinsatz zur Gewinnung von Geschäftspartnern sowie zur Vereinbarung und Abwicklung von Verträgen. In der TCO werden – im Gegensatz zur LCC-A – anteilige Transaktionskosten in die Kosten der Anschaffung mit einbezogen. Bei entsprechendem Controlling können versteckte Kosten für Güter mit unverhältnismäßig hohen Transaktionskosten (beispielsweise mit zeitintensiven Vertragsverhandlungen) identifiziert werden. TCO-Modelle finden in der Praxis zur Bewertung von Lieferanten für wiederholt zu beschaffende Wirtschaftsgüter Anwendung, da dort die Transaktionskosten eine im Vergleich zu Investitionsprojekten größere Bedeutung an den Gesamtkosten haben.

Transaktionskosten stellen ebenso wie Betriebs- und Instandhaltungskosten direkte Kosten dar. Eine Grundlage der TCO ist die Unterscheidung zwischen direkten und indirekten Kosten. Indirekte Kosten entstehen nicht aufgrund der Anschaffung von Investitionsgütern, sondern infolge unproduktiver Nutzung durch den betrieblichen Nutzer. Beispiele dafür sind Kosten, die durch unzureichende Kenntnisse der Mitarbeiter (Opportunitätskosten durch Produktivitätsverluste oder entgangenem Umsatz durch Neueinführung eines Systems) oder unzureichende Verfügbarkeit von IT-Services (Down-Time während einer Systemumstellung) entstehen.

Beispiel: TCO anhand der Anschaffung von Pkw und Lkw

Wenn eine Firma oder Privatperson eine Entscheidung über den Erwerb eines Fahrzeugs für ihre Firmenflotte treffen möchte, so ist TCO ein ausschlaggebendes Kriterium für deren Entscheidung. Es stehen deshalb eine Vielzahl von TCO-Kalkulatoren für Fahrzeuge zur Verfügung (zum Beispiel ADAC Autokostenrechner). Dabei liegt der Fokus auf Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren, da diese den Markt bis heute dominieren.

TCO Kalkulationen für Fahrzeuge mit alternativen Antriebssträngen wie Brennstoffzellen-, Hybrid- oder reinen Elektrofahrzeugen, sind jedoch kaum vorhanden. Der spezielle Fokus beim DLR hinsichtlich TCO von Fahrzeugen liegt deshalb auf alternativen Fahrzeugkonzepten. Wegen oftmals fehlender Markt- bzw. Erfahrungswerte – beispielsweise zu Wiederverkaufswerten oder Wartungskosten – müssen diese modelliert oder hergeleitet werden. Bei den DLR-Aktivitäten stehen deshalb die Verbesserung der Datengrundlage, sowie Verfügbarmachung der Kalkulatoren im Vordergrund. Ein Beispiel für Letztgenanntes ist der Aufbau eines Bottom-up TCO-Rechners für Pkw und Lkw, der seit Anfang 2020 als Webtool zur Verfügung steht (<https://dsm.vector21.de/car2.html>) und vom DLR im Rahmen des EU-Projekts proEME (www.pro-eme.eu) mitentwickelt wurde. Fokus ist die Gegenüberstellung von TCO von elektrischen und vergleichbaren konventionellen Fahrzeugen. Ein Beispiel für die TCO Analyse eines Pkw findet sich in Abbildung 10.



Abbildung 10: Beispiel-TCO für die Anschaffung eines Pkw

TCO gilt als wichtiges Kriterium beim Fahrzeugkauf. Marktpotentiale von zukünftigen Technologien können deshalb anhand ihrer TCO abgeschätzt werden. Dies macht sich das DLR-Fahrzeugmarktmodell VECTOR21 zunutze, mit dem vor allem die Entwicklung zukünftiger Marktanteile von Fahrzeugen mit alternativen Antriebskonzepten, sowie deren Folgeeffekte auf CO₂ Emissionen und Energieverbrauch, untersucht wird (zum Beispiel Mock, 2010; Kleiner, 2020).

Literatur

- Stefanie Krämer: Total Cost of Ownership: Konzept, Anwendung und Bedeutung im Beschaffungsmanagement deutscher Industrieunternehmen, 2012
- Klaus Geißdörfer: Total Cost of Ownership (TCO) und Life Cycle Costing (LCC): Einsatz und Modelle: Ein Vergleich zwischen Deutschland und USA, 2009
- Redelbach Martin, Propfe Bernd und Friedrich Horst E.: Competitive Cost Analysis of Alternative Powertrain Technologies. In: Conference Programme IAMF 2012. International Advanced Mobility Forum 2012 (IAMF), 07.-08. Mrz. 2012, Genf, Schweiz.
- ProEme Deliverable Task 2.5 – Development of an electric vehicle decision-support model, 2020

7.2.3. Life-Cycle-Costing-Analysis (LCCA)

Motivation/Ziel

Die LCC-A (Life-Cycle-Costing-Analyse) findet insbesondere bei Gütern mit langer Lebensdauer Anwendung. Die Kosten, die während der Betriebsphase entstehen (sowohl laufende Kosten als auch Reinvestitionen), fallen über die Lebensdauer betrachtet oftmals höher aus als die Kosten für Entwicklung, Herstellung, Einbau oder Erwerb (Abbildung 11). Bei komplexen und langlebigen Gütern ist zu berücksichtigen, dass bei diesen Gütern frühzeitig über Design-Parameter zu entscheiden ist (Festlegung der Kosten), die dann jeweils unterschiedliche Folgekosten (Anfall der Kosten) nach sich ziehen. Die Beeinflussbarkeit der Kosten sinkt dann im Zeitverlauf. Eine Abwandlung der klassischen LCC-Analyse, die eine ökonomische Bewertung ermöglicht, besteht in der Methode Life-Cycle-Assessment (LCA), die auch ökologische Aspekte mitberücksichtigt.

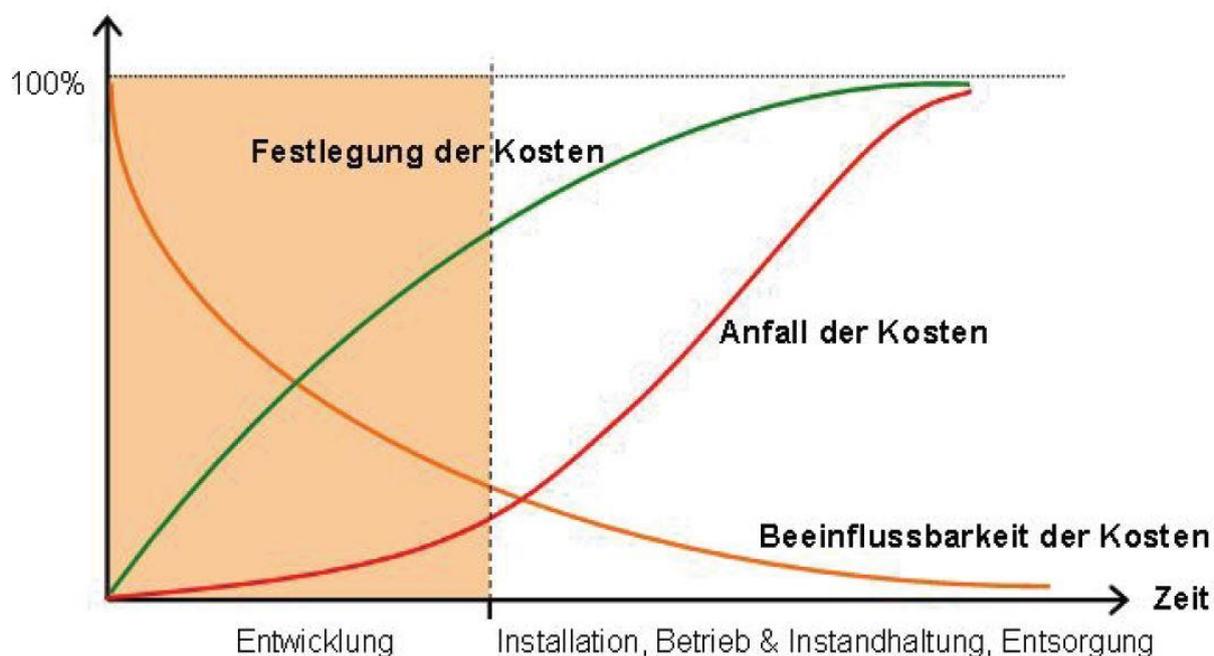


Abbildung 11: Festlegung vs. Entstehung der Kosten im Zeitverlauf bei Gütern mit langer Lebensdauer nach Schild (2005)

