

Analyse zur ökologischen und
ökonomischen Bewertung offener und
geschlossener Bauverfahren zur
Herstellung unterirdischer
Infrastrukturmaßnahmen
(Verkehrstunnel, Ver- und
Entsorgungsleitungen)

(AZ. 24642-23/01)

Ein von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt gefördertes
gemeinsames Forschungsvorhaben der GSTT
Beratungsservice GmbH und des Lehrstuhls für Tunnelbau,
Leitungsbau und Baubetrieb der Ruhr-Universität Bochum

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangslage	1
1.2	Status und Grundlage für diesen Zwischenbericht.....	1
2	Grundlegende Erkenntnisse zu gängigen Bewertungsverfahren	2
2.1	Ökologische Bewertungsvorgaben und -verfahren	2
2.1.1	Ökobilanz	2
2.1.2	Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) / Umweltverträglichkeitsstudie (UVS)	3
2.1.3	Strategische Umweltplanung (SUP).....	5
2.1.4	Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie	6
2.2	Ökonomische Bewertungsverfahren.....	8
2.2.1	Grundlagen	8
2.2.2	Wirtschaftlichkeitsberechnungen	8
2.3	Betrachtung von Bilanzierungsverfahren im Blick auf unterirdische Infrastruktur und eine angepasste Verfahrensauswahl	14
2.3.1	Leitungstunnelbau	14
2.3.2	Verkehrstunnelbau	15
2.4	Fazit	16
3	Erarbeitung ökologischer und ökonomischer Bewertungsparameter in Abhängigkeit vom Bauverfahren	17
3.1	Ökologische Bewertungsparameter.....	17
3.1.1	Allgemeines und Vorgehensweise	17
3.1.2	Wirkfaktoren und Schutzgüter.....	17
3.1.2.1	Wasser.....	17
3.1.2.2	Boden	20
3.1.2.3	Luft.....	21
3.1.2.4	Flora, Fauna und Habitats (FFH)	22
3.1.2.5	Parameter des Energie- und Rohstoffverbrauches	23
3.1.2.6	Lärm und Erschütterung	23
3.2	Ökonomische Bewertungsparameter.....	25
3.2.1	Allgemeines.....	25
3.2.2	Benennung von Kostenarten für unterirdische Infrastruktur	26
4	Entwicklung eines Bewertungsverfahrens zum Vergleich unterirdischer Infrastrukturprojekte	33
4.1	Anforderungen an ein Bewertungsverfahren	33

4.1.1	Allgemeines.....	33
4.1.2	Vorgehensweise zur Entwicklung des Bewertungsverfahrens.....	33
4.1.3	Kombination aus Kosten-Nutzen-Analyse und Nutzwertanalyse.....	34
4.1.4	Das Grundmodell von Bewertungen.....	35
4.2	Entwicklung eines problemspezifischen Bewertungsverfahrens.....	36
4.2.1	Systematische Erfassung der Ausgangsdaten.....	37
4.2.1.1	Allgemeine Projektdaten.....	38
4.2.1.2	Vorgaben zur Verfahrensauswahl.....	38
4.2.2	Vorauswahl.....	38
4.2.3	Projektspezifische Bauszenarien und Randbedingungen.....	39
4.2.4	Zielsystem und Gewichtung der Zielsetzungen.....	41
4.2.4.1	Aufbau des Zielsystems.....	41
4.2.4.2	Gewichtung der Zielsetzungen.....	42
4.2.5	Detailbewertung der ökologischen und ökonomischen Aspekte.....	43
4.2.5.1	Erfüllungspunktzahl.....	44
5	Anwendung auf ein Beispiel.....	46
5.1	Ausgangslage.....	46
5.2	Zielsysteme / Hauptziele / Nebenziele.....	46
6	Notwendige Weiterentwicklungen des Bewertungsverfahrens.....	56
7	Abbildungsverzeichnis.....	58
8	Tabellenverzeichnis.....	58
9	Literaturverzeichnis.....	59

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Bauinvestitionen haben einen hohen wirtschaftlichen Stellenwert, da sie nicht nur hohe Investitionsausgaben, sondern auch hohe Folgekosten verursachen. Daneben werden an Tunnel- sowie Leitungstunnelbauwerke zunehmend ökologische und soziale Anforderungen gestellt. Bauliche Maßnahmen sollen die Umwelt in möglichst geringem Maße beeinträchtigen, den Menschen in seiner baulichen und natürlichen Umgebung schützen und dabei ressourcenschonend wirken, sowohl im Hinblick auf Kosten wie auch auf sonstige Güter.