Vorgehensweise

Das LCC-Modell sollte auf die Fragestellung ausgerichtet und nachvollziehbar sein und kann daher sehr unterschiedlich aufgebaut sein. Deshalb ist eine detaillierte Dokumentation von Annahmen, Beschränkungen und Rahmenbedingungen notwendig. Im Rahmen der LCC-A werden anfallende Kosten in ihre einzelnen Kostenelemente und in Lebenszyklusphasen, in denen sie anfallen, zerlegt. Zur Ermittlung dieser einzelnen Kostenelemente in den verschiedenen Zeitintervallen können verschiedene Kostenschätzungsmethoden herangezogen werden. Die Abbildung 12 zeigt beispielhaft die Lebenszyklusphasen eines Produkts. Die Abbildung 13 darunter stellt ein Konzept für die Kostenelemente dar.

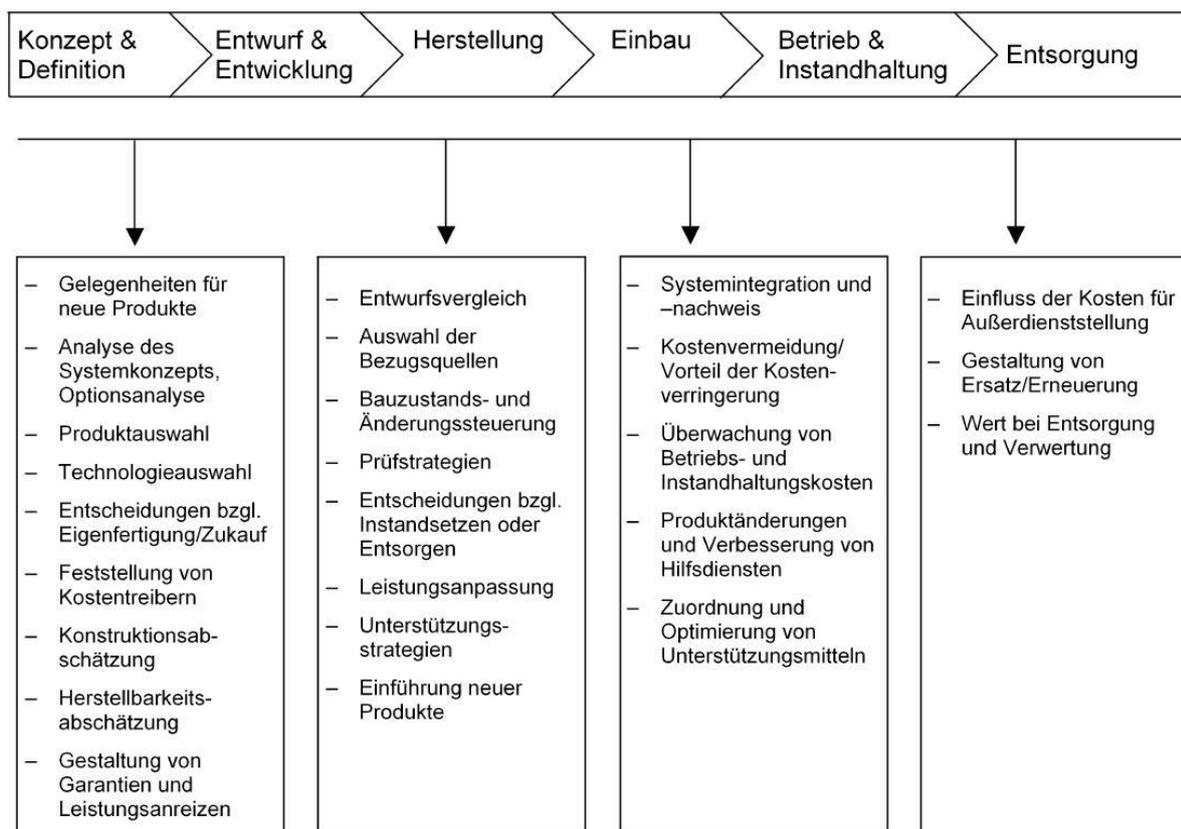


Abbildung 12: Lebenszyklusphasen eines Produkts nach DIN EN 60300-3-3

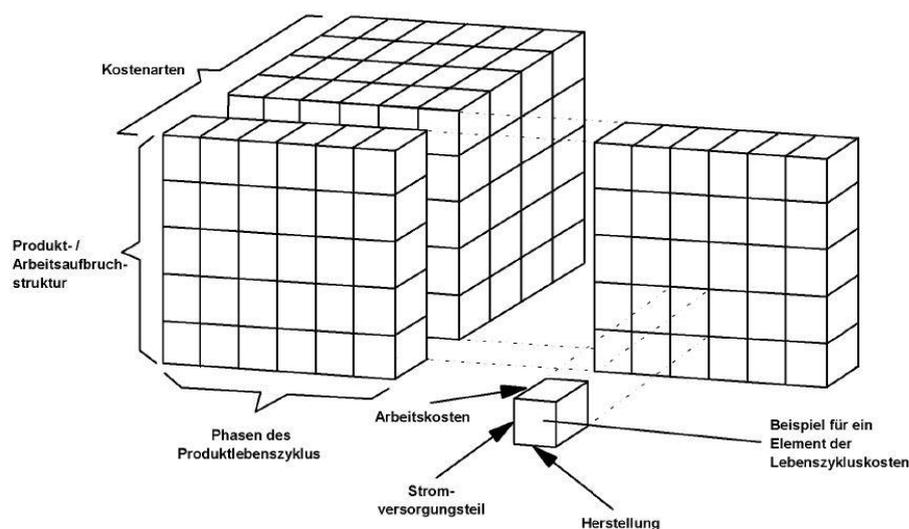


Abbildung 13: Konzept für Kostenarten nach DIN EN 60300-3-3

Für eine Betrachtung der Kosten von Bahninfrastruktur, insbesondere der Leit- und Sicherungstechnik (LST) wird die LCC-A oftmals aus Betreibersicht verwendet. Abbildung 14 zeigt hierfür beispielhaft eine Struktur der Lebenszykluskosten:

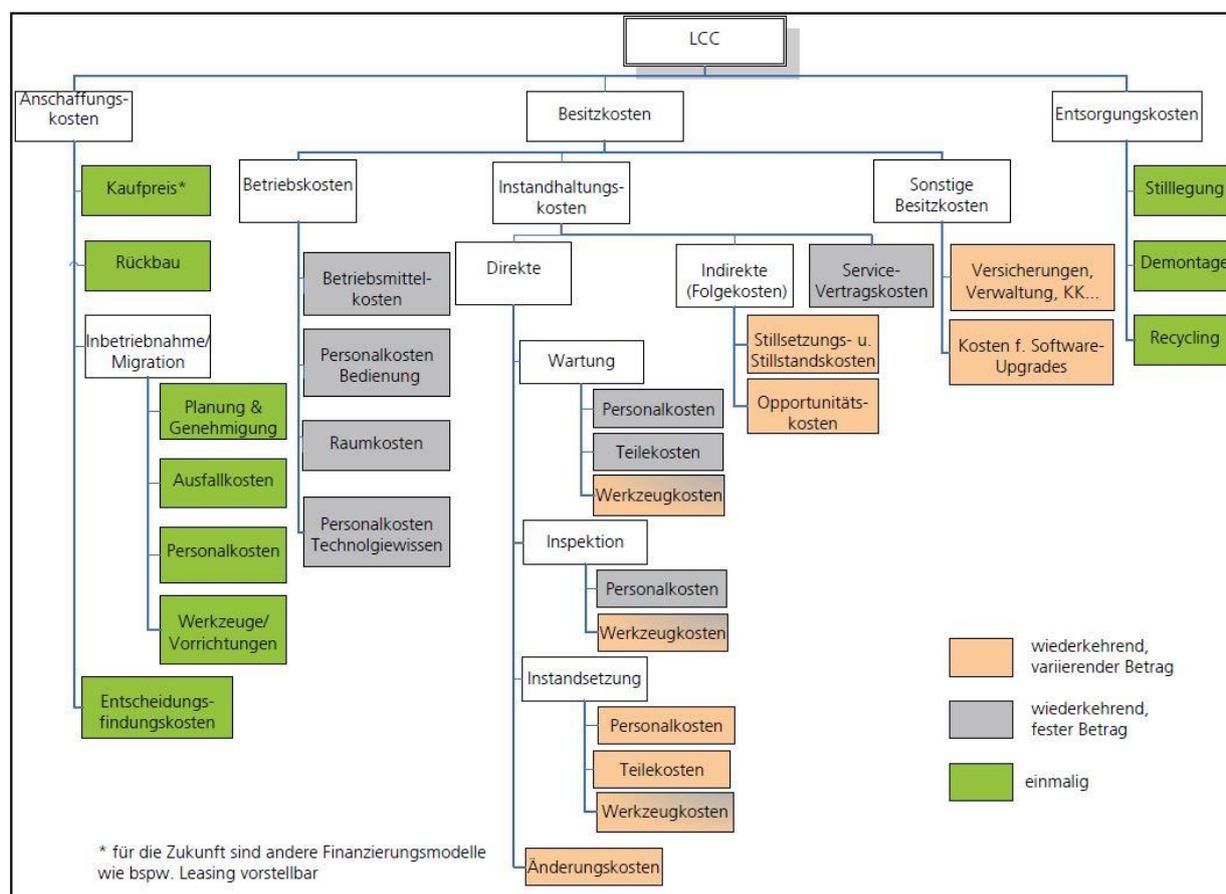


Abbildung 14: Strukturierung der LCC nach Lebenszyklusphasen und Kostenarten von Bahnsicherungstechnik aus Betreibersicht, nach Gutsche (2010)

Literatur

- Es existieren diverse Normen bezüglich LCC-Analysen zum Beispiel DIN EN 60300-3-3:2014, VDI 2884:2005, VDMA 34160:2006 oder DIN EN 50126:1999
- Höhne (2009): Life Cycle Costing – Systematisierung bestehender Studien. Diplomarbeit. TU Dresden.
- Gutsche (2010): Integrierte Bewertung von Investitions- und Instandhaltungsstrategien für die Bahnsicherungstechnik. Dissertationsschrift. TU Braunschweig
- Schild (2005): Lebenszyklusrechnung und lebenszyklusbezogenes Zielkostenmanagement. Stellung im internen Rechnungswesen, Rechnungsausgestaltung und modellgestützte Optimierung der intertemporalen Kostenstruktur. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag

7.3. Volkswirtschaftliche Verfahren: Nutzen-Kosten-Analyse (NKA)

7.3.1. Motivation/Ziel und Historie

Die volkswirtschaftliche Nutzen-Kosten-Analyse (NKA) hat zur Aufgabe, die Sinnhaftigkeit von investiven Ausgaben/ Großprojekten der öffentlichen Hand zu beurteilen. Es geht um Vorhaben, die einen langen Wirkungszeitraum besitzen.

Die Eigenschaften aller NKA sind wie folgt:

- Die Bewertung wird auf einer monetären Skala durchgeführt.
- Die monetären Werte basieren auf aufgedeckten oder ausgesprochenen Präferenzen oder angenommenen gesellschaftlichen Präferenzen.
- Die Indikatoren der Nutzenkriterien basieren auf einem Wohlfahrtskonzept.
- Zum Schluss bekommt der Entscheidungsträger zwei Indikatoren genannt – die aggregierten Nutzen und die aggregierten Kosten. Ist der aggregierte Nutzen höher als die aggregierten Kosten ist das Vorhaben sinnvoll und sollte umgesetzt werden.

Die Ursprünge der NKA gehen auf Jules J. Dupuit (1844) zurück, der in Frankreich den gesamtwirtschaftlichen Nutzen von Straßenprojekten berechnete. Dupuit entwickelte das Konzept der Konsumentenrente (Consumer-Surplus) als ein Maß für die Zahlungsbereitschaft für Infrastrukturverbesserungen bzw. den Nutzenzuwachs durch Infrastrukturverbesserungen. Die Konsumentenrente ist dabei die Differenz aus der Zahlungsbereitschaft des Konsumenten und dem Preis, den der Konsument am Markt für ein Gut zahlen muss. Im Jahr 1936 entwickelte sich eine Variante der NKA im US Flood-Control-Act, dem zufolge der Nutzen eines Projektes durch die Erhöhung der regionalen Produktion gemessen werden sollte. Im Prinzip sind dies die zwei Zugänge zur NKA – der mikroökonomische bzw. wohlfahrtsökonomische Ansatz sowie der makroökonomische Ansatz. Sofern der mikroökonomische Ansatz alle Effekte berücksichtigt und monetarisiert, so sollten beide Ansätze den gleichen Nutzengewinn messen. Aus praktischen Gründen ist dies jedoch häufig nicht möglich, da die mikroökonomische Variante Veränderungen nur auf einzelnen Märkten misst.

7.3.2. Prinzip der Nutzenberechnung

Heutzutage wird meistens die mikroökonomische Variante der NKA verwendet. Beim Standardansatz der NKA wird davon ausgegangen, dass die Veränderung der Konsumentenrente identisch ist mit den aggregierten Veränderungen der Nutzen aller Konsumenten. Diese Identität ist aber nur dann gegeben, wenn eine quasilineare und identische Nutzenfunktion für alle Konsumenten angenommen wird. Unterstellt wird, dass der Nutzen (engl. utility) eines jeden betrachteten Konsumenten linear mit dem verfügbaren Einkommen steigt. Unter dieser Annahme lässt sich Nutzen auch in monetären Einheiten (1 EUR = 1 Nutzeinheit) festlegen. Die Bruttokonsumentenrente ist das Integral unter der inversen Nachfragefunktion. Analog können

auch Veränderungen der Gewinne von Unternehmen durch ein Projekt resultieren. Die Variation der Gewinne ist identisch mit der Veränderung der Erlöse abzüglich der Variation der Ressourcenaufwendungen (Integral unter der Grenzkostenkurve der Produktion). Da die Variation der Erlöse gleichzeitig eine Variation der Zahlungen der Konsumenten an den Produzenten ist, können Nutzenvariationen über alle Unternehmen und alle Konsumenten als die Veränderung der Fläche zwischen einer Nachfragefunktion und der Angebotsfunktion (= Grenzkostenfunktion) gemessen werden (Abbildung 15).