Basis für die Umsetzung dieser Zielsetzung ist zumeist eine Evaluierung des ökologischen Eingriffs im Zuge einer Umweltverträglichkeitsprüfung innerhalb der Genehmigungsphase. Hierbei soll in der Regel ermittelt werden, ob das vorgegebene Bauverfahren mit den festgelegten ökologischen Zielen kompatibel und damit einsetzbar ist. Aus dieser Vorgehensweise ergibt sich jedoch nicht zwangsläufig, dass ein für das bauliche Ziel optimale Bauverfahren eingesetzt worden ist, da die Umweltverträglichkeitsprüfung strukturelle und methodische Mängel aufweist und bei einigen unterirdischen Infrastrukturprojekten per se keine UVP's durchgeführt werden.

1.2 Status und Grundlage für diesen Zwischenbericht

Ziel der bisherigen Arbeiten an dieser Studie war die Entwicklung eines ganzheitlichen Bewertungssystems, unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen Kostenoptimierung einerseits sowie Umweltbelastungen andererseits, das Bauherren, Bauplaner und Behörden bei dem wirtschaftlichen und umweltgerechten Bauen unterirdischer Infrastruktur unterstützt. Es wurde außerdem ein Hilfsmittel für Bauplaner und Bauherren angestrebt, um die Auswirkungen ihrer Entscheidungen in ökonomischer und ökologischer Hinsicht abschätzen zu können. Weiterhin sollte das zu entwickelnde Bewertungssystem den Alternativvergleich erleichtern und Transparenz in die Entscheidungsfindung bringen.

Die Arbeiten zur Entwicklung dieses Bewertungssystem sind derzeit abgeschlossen, jedoch haben die Untersuchungen weitere Fragen aufgeworfen, ohne deren Beantwortung das entwickelte System als noch nicht vollständig anzusehen ist. Dies soll im weiteren Verlauf dieses Zwischenberichts aufgezeigt werden.

Hierzu werden zunächst die zurzeit existierenden ökologischen und ökonomischen Bewertungsverfahren ermittelt und erläutert sowie ihre Schwachstellen, vor allem im Hinblick auf ein Anwendung bei unterirdischer Infrastruktur, aufgezeigt. Im Anschluss hieran werden die elementaren ökologischen und ökonomischen Bewertungsparameter, die die Grundlage für das Bewertungssystem bilden, beschrieben und ihre verfahrensspezifische Zuordnung skizziert. Abschließend wird an dem Beispiel einer reell ausgeführten Baumaßnahme das gewonnene Bewertungssystem auszugsweise angewendet und gleichzeitig die noch offenen Fragen aufgezeigt.

2 Grundlegende Erkenntnisse zu gängigen Bewertungsverfahren

2.1 Ökologische Bewertungsvorgaben und -verfahren

Die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP), das derzeit wichtigste Instrument zur Erhebung von ökologischen Daten, sowie die strategische Umweltplanung (SUP) und die Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie (FFH) sind die wichtigsten Umweltbilanzmethoden. Mit ihrer Hilfe können ökologische Auswirkungen von Bauverfahren bewertet werden.

Umweltbilanzmethoden werden in verschiedenen, interdisziplinären Bereichen verwendet. Besonders im Zusammenhang mit dem Nachhaltigkeitsleitbild und den damit verbundenen, schonenden Umgang bzgl. des Verbrauches der natürlichen Ressourcen. Allerdings führt das Fehlen eines einheitlichen Begriffverständnisses zu einer Fächerung der methodischen Ansätze. Der aktuelle Wert der betroffenen Fläche wird dabei vor dem Eingriff bestimmt, sowie deren Wert nach dem Eingriff prognostiziert und durch eine vergleichende Gegenüberstellung der beiden Größen die eingriffsbedingte Wertminderung ermittelt. Das gleiche Prinzip und dieselben Bewertungsvorschriften gelten für die relevanten Kompensationsflächen. Es werden die potentiellen Wertsteigerungen nach der Durchführung der Kompensationsmaßnahmen ermittelt. Die Bilanzierung der Wertminderung bzw. Wertsteigerung, d. h. die beiden Größen müssen wertgleich sein, damit die mit dem geplanten Vorhaben verbundenen erheblichen oder nachhaltigen Beeinträchtigungen des Naturhaushalts durch die vorgesehenen Maßnahmen definitionsgemäß kompensiert werden. Im Folgenden werden die gängigen Bilanzierungs- und Bewertungsverfahren kurz vorgestellt und ihre verfahrensbezogenen Schwachstellen aufgezeigt.

2.1.1 Ökobilanz

Das Umweltbundesamt (UBA) definiert die Ökobilanz wie folgt:

„Eine Ökobilanz ist ein möglichst umfassender Vergleich der Umweltauswirkungen zweier oder mehrerer unterschiedlicher Produkte, Produktgruppen, Systeme, Verfahren oder Verhaltensweisen.“

Im Mittelpunkt der Ökobilanz steht die Betrachtung des gesamten Lebenswegs eines Systems, wie es die englische Bezeichnung "Life cycle assessment" (LCA) deutlich zum Ausdruck bringt. Nach der ISO 14040 besteht eine Ökobilanz grundsätzlich aus vier Arbeitsschritten [1]:

1. der Festlegung des Ziel- und Untersuchungsrahmens (Goal and scope definition)
2. der Erstellung der Sachbilanz (Life cycle inventory analysis - LCI)
3. der Wirkungsabschätzung (Life cycle impact assessment - LCIA) und
4. der Auswertung (Interpretation).

Die Ökobilanz-Methodik unterscheidet sich methodisch und inhaltlich wesentlich von den in der räumlichen Umweltplanung gebräuchlichen, zumeist flächenbezogenen "ökologischen Bilanzen" und auch den gängigen Methoden zur Bewertung von Umweltauswirkungen, insbesondere der ökologischen Risikoanalyse bzw. deren zahlreichen Varianten.

Methodische Probleme sind z. B. angelegt durch die Festlegung von Systemgrenzen, das zugrunde Legen von Annahmen und die Datenerhebung, die in der Praxis die größten Probleme bereitet, weil Daten häufig nicht für sämtliche Lebenswegphasen verfügbar sind. Besondere Stärken der Ökobilanz-Methodik sind die systematische Erfassung von Stoff- und Energieströmen (Input- und Output) im Rahmen der Sachbilanz, Effizienzstrategie und die Ansätze der Wirkungsabschätzung, mit denen aufbauend auf den Ergebnissen der Sachbilanz Systemwirkungspotenziale für global bedeutsame, medienübergreifende Umweltproblemfelder beurteilt werden können.

2.1.2 Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) / Umweltverträglichkeitsstudie (UVS)

Bei der **Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP)** handelt es sich um ein systematisch-analytisches Verfahren, das dazu dient, die Umweltauswirkungen eines bestimmten Vorhabens (Projektes) zu ermitteln, zu beschreiben und zu beurteilen. Es soll zu einer Trennung der Sach- und Wertebene kommen [2]. Die entwickelten Teileinschätzungen werden zu einer Gesamtbewertung zusammengefasst. Damit soll den umweltpolitischen Grundprinzipien des Verursacher- und Vorsorgeprinzips entsprochen [3] und die Vorbereitung von Projekt und Genehmigungsverfahren verbessert, transparenter und nachvollziehbarer werden. Umweltbelange erhalten damit bei der Abwägung und Entscheidung den gleichen Stellenwert wie andere Belange. Die UVP ist Teil des Genehmigungsverfahrens für Bauprojekte und stellt somit eine Entscheidungshilfe dar [4].

Das Verfahren wird eröffnet durch die Projektabsicht eines Vorhabensträgers. Der Vorhabensträger berät sich mit einem Gutachter über die genaue Durchführung des Vorhabens und arbeitet einen Plan aus, den er mit zusätzlichen Angaben der Genehmigungsbehörde vorlegt. Art und Umfang der Unterlagen sind gemäß § 6 Abs. 2 Satz 2 sowie in den Fachgesetzen (BImSchG oder BBergG) festgelegt [5].

Die Genehmigungsbehörde prüft die eingereichten Unterlagen auf Vollständigkeit und ob das Vorhaben UVP-pflichtig ist. Dieser Vorgang wird als **Screening** bezeichnet. Im Anhang zum § 3 UVPG sind alle UVP-pflichtigen Vorhaben in Art und Ausmaß aufgeführt, sowie festgelegt, ob eine generelle Verpflichtung zu einer UVP besteht, bzw. ob eine allgemeine oder standortbezogene Vorprüfung stattfinden muss [5].