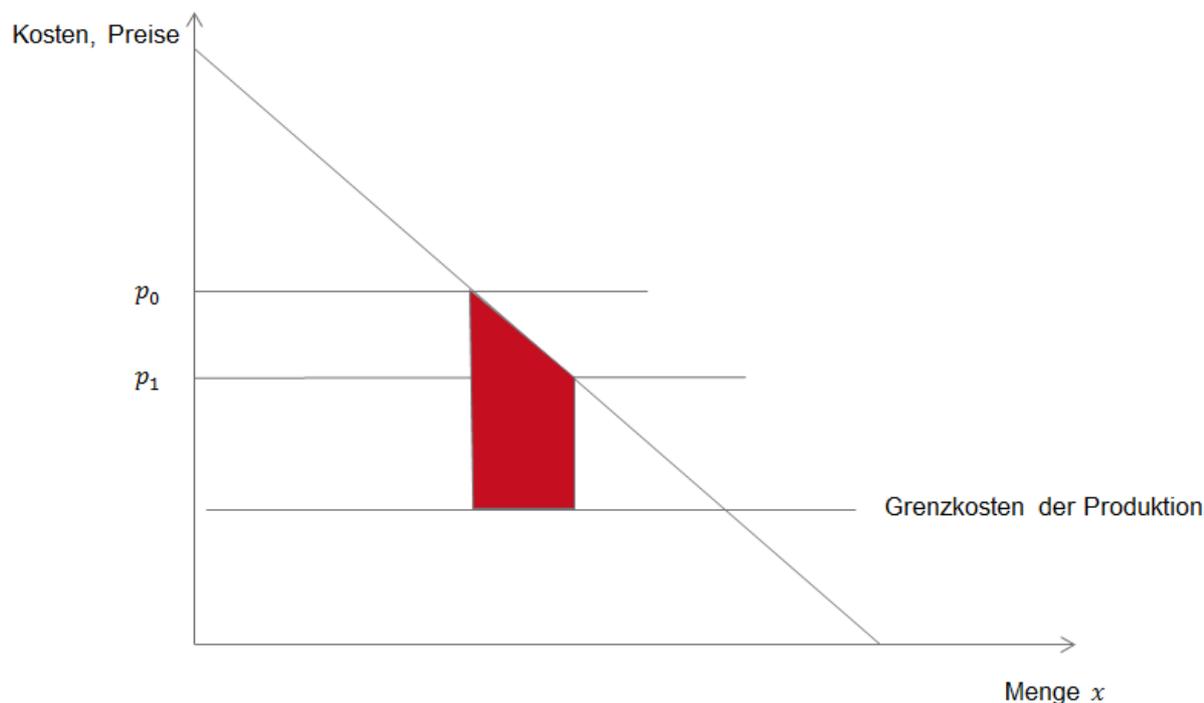


Abbildung 15: Nutzenvariation als Veränderung der Fläche zwischen Nachfrage- und Angebotsfunktion bei Variation des Preises p .

Wenn sich durch eine Maßnahme Effekte auf unterschiedlichen Märkten ergeben (dies bedeutet, dass sich Nachfragefunktionen in verschiedenen Märkten verändern), so ist die Messung von Nutzengewinnen mittels Integralen nicht mehr möglich. Stattdessen kann folgender Ansatz für jeden Markt i verwendet werden:

$$\Delta \text{Wohlfahrt} = \sum_i \frac{p_{i0} + p_{i1}}{2} \Delta x_i - \Delta C$$

Die Variation der Wohlfahrt ist als die Summe der Variationen der Konsumenten- und Produzentenrenten auf den verschiedenen Märkten zu verstehen. Die Summe auf der linken Seite entspricht den durch die sogenannte „Rule of Half“ (mittlere Steigung vor und nach einer

Maßnahme) approximierten Nutzenveränderungen auf dem Markt i , wohingegen die rechte Seite der Veränderung aller Gesamtkosten (ΔC) im System, über alle Märkte hinweg, entspricht.

Die Beschränkungen dieses Konzeptes der Nutzenmessung ergeben sich direkt aus den restriktiven Annahmen des partialökonomischen Modells: Erstens wurde die Annahme getätigt, dass der Grenznutzen eines jeden Konsumenten identisch ist (quasilinearer Nutzen). Dies würde bedeuten, dass ein Millionär durch einen auf der Straße gefundenen Euro den gleichen Nutzengewinn ziehen kann wie ein Arbeitsloser. Zweitens werden in der Regel nur Effekte in solchen Märkten gemessen, die unmittelbar von einer Investition berührt werden. So bringt eine Veränderung einer Infrastruktur zunächst nur eine Veränderung der Verkehrsströme mit sich. Langfristig werden jedoch auch Immobilienmärkte und sogar Arbeitsmärkte beeinflusst. Die Nutzenmessung bleibt in der Regel also immer partial.

7.3.3. Externe Effekte

Während es offensichtlich ist, dass Verbesserungen in der Infrastruktur einen Nutzengewinn für die Nutzer bringen, der die wiederum durch das im vorherigen Abschnitt beschriebene Verfahren monetarisiert werden können, so entstehen in der Regel weitere Effekte gegenüber Dritten – zum Beispiel Anwohnern oder der Umwelt als Gesamtes. Meist handelt es sich dabei um negative Effekte. Wenn ein solcher Effekt die langfristige Effizienz des Wirtschaftssystems beeinflusst und unwillentlich von einem Dritten getragen wird, so spricht man von einem externen Effekt. Solche Effekte sind – sowohl nach der makroökonomischen als auch wohlfahrtsökonomischen Variante der NKA als negative Nutzen (Kosten) zu berücksichtigen. Da für externe Effekte normalerweise kein Markt vorliegt, können diese in der Regel auch nicht mit der Standardnutzenmessung aus Nachfragefunktionen (vgl. vorheriges Kapitel 7.3.2) bewertet werden.

7.3.4. Ansätze zur Monetisierung nicht monetärer Einheiten

Zur korrekten Bewertung eines Projektes ist es notwendig, dass alle Auswirkungen desselben berücksichtigt werden. Dies kann sowohl bei externen Effekten der Fall sein oder bei Effekten die in einer der Monetisierung nicht zugänglichen Skala gemessen werden. Allerdings ist selten eine direkte Vergleichbarkeit unterschiedlicher Auswirkungen gegeben, da diese in unterschiedlichen Einheiten gemessen werden. Aus diesem Grunde erfordert die NKA, dass nicht in monetären Einheiten messbare Auswirkungen (zum Beispiel Veränderungen der Fahrzeit, Zuverlässigkeit, Verkehrssicherheit etc.) in monetäre Einheiten umgerechnet werden. Dafür werden in der Regel Preisäquivalente herangezogen, das heißt die Anzahl an monetären Einheiten, die der analysierten nicht monetären Einheit aus Sicht des Entscheidungsträgers gleichkommen. Handelt es sich um öffentliche Investitionsprojekte, sollten die Preisäquivalente dem Wert entsprechen, den die Gesellschaft einer bestimmten Entwicklung beimisst. Je nachdem, ob die Auswirkung des Projektes positiver (zum Beispiel Fahrzeiterparnisse, Erhöhung der Verkehrssicherheit etc.) oder negativer

Natur ist, ergibt sich dadurch ein monetärer Nutzen bzw. Kosten, die dem Projekt in der Bewertung zuzurechnen sind.

Zur Berechnung der oben erwähnten Preisäquivalente können unterschiedliche Methoden herangezogen werden. Diese unterscheiden sich in ihren Fundamenten bzw. dem ökonomischen Phänomen, welches zur Darstellung des Zielkonfliktes (Trade-off) abgebildet wird. Daher führen sie in der Regel zu unterschiedlichen Ergebnissen.

Es lassen sich drei große Familien von Methoden unterscheiden: die Schadenkostenansätze, die Vermeidungskostenansätze und die Zahlungsbereitschaftsmethoden.

▪ **Schadenkostenansätze**

Das Ziel der Schadenkostenansätze ist es mittels geeigneter Annahmen und Vorgehensweisen, die Schäden, die bei Dritten hervorgerufen werden, mit einer monetären Einheit zu belegen. Hierfür bieten sich verschiedene Ansätze an. Diese Ansätze zielen darauf ab, die tatsächlichen Kosten für Effekte abzubilden, die zunächst in physikalischen und chemischen Maßen quantifiziert werden (Lärmpegel [DBA], Luftschadstoffkonzentration [mg/m^3], Auslastungsgrad [belegte Sitzplätze/Sitzplatzkapazität], Reisezeit [Stunden]). Ziel ist es in erster Linie, die den Schaden für die in der Bewertung berücksichtigten Betroffenen eines Projektes in monetärer Form zu erfassen.

Im Folgenden werden einige Ansätze vorgestellt, die ein größtmögliches Maß an Objektivität, Transparenz und Operationalisierbarkeit anstreben. Diese Ansätze unterscheiden sich in ihren zugrundeliegenden Annahmen. Als größter Kritikpunkt gilt, dass der Ansatz einem ausschließlich wirtschaftlichen Utilitarismus folgt. Somit ist es fraglich (insbesondere in der Begutachtung von öffentlichen Projekten), ob die damit festgelegten Monetarisierungssätze den Präferenzen der Gesellschaft entsprechen.