Besteht eine UVP-Verpflichtung, so ist der nächste Schritt das **Scoping**. In diesem Schritt wird der Untersuchungsrahmen festgelegt. Die Genehmigungsbehörde erörtert mit dem Vorhabensträger und anderen betroffenen Fachbehörden was Gegenstand der UVP sein soll. Der Umfang und die Methoden werden in Einzelpunkten untersucht. Es können Sachverständige (Dritte) zur Erörterung hinzugezogen werden [5]. Die Beteiligung der Öffentlichkeit ist freiwillig [6]. Weiter unterrichtet die Genehmigungsbehörde den Vorhabensträger über „Art und Umfang der voraussichtlich für das weitere Verfahren beizubringenden Unterlagen“ [5].

Der Vorhabensträger beauftragt meist einen Gutachter die **Umweltverträglichkeitsstudie (UVS)** anzufertigen, um die Auswirkungen des Vorhabens auf die Umwelt mit Hilfe von Unterlagen des Vorhabensträgers, der Genehmigungs- und anderen Fachbehörden, sowie der betroffenen Öffentlichkeit auszuwerten und eigene Untersuchungen durchzuführen [7]. Inhalte der Umweltverträglichkeitsstudie

sind in der UVPVwV geregelt. Die UVS wird mit anderen vom Vorhabensträger einzureichenden Unterlagen der Genehmigungsbehörde zur Prüfung vorgelegt.

Abschließend werden die Auswirkungen des Vorhabens auf die Umweltgüter bewertet. Die Bewertung erfolgt auf Basis des UVP-Rechts und des Umweltfachrechts. Die **Bewertung der Umweltauswirkung** hat anhand gesetzlicher Maßstäbe zu erfolgen, wobei als Quelle der gesetzlichen Umweltaanforderungen alle Gesetze des Umweltverwaltungsrechts zu sehen sind, die auf den § 3 UVPG Anwendung finden können. Planungsleitsätze und Optimierungsgebote sind in ihrer ökologischen Dimension zu bedenken [5].

Die **UVP** begegnet in der Praxis verschiedenen **methodischen Problemen**. Die ökologische Risikoanalyse steht nicht alleine, sondern es existiert eher eine Methodenvielfalt und ein Methodenmix. Welche Methoden zum Einsatz kommen, hängt wesentlich von Besonderheiten des betroffenen Naturraums, vom Vorhabentyp und der Datenlage ab. Daher ist die Frage zu stellen, wie frei die Methodenwahl sein darf. In anderen Disziplinen werden Methoden vorgegeben, um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, oder es besteht zumindest ein Methodenkonsens. Die UVP ist weit davon entfernt. Auch die UVPVwV lässt diese Frage offen. Die **Bewertungsprobleme** sind eng mit der Methodenfrage verknüpft. Jede UVP leidet unter der Suche nach geeigneten, d. h. vorsorgeorientierte und gleichzeitig konsensfähige Wertmaßstäbe, auf denen die Bewertung aufbauen kann. Bestehende Grenzwerte sind mit Nichtumweltbelangen abgewogen, an der Gefahrenabwehr orientiert und damit für die UVP wenig geeignet. Fachlich abgesicherte Schwellenwerte gibt es, aber nicht für alle Schutzgüter, politisch verabschiedete Umweltqualitätsziele sind recht selten. Wenn solche Werte nicht vorliegen, stellt sich für den Gutachter häufig die Frage, woher er Wertmaßstäbe nehmen soll. Der gesellschaftliche Konsens ist schwer herzuleiten und abgesicherte und legitimierte Maßstäbe, an denen er sich orientieren könnte, existieren nicht. Ein weiteres Bewertungsproblem ist das Aggregationsproblem, also die Zusammenfassung und Überlagerung verschiedener Eingriffe und deren letztendliche Bewertung im System. Hier wird zumeist eine ökologische Risikoanalyse eingesetzt, oft auch die verbalargumentative Bewertung, teilweise die Nutzwertanalyse. Ein einheitliches System besteht hier nicht.

Die UVP basiert selten auf abgesicherten Ergebnissen. Die Prognosen sind häufig mit großen Unsicherheiten verbunden, die z. B. mit analytischen Wissensdefiziten begründet sind. Modellstrukturfehler fallen durch Unsicherheit über Wirkungsverläufe, Modellparameterfehler durch Unsicherheit über die Indikatoren sowie natürliche Varianz aufgrund der Stochastizität natürlicher Vorgänge auf. Die Unsicherheit kann gesellschaftlich bedingt sein, z. B. durch Wertunsicherheit, durch mangelnde Koordination mit anderen Vorhaben im selben Raum sowie dem Auftreten individueller Betroffenheiten, d. h. subjektiv besteht für Betroffene ein höheres Risiko, als es naturwissenschaftlich hergeleitet wird.

In der Praxis werden die Ergebnisse von UVPs zum Teil kontrovers diskutiert. Dies führt oft zu Gegengutachten sowie Verzögerungen, die der UVP angelastet werden. Auf der anderen Seite werden seitens der Naturschutzbehörden und Umweltverbände oft umfangreiche Grundlagenuntersuchungen verlangt. Eine UVP kann keinen Landschaftsplan ersetzen.

Der Bewertung innerhalb der UVP liegen Umweltfachbegriffe zugrunde, die wiederum **juristische Probleme** hervorbringen. Hiermit sind unbestimmte Rechtsbegriffe wie "Wohl der Allgemeinheit" oder "erhebliche Beeinträchtigung" gemeint. Damit quantitativ greifbare Wertmaßstäbe abgeleitet werden

können, müssen diese Begriffe konkretisiert, d. h. in operationale Ziele und Standards umgesetzt werden. Rest-Risiken stellen für die Justiz eine Kategorie dar, der rechtsstaatlich nicht mehr begegnet werden kann, ohne in Grundrechte einzugreifen. Im Einzelfall muss zwischen Verhältnismäßigkeit und Vorsorge abgewogen werden. Diese kurze Aufzählung zeigt bereits, dass die UVP kein Verfahren ist, das schematisch nach Checklisten abgearbeitet werden kann, sondern eine planerische und ingenieurmäßige Leistung, die in hohem Maße den Einzelfall berücksichtigen muss.

2.1.3 Strategische Umweltplanung (SUP)

Gehen von Plänen und Bauleitpläne erhebliche Umweltbeeinträchtigungen aus, so kann mit Hilfe der **Strategische Umweltplanung (SUP)** eine frühzeitige Integration der wichtigen Umweltaspekte berücksichtigt werden. Die SUP ermittelt, erläutert und analysiert die Umweltbeeinträchtigungen. Es werden mit den Vorgaben einer Umweltprüfung erhöhte verfahrensrechtliche Anforderungen an die Aufstellung bestimmter Pläne gestellt. Für die Bauleitplanung ergeben sich neue Dokumentations-, Beteiligungs- und Begründungspflichten. Im ersten Anhang werden die Schutzgüter benannt und deren Beeinträchtigung überprüft. Der zweite Anhang enthält Kriterien für die Bestimmung der voraussichtlichen Wichtigkeit von Umweltbeeinträchtigungen [8].

Der **Inhalt des Umweltberichtes** ist untergliedert. Der allgemeine Teil enthält alle von der SUP-Richtlinie geforderten Angaben zu Inhalt und Anlass der Planaufstellung bzw. Fortschreibung, zum Umweltzustand und deren Umweltmerkmalen, die voraussichtlich beeinflusst werden und Maßnahmen zur Überwachung. Der spezielle Teil beinhaltet die Beurteilung neuer raumbedeutsamer Festlegungen hinsichtlich ihrer Umweltauswirkungen, Nennung von Ausgleichsmaßnahmen und die Begründung der Alternativauswahl [8].

Gemäß § 2 Abs. 4 BauGB ist eine **Umweltprüfung bei Aufstellung von Bauleitplänen** durchzuführen, in der die wichtigen Auswirkungen auf die Umwelt ermittelt und bewertet werden. Der Detaillierungsgrad der Prüfung ist dem Planungsobjekt entsprechend anzupassen. Mit Blick auf die Kosten sind Mehrfachprüfungen zu vermeiden, so dass bereits anderwärtig erstellte Prüfungen mit der SUP verbunden werden dürfen. Die Umweltauswirkungen werden neutral behandelt. Wird eine Umweltprüfung nicht durchgeführt, fehlen wesentliche Teile oder einzelne Faktoren sind nicht richtig bewertet worden, so ist dies ein beachtlicher Abwägungsfehler (§ 214 Abs. 1 Satz BauGB). Eine wichtige Zielrichtung der SUP ist die sorgfältige Auseinandersetzung mit der Prüfung. Nachträglich festgestellte negative Abweichungen von der tatsächlichen Entwicklung, haben keine Auswirkung auf die Bestandskraft des Bebauungsplanes. Es handelt sich um keinen Abwägungsfehler, falls Auswirkungen vorher unerkannt, aber nachträglich festgestellt werden. Vorausgesetzt wird ein zuvor sachgerechter Umgang mit den Umweltbelangen in der Abwägung [8]. Ziel der SUP-Richtlinie ist die Sicherstellung eines hohen Schutzniveaus für die Umwelt durch europaweite einheitliche Verhaltensregelungen. Es soll zu einer frühzeitigen Integration der SUP in Planungs- und Entscheidungsprozesse kommen, Planungsalternativen sollen angemessen geprüft werden und kumulative und synergetische Umweltauswirkungen sollen berücksichtigt werden [9].