Standardkostenansätze: Mittels Standardkostenansätzen wird versucht, die entstehenden Schäden aufgrund von Standardwerten zu beziffern. Um zu diesen Standardwerten zu gelangen werden diese Standardwerte der Schäden stichprobenartig erfasst. Zum Beispiel könnte man die Schäden durch Lärm oder Umweltverschmutzung über dadurch notwendige Krankenhausaufenthalte oder Arbeitsausfall beziffern. Auch Unfallschäden können durch die Kosten von Krankenhaushalten und REHA-Maßnahmen monetarisiert werden. Da Einerseits viele Wirkungsketten zum Zeitpunkt der Analyse nicht bekannt sind, führt dieser Ansatz häufig zu einer Unterschätzung der tatsächlichen Umweltkosten. Andererseits gibt es viele Beispiele dafür, dass Einheitsschadenkostensätze zu hoch ausfallen, da in der zugrundeliegenden Analytik Schäden nur durch einen bestimmten erklärt werden und andere Faktoren ausgeblendet worden sind (fehlende Kontrollvariablen).

Humankapitalansatz: Dieser Ansatz wird in der Bewertung von Sicherheits- oder Gesundheitsmaßnahmen verwendet und dient der Monetisierung des statistischen Wertes

des menschlichen Lebens. Dabei wird angenommen, dass der Wert eines Individuums dem Beitrag entspricht, den dieses für die Volkswirtschaft bis zu seinem Tode erwirtschaften kann. Somit ermöglicht auch dieser Ansatz, die Ressourcen zu quantifizieren, die aufgrund eines Unfalls (oder auch Verspätungen) ausfallen. Die größte Kritik gegenüber dem Humankapitalansatz ist ihre pure utilitaristische Natur, die offensichtlich nicht den Präferenzen der Population entspricht (so ist zum Beispiel dem Ansatz nach der Wert des Lebens eines Rentners negativ aufgrund des Konsums). Um zu vermeiden, dass bestimmte Bevölkerungsgruppen dadurch benachteiligt werden, wird in der Praxis ein Mittelwert über die gesamte Population verwendet. Diese Werte können auch zur Bewertung der Zeit herangezogen werden.

Die in Deutschland offiziell gültigen Sätze zur Monetisierung des Wertes des menschlichen Lebens basieren auf einer auf Basis des Humankapitalansatzes abgeleiteten und erweiterten Methode (allerdings wird derzeit evaluiert, die Bewertung mit Monetisierungssätzen zu ergänzen, die auf Basis von Zahlungsbereitschaften ermittelt werden).

▪ **Vermeidungskostenansätze**

Diese Ansätze beruhen auf den Kosten, die entstehen würden, um das Auftreten eines bestimmten Schadens zu vermeiden bzw. um diesen zu kompensieren. Ziel ist somit, dass die Implementierung eines Projektes nicht dazu führt, dass der Wohlstand der Gesamtbevölkerung sich dem objektiven Preis nach verringert. Allerdings beruhen die Vermeidungskostenansätze ähnlich wie die Schadenkostenansätze lediglich auf Marktpreisen und so gelten grundsätzlich die gleichen Einschränkungen wie bei den Schadenkostenansätzen. Unter bestimmten Bedingungen der Technologie sind die Kosten, die durch eine zusätzliche Einheit einer Emission entstehen (Schadenkostenansatz) identisch mit den Kosten, die ein Individuum investieren muss, um die Emissionen um eine Einheit zu senken (Vermeidungskostenansatz). Der Vermeidungskostenansatz wird auch häufig aus praktikablen Gründen benutzt, weil die Vermeidungskosten in manchen Fällen einfacher zu beziffern sind als die Schadenkosten. Es ist jedoch nicht sichergestellt, dass die Vermeidungskosten die Präferenzen der Population widerspiegeln.

▪ **Zahlungsbereitschaftsmethoden**

Hier wird mit Methoden aus der Marktforschung versucht, den Geldbetrag zu bestimmen, den ein Individuum gerade bereit ist zu zahlen, um die Exposition für ein bestimmtes Risiko um eine Geldeinheit zu senken (Grenzkostenansatz). Es ist dabei zu berücksichtigen, dass die gesellschaftlichen Präferenzen sich von den individuellen Präferenzen unterscheiden können, da die Mittelwerte aus individuellen Zahlungsbereitschaften nicht identisch sind mit den gesellschaftlichen Zahlungsbereitschaften.

Hedonische Preisbildung: Der älteste und meistverbreitete Ansatz zur Ermittlung von Zahlungsbereitschaften ist die hedonische Preisbildung. Diese Methode basiert auf

beobachteten Marktdaten (offenbarte Präferenzen). Dabei werden unterschiedliche Güter im Sinne der Eigenschaften und Charakteristiken dargelegt, die den Charakter des Gutes ausmachen. Ziel ist es, den Anteil des Marktpreises, der auf die unterschiedlichen Eigenschaften des Gutes zurückzuführen ist, zu bewerten.

In der Praxis wird der systematische Zusammenhang zwischen einem Marktpreis und der Ausprägung des Schadensindikators (zum Beispiel dbA) mittels einer ökonometrischen Regression bestimmt. Für die Ermittlung der Monetisierungssätze wird der Trade-off zwischen dem betrachteten Schadensindikator und eines monetären Attributes (normalerweise des Preises) herangezogen. Die Methode erweist sich als sehr solide, insbesondere, weil es auf Marktdaten beruht. Jedoch ist deren Anwendung nicht immer möglich, sei es weil es keine passenden Güter gibt, die die Bewertung eines bestimmten Phänomens ermöglichen (zum Beispiel Zuverlässigkeit der Fahrzeit), oder weil die Preise der Güter nicht durch den Markt gegeben sind (zum Beispiel Wohnungsmarkt in Deutschland in Anwesenheit regulatorischer Einflüsse).

Discrete-Choice-Methoden (stated als auch revealed choices): Die Discrete-Choice-Methoden bestimmen die Präferenzen von Individuen auf Basis von getätigten (revealed Preferences) oder hypothetischen (stated preference) Entscheidungen. Es wird analysiert, wie ein Individuum sich für eine Alternative innerhalb eines bekannten Choice-Sets entscheidet. Dafür werden alle Alternativen im Choice-Set mit einer Nutzenfunktion assoziiert, die wiederum durch eine Kombination der Attribute der Alternative gegeben ist. Es wird angenommen, dass das Individuum sich für die Alternative entscheidet, die den eigenen Nutzen maximiert. Wenn sowohl der Preis des Produktes als auch die betrachtete Schadensgröße Teil der Nutzenfunktion sind, so ist es möglich, den Trade-Off zwischen der Schadensgröße und einer monetären Größe zu ermitteln.

Diese Methode wird häufig dafür benutzt, die weiteren Attribute von Verkehrsmitteln zusätzlich zum Preis zu bewerten, zum Beispiel Fahrzeit, Komfort Flexibilität.

Kontingente Bewertungsmethode: Hier werden Individuen direkt nach ihrer Zahlungsbereitschaft gefragt. Die Methode ist einfach und unkompliziert. Sie weist aber als größten Nachteil auf, dass eine solche Fragestellung nicht dem normalen (Markt-) Verhalten der Individuen entspricht. Somit werden die Befragten mit der Fragestellung überfordert und die erfassten Daten verlieren an Verlässlichkeit. Untersuchungen zeigen, dass selbst bei der Feststellung der Existenz einer gewissen Zahlungsbereitschaft, die Bestimmung ihrer Größenordnung aufgrund von Framing und der Abhängigkeit von der Fragestellung nicht zuverlässig möglich ist. Dazu ist die Methode aufgrund ihrer transparenten Natur anfällig für Verzerrungen wie zum Beispiel Ankeralgorithmen oder strategische Antworten.

Alternative Ansätze: In jüngster Zeit werden neue Methoden zur Ermittlung der Zahlungsbereitschaft angewandt. Neben der Standardlotteriemethode und der Risiko-Risiko Analyse (die bis jetzt wenig Anwendung im Verkehrsbereich gefunden haben) werden vermehrt Methoden, die auf Wohlstands- bzw. Happiness-Indikatoren beruhen angewandt. Allerdings ist das theoretische Fundament dieser Methoden fragwürdig und die empirische Evidenz nicht ausreichend.

7.3.5. Entscheidungskriterium

Im Ergebnis der Nutzen- und Kostenmessung steht die Variation von drei Arten von Kosten- bzw. Nutzenblöcken im Vergleich zum Basis-Fall (nicht Realisierung eines Projektes oder mehrerer zur Entscheidung anstehender Projekte):

- (i) Der Nutzen als die Summe über alle positiven Veränderungen der Konsumenten- bzw. Produzentenrenten: N
- (ii) Die Kosten als die Summe über alle negativen Veränderungen der Konsumenten- bzw. Produzentenrenten: K
- (iii) Oftmals die Investitionsausgaben für das Projekt als einmalig anfallende Kosten, wobei manchmal auch die zukünftigen Betriebskosten und Erhaltungsaufwände den Investitionsausgaben zugerechnet werden: I

Je nach Ziel der NKA werden zwei Entscheidungskriterien benutzt. Geht es darum, ob ein Projekt realisiert werden soll oder nicht, so lautet das Entscheidungskriterium:

$$NKA_{Differenz} = N - K - I$$

Das Projekt soll durchgeführt werden, sobald gilt: $NKA_{Differenz} > 0$. Im Falle mehrerer zur Realisierung anstehender Projekte bei einem beschränkten Investitionsbudget wird folgendes Kriterium benutzt:

$$NKA_{Koeffizient} = (N - K)/I$$

Die Projekte werden dann gemäß absteigendem $NKA_{Koeffizient}$ sortiert. Aus dieser Liste wählt man solange die bestplatzierten Projekte aus, bis durch sie das Investitionsvolumen ausgeschöpft worden ist. Projekte, bei denen $NKA_{Koeffizient} < 1$ gilt, sollen nicht realisiert werden (gleiche Bedingung wie bei $NKA_{Differenz}$ für Realisierungsentscheidungen).

7.3.6. Restriktionen und Erweiterungen

Die erfolgreiche Anwendung der Methoden der NKA ist mit einer Reihe von Restriktionen verbunden; ebenso existieren Erweiterungen.

Intertemporalität:

In der Regel fallen Nutzen und Kosten in verschiedenen Zeiträumen in der Zukunft an. Es ist deshalb erforderlich, Nutzen aus der Zukunft mit heutigem Nutzen (das gleiche gilt für Kosten) vergleichbar zu machen. Zu diesem Zweck wird wie folgt abgezinst:

$$N = \sum_{t=T}^{Tmax} \frac{N_t}{(1+z)^{(t-T)}} \text{ bzw. } K = \sum_{t=T}^{Tmax} \frac{K_t}{(1+z)^{(t-T)}}$$

Zur Festlegung des Zinssatzes z bei einer volkswirtschaftlichen Nutzen-Kosten-Analyse gibt es verschiedene Optionen (in Erweiterung und Ausdifferenzierung zum Kapitel 7.1):

- Intertemporale Präferenzen: Hierbei wird analysiert, wieviel ein Konsument bereit ist mehr für ein Produkt zu zahlen, wenn er es bereits heute im Vergleich zu einer Zukunftsperiode konsumieren kann. Die intertemporalen Präferenzen lassen sich auf der Ebene von Individuen oder auf einer gesellschaftlichen Ebene auf Basis gefällter Entscheidungen treffen.
- Opportunitätskosten des Kapitals: Hierbei wird analysiert, welcher Nutzen einer Gesellschaft verloren geht, wenn eine Investition in einem anderen Sektor aufgrund der analysierten Entscheidung in einer NKA nicht getätigt werden kann. Diese Messung durchzuführen ist in der Praxis als schwierig einzustufen.
- Finanzierungskosten: Oft werden in einer NKA die zinslosen Renditen öffentlicher Anleihen als Proxy-Größe für die Opportunitätskosten des Kapitals oder der intertemporalen Präferenzen herangezogen. Dies basiert jedoch auf der Annahme, dass die Geldmärkte im Gleichgewicht sind und politische Investitionen stets einem langfristigen Optimierungskalkül folgen.
- Festlegung des Zinssatzes aufgrund anderer ähnlicher Märkte: Häufig sind die Rendite bestimmter öffentlicher Unternehmen und regulierter Unternehmen exogen fixiert (zum Beispiel Rendite der Flugsicherung oder von Energienetzbetreibern). Diese Zinssätze beinhalten bereits Risikobestandteile und können für die Investitionsrechnung bei verwandten Aktivitäten herangezogen werden (zum Beispiel Anwendung des Zinssatzes der DB Netz AG für die Bundesfernstraßen). So lassen sich Marktverzerrungen durch unterschiedliche Bewertungsgrundlagen und daraus folgenden Investitionsentscheidungen minimieren.

In der Regel erfolgt die Festlegung des Zinses exogen, das heißt dies ist – außer der Wahl der NKA als Entscheidungsmethode selbst – eine wichtige Annahme und bedeutet eine Setzung.

Beispielsweise wurde in den letzten 30 Jahren in den NKA für den Bundesverkehrswegeplan (BVWP) mit einem Diskontierungssatz von 3 % gerechnet; im aktuellen BVWP 2030 wird ein Zinssatz von 1,7 % angenommen.

Distributive Glättung:

Die Wahl der Konsumentenrente bzw. ihrer Variation als Nutzenmaß beruht auf einer Annahme, nämlich dass die Variation des Einkommens um eine Einheit für jede betroffene Person eine identische Nutzenvariation zur Folge hat (vgl. partialökonomisches Modell mit quasilinearer Nutzenfunktion, vgl. Kap. 7.3.2). Diese Annahme ist spätestens dann verletzt, wenn in einer Population eine sehr breite Einkommensverteilung vorliegt. Um diese Verzerrung des Nutzens durch das Wohlfahrtsmaß der Konsumentenrente zu mindern, wird in bestimmten NKA eine distributive Glättung wie folgt vorgenommen:

$$\Delta KR = \sum_{\text{Gruppe } g_i} \lambda_i \Delta KR_i,$$

mit $\lambda_i = 1$ für "mittleren Konsumenten", $\lambda_i > 1$ für Arme und $\lambda_i < 1$ für Reiche.

Die Festlegung der Glättungsparameter ist dabei mehr oder weniger willkürlich und benötigt eine Setzung.

Wider-Economic-Benefits:

Schließlich ist das Ergebnis einer NKA davon abhängig, auf welchen Märkten Nutzenveränderungen bestimmt werden. So ist bekannt, dass Verkehrsprojekte langfristig auf folgenden Märkten zu Effekten führen:

- (1) Landnutzung und Wohnungsmarkt – durch Auflösung von Knappheit, da nun auch periphere Grundstücke bebaut werden
- (2) Arbeitsmarkt – durch besseres Matching von Angebot und Nachfrage
- (3) Bildung und Qualifikation – durch Zugang zu Bildungseinrichtungen und gesteigerter Mobilität im Berufsleben

Wenn in diesen anderen Sektoren Marktunvollkommenheiten auftreten wie meritorische Güter (zum Beispiel Bildung), externe Effekte, Abweichung von der vollständigen Konkurrenz, Informationsasymmetrie, dann kann es sein, dass unmittelbar oder langfristig ein Infrastrukturprojekt zu Wohlfahrtseffekten führt, die größer als Null sind. Diese werden dann als Wider-Economic-Benefits bezeichnet, die zu dem unmittelbaren Nutzen des Projektes hinzugerechnet werden sollten.

7.3.7. Anwendungsbeispiel der NKA im Verkehrsbereich

Auf eine detaillierte Darstellung einer NKA-Methode muss an dieser Stelle verzichtet werden, da es sich um eine Vielzahl von Ansätzen handelt, die in verschiedenen Ländern praktiziert werden. Diese unterscheiden sich massiv und deutlich in all den unterschiedlichen Ansätzen und Annahmen, die in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben worden sind.

Im Methodenhandbuch (BMVI, 2016) des Bundesverkehrswegeplans wird ein detailliertes Fallbeispiel zur Nutzen-Kosten-Analyse ab Seite 345 vorgestellt, bei dem zwei Infrastrukturprojekte betrachtet werden. Nach der Bestimmung der Nachfragewirkungen (induzierter Verkehr, verlagerter Verkehr) und der Verkehrsbelastungen werden Veränderungen unterschiedlicher Nutzen- und Kostenkomponenten ermittelt. Darauf aufbauend wird abschließend das Nutzen-Kosten-Verhältnis ermittelt, das zur Entscheidungsfindung herangezogen wird. Aufgrund des beträchtlichen Umfangs dieses Beispiels wird in diesem Falle für den interessierten Leser lediglich darauf referenziert.

Literatur

BMVI (2016): *Methodenhandbuch zum Bundesverkehrswegeplan 2030*, herausgegeben vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Karlsruhe, Berlin, Waldkirch, München, 7. Oktober 2016. FE-Projekt-Nr.: 97.358/2015

8. Anwendungshinweise

Ökonomisch fundierte Bewertungsverfahren dienen zur Entscheidungsfindung indem Abwägungen zwischen unterschiedlichen Zielen realisiert werden. Im institutionellen Kontext ist häufig zu beobachten, dass der Begriff der Bewertung als Modewort für eine Fülle an andersgelagerten Untersuchungen zweckentfremdet wird und somit einem in der Anwendung thematisch übergreifenden und einheitlichen Gebrauch entgegenwirkt. Für eine ökonomisch fundierte Bewertung sind grundsätzlich zwei Aspekte unabdingbar: erstens, der Entscheider und dessen Motivation als Entscheidungssubjekt müssen bekannt sein. Zweitens ist es erforderlich das Entscheidungsobjekt im Sinne der Ziele, die mit der Auswahl einer Handlungsalternative erreicht werden sollen, klar zu definieren. Werden diese Aspekte bei einer ökonomisch fundierten Bewertung nicht berücksichtigt, ist die Gefahr von Fehlspezifikationen hinsichtlich des relevanten Zielsystems und der Abwägung zwischen diesen Zielen omnipräsent und kann zu unerwünschten Ergebnissen führen. In den voranstehenden Kapiteln des Leitfadens wurde die Grundlage gelegt, die Anforderungen an die jeweiligen Verfahren auch für Nicht-Ökonomen zugänglich zu machen.

8.1. Inhaltliche Grenzen der Bewertungsverfahren

Disruptive Technologien: Ökonomisch fundierte Verfahren stoßen in der Regel bei der Bewertung bahnbrechender Innovationen an ihre Grenzen. Solche disruptiven Technologien gehen in der Regel mit einer großen Unsicherheit hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung einher, und Abschätzungen der Auswirkungen und somit deren Bewertungen sind (vor allem im Frühstadium) nahezu unmöglich, dies gilt zum Beispiel für Zahlungsbereitschaften, Angebotskosten oder Marktstrukturen. Oft regulieren sich die unmittelbar Beteiligten bei solchen Technologien zu Beginn selbst und erst bei nachweislich negativen Entwicklungen schreiten externe Entscheidungsträger zur Regulierung des Marktes ein. So kann es bei der Marktdurchdringung bahnbrechender Innovationen relativ schnell und einfach zu Marktkonzentrationen durch Skalen- und Netzwerkeffekte kommen, die jedoch nicht vorherzusagen sind und somit erst später nachjustiert werden sollten. Als Beispiele seien hier der historische Fall der US-amerikanischen Standard Oil Company oder aktueller die Diskussion um Amazon, Google und Facebook hinsichtlich ihrer Marktmacht genannt.

Bewertung und Akzeptanz: Selbst wenn Handlungsalternativen als positiv für den jeweiligen Entscheider bewertet werden, gibt es im Allgemeinen keine Garantie für eine Umsetzung dieser Handlungsoptionen. So können beispielsweise Mitarbeiterproteste innerhalb eines Unternehmens dazu führen, dass ein Projekt nicht umgesetzt wird oder öffentlich geförderte Maßnahmen aufgrund mangelnder Akzeptanz bei den Adressaten wirkungslos verpuffen. Im Güterwirtschaftsverkehr zeigt sich ein solches Verhalten vor allem bei Kooperationslösungen. Trotz positiver Bewertungen setzen sich beispielsweise gemeinsam genutzte Umschlagspunkte im

städtischen Bereich nicht durch. Hierbei spielen vor allem unternehmensstrategische Motive eine Rolle, die außerhalb der Modellhorizonte liegen.

Modellrestriktionen: Das Beispiel zuvor zeigt eine weitere Einschränkung der Bewertungsverfahren im Rahmen der Wirkungsebene auf. Werden Entscheidungen auf Basis der mittels Modellrechnungen erzeugten Ergebnisse durchgeführt, sind die genaue Kenntnis über die Grenzen der Modelle und deren Analysemöglichkeiten unerlässlich und somit eine gewisse Demut gegenüber den Konsequenzen angebracht.

Restriktionen bei den Entscheidern: Werden in den ökonomisch fundierten Bewertungsmethoden die Präferenzen des Entscheiders bestimmt, kann es potenziell dazu kommen, dass diese nicht wahrheitsgetreu in die Entscheidungsfindung eingehen und somit zu einem unerwünschten Ergebnis führen. Hierbei ist einerseits denkbar, dass Inkonsistenzen bei den Präferenzen auftreten und der Entscheider sich über seine Einschätzung selbst nicht im Klaren ist oder andererseits der Entscheider seine subjektiven Befindlichkeiten in die Bewertung einfließen lässt anstatt eine objektiv sinnvolle Abwägung vorzunehmen.

Fristigkeit und Umfang der Auswirkungen: Ist eine genaue Abgrenzung der Wirkungen sowohl im räumlichen als auch im zeitlichen Kontext nicht möglich, stoßen die Bewertungsverfahren grundsätzlich an ihre Grenzen. Bei räumlichen Auswirkungen sei hier vor allem auf die Wider-Economic-Benefits verwiesen, die Veränderungen in anderen wirtschaftlichen Sektoren und auch eine neue räumliche Ansiedlung hervorrufen können. Eine klare Modellgrenze ist nicht oder nur schwer zu ziehen. Im zeitlichen Kontext mangelt es meistens an der langfristigen Betrachtung von Auswirkungen, da sich gesellschaftliche Transformationen und Verhaltensänderungen nicht in der kurzen Frist erzielen lassen und somit erst im Laufe der Zeit ihre Wirkungen entfalten. Beide Aspekte führen in der Regel dazu, dass Nutzen und Schäden unterschätzt werden und somit die Gefahr besteht, suboptimale Entscheidungen zu treffen. Diese beiden Aspekte sind insbesondere relevant für die täglichen Inhalte der Verkehrsforschung im DLR wie neue Verkehrstechnologien und Verkehrsinfrastruktur.

8.2. Einsatzmöglichkeiten der Bewertungsverfahren

Welches Bewertungsverfahren zum Einsatz kommt hängt in unterschiedlichem Maße von verschiedenen Einflussfaktoren ab. Das Zusammenwirken bis hin zur Wahl des Bewertungsverfahrens wird im Folgenden anhand eines **Entscheidungsbaumes** dargestellt (Abbildung 16), der in Kapitel 1 als Übersicht eingeführt (Abbildung 1) und in den unterschiedlichen Kapiteln dieses Leitfadens jeweils um Details ergänzt wurde. Ein wesentlicher Einfluss geht dabei vom Entscheidungsträger (Entscheidungssubjekt) und dem betreffenden Entscheidungsobjekt aus. Das Entscheidungssubjekt hat dabei die Hoheit über die Festlegung des Zielsystems. Dadurch kann es bereits zum Ausschluss bestimmter Bewertungsmethoden kommen. Der Definition des

Zielsystems untergeordnet sind Effekte, die sich aus dem Sachverhalt des Entscheidungsobjektes ergeben und durch das Zielsystem aufgespannt werden. Auch die Berücksichtigung von Rückkopplungen zwischen den Effekten muss bei der Definition der zu beschreibenden Effekte festgelegt werden. Aus den definierten Effekten lassen sich Anforderungen an die Wirkungsmodellierung ableiten. Daraus folgt die Wahl der Modellierungsmethode, wobei im Wesentlichen auf Basis der ökonomischen Dimension und der Abgrenzung der zu betrachtenden Sektoren zwischen einer betriebswirtschaftlichen, mikroökonomischen und makroökonomischen Wirkungsmodellierung unterschieden wird. Die Wirkungsmodellierung ist dabei bestimmten Randbedingungen unterworfen (zum Beispiel räumlichen oder zeitlichen Randbedingungen), die wiederum einen Einfluss auf die dann zu erfolgende Wahl der Bewertungsmethode haben. Der in der Wirkungsmodellierung generierte Output als Zusammenstellung von Indikatoren mit Ausprägungen stellt den Input des Bewertungsverfahrens dar und ist somit bei der Wahl der Bewertungsmethode zu berücksichtigen.

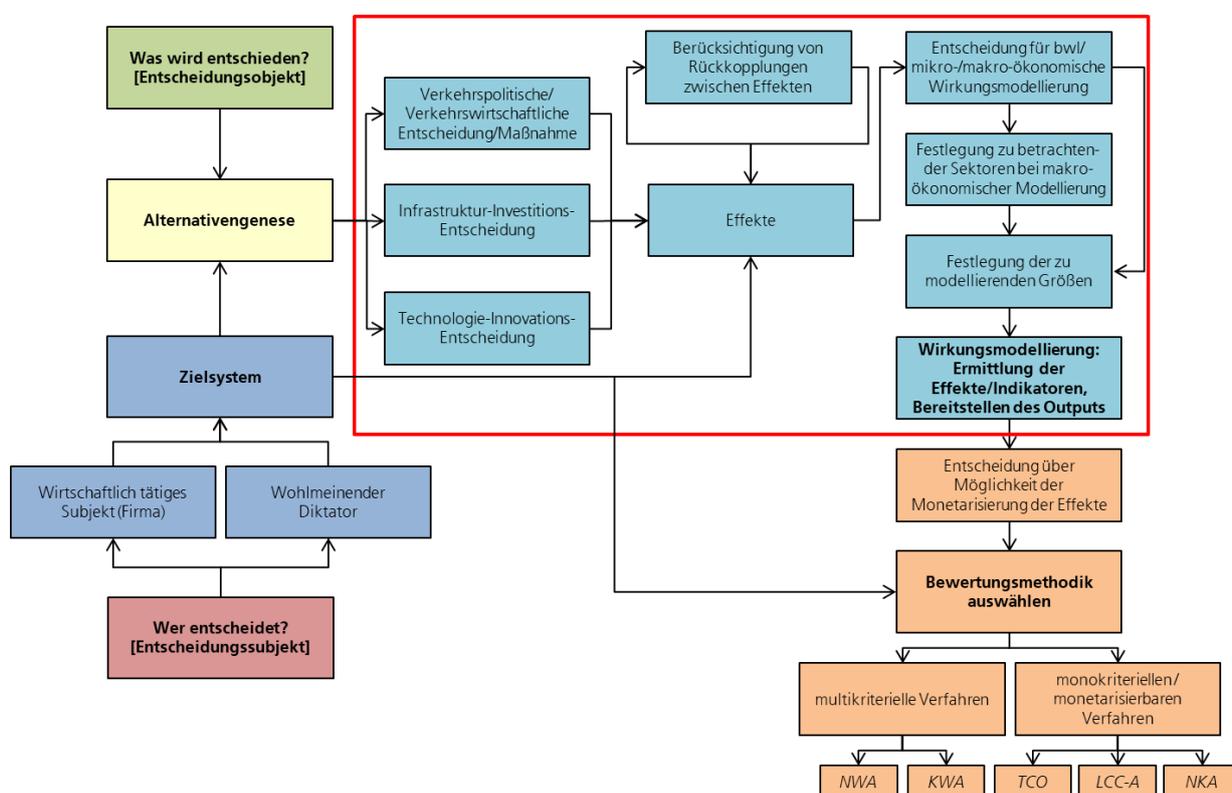


Abbildung 16: Gesamtübersicht des Entscheidungsbaums zur Wahl von Bewertungsverfahren

An unterschiedlichen Stellen kann es aufgrund einzelner Aspekte zum Ausschluss oder der Präferenz einzelner Bewertungsverfahren kommen. Einen wesentlichen Einfluss auf die Wahl des Bewertungsverfahrens hat die Möglichkeit der Monetarisierbarkeit der Auswirkungen der einzelnen Effekte in den jeweiligen Planungsfällen. Ein möglicher Output aus einem erweiterten Entscheidungsbaum ist eine für unterschiedliche, im DLR Kontext relevante Kombinationen von

Entscheidungssubjekt und Entscheidungsobjekt gefüllte **Entscheidungs-Matrix** (Tabelle 4). Den Kombinationen von Entscheidungssubjekt, Entscheidungsobjekt und Bewertungsverfahren wird ein ordinal skaliertes Wert zugewiesen (zum Beispiel: von „--“ bis „++“). Bei den Entscheidern lassen sich zunächst wirtschaftlich tätige Subjekte (zum Beispiel Unternehmen) von der Politik abgrenzen. Innerhalb der politischen Entscheider ist zwischen sektoralen Entscheidern (zum Beispiel verkehrspolitische Entscheider) und einer gesamtpolitischen Perspektive je nach Ausmaß des Entscheidungsobjektes zu unterscheiden. Die Zielsetzung der Entscheider ist unterschiedlich. Entscheidungsobjekte lassen sich im hier betrachteten Kontext zum Beispiel nach Infrastrukturentscheidungen, verkehrspolitischen Maßnahmen und Technologieinnovationen aufteilen und diesen zuordnen.

Tabelle 4: Entscheidungsmatrix zur Auswahl geeigneter Bewertungsverfahren

Wer entscheidet? [Entscheidungs-subjekt]	Was wird entschieden? [Entscheidungs-objekt]	Beispiel	Monetarisierbarkeit der Indikatoren	Methoden mit vollständiger Monetarisierung			Methoden ohne vollständige Monetarisierung		
				TCO	LCC-A	NKA	MAMCA	NW	KWA
Verkehrspolitik	Infrastrukturinvestitionsentscheidung	Planung einer Umgehungsstraße	ja			+			
Verkehrspolitik	verkehrspolitische Maßnahme	Einführung von Tempo-30 zum nächtlichen Lärmschutz	ja			+	+	+	
Gesamtpolitische Entscheidung	Technologieinnovation	Einführung der Elektromobilität	teilweise					+	+
Unternehmensentscheidung	Technologieinnovation	Produktinnovation „Fahrassistenzsystem“	ja					+	
Unternehmensentscheidung	Investitionsentscheidung	Beschaffung eines Fahrzeugs (mittlere Lebensdauer)	ja	+	+				
Unternehmensentscheidung	Investitionsentscheidung	Beschaffung eines Flugzeugs (sehr lange Lebensdauer)	ja		+				

9. Anhang

BMVI (2016): *Methodenhandbuch zum Bundesverkehrswegeplan 2030*. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.), Karlsruhe, Berlin, Waldkirch, München, 7. Oktober 2016. FE-Projekt-Nr.: 97.358/2015.

https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/BVWP/bvwp-2030-methodenhandbuch.pdf?__blob=publicationFile

European Commission (2014): *Update of the Handbook on External Costs of Transport*.

https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/handbook_on_external_costs_of_transport_2014_0.pdf

Umweltbundesamt (2012): *Methodenkonvention 2.0 zur Schätzung von Umweltkosten – Anhang A + B*. Dessau-Roßlau, August 2012.

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/uba_methodenkonvention_2.0_-_2012_gesamt.pdf

European Organisation for the Safety of Air Navigation (Eurocontrol) (2018). *Standard Inputs for EUROCONTROL Cost-Benefit Analyses*. Version 8.

<https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/standard-input-for-eurocontrol-cost-benefit-analyses-2018-edition-8-version-2.6.pdf>