Der **Ablauf der SUP** ähnelt in weiten Teilen der UVP. So werden auch mit Hilfe eines Screenings die Umwelterheblichkeit und mit Hilfe des Scoping der Prüfungs- bzw. Untersuchungsrahmen festgestellt.

Neu ist allerdings, dass im Rahmen der SUP ein Umweltbericht mit definierten Inhalten als ein gesondertes Dokument zu erstellen und abzugeben ist. Im Anschluss daran werden Stellungnahmen eingeholt und Behörden und die Öffentlichkeit einschließlich der Nichtregierungsorganisationen konsultiert. Ist ein Vorhaben genehmigt, schließen sich in regelmäßigen Abständen Kontrollen an, die die Einhaltung der SUP-Vorgaben gewährleisten sollen [7].

Die **Unterschiede zwischen UVP und SUP** ergeben sich aus den unterschiedlichen Prüfungsgegenständen. Während bei der UVP ein definiertes Vorhaben an einem konkreten Standort untersucht wird, ist es bei der SUP die Raum- und Flächennutzung bzw. raumbedeutsame Planungen. Die im Zulassungsverfahren zum Tragen kommende UVP ist eine umfassende, nach Schutzgütern systematisierte Strukturierung eines Entscheidungsverfahrens. Die SUP begleitet einen Entscheidungsprozess auf politisch-programmatischer Ebene. Die teilweise rechtlich detailliert vorgegebenen Bewertungsmaßstäbe eines Vorhabens durch eine UVP, zielen weniger auf eine Alternativprüfung ab. Im Gegensatz zur UVP ist die Alternativprüfung ein Bestandteil der SUP. Es kommt häufiger zu einer Veränderung des Prüfgegenstandes während des Verfahrens. Beide Prüfungen beteiligen die Öffentlichkeit am Entscheidungsprozess. Während bei der UVP durch Aufbereitung des UVP-Dokuments, Auslegung und Anhörung eine Projektakzeptanz und -optimierung erreicht werden soll, ist das Ziel der SUP eine gesellschaftliche Konsensbildung bzw. ein tragfähiger Kompromiss. Wegen des unterschiedlichen Auswirkungsgebiets und der unterschiedlichen Datenbasis ist die Prognose der Umweltauswirkung divergent. Bei der UVP ist auch eine Prognoseunsicherheit gegeben, aber wegen der detaillierten Datenbasis sind mögliche Entwicklungen vergleichsweise überschaubar. Die SUP hat eine größere Vielfalt möglicher Entwicklungen, die durch den Einsatz verbal-qualitativer Prognosetechniken unter Integration diverser Methodenbausteine eingegrenzt werden, jedoch bleibt eine Prognoseunsicherheit [7].

2.1.4 Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie

Die **Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie** verpflichtet die Mitgliedstaaten der Europäischen Union, gemäß vorgegebenen Auswahlkriterien für ihren Hoheitsbereich eine Liste schützenswerter Gebiete zu erstellen (FFH-RL Art. 4, Abs. 1). Die Gebiete werden in einem speziellen Verfahren von der Europäischen Kommission geprüft und in das neu zu konzipierende europaweite Biotopverbundsystem "Natura 2000" als "besondere Schutzgebiete" integriert. Bestandteile des Verbundsystems sind die bestehenden Schutzgebiete nach der Vogelschutzrichtlinie. Der Anhang I (Lebensraumtypen) und Anhang II (Arten) der FFH-Richtlinie werden für die Auswahl der Schutzgebiete genutzt. Zum Erhalt der biologischen Vielfalt sieht die FFH-Richtlinie die Bewahrung und die Wiederherstellung eines "günstigen Erhaltungszustands der natürlichen Lebensräume und wildlebenden Tier- und Pflanzenarten von gemeinschaftlichem Interesse" vor. Der Erhaltungszustand eines Lebensraumes oder seine Art wird als günstig betrachtet, wenn sein natürliches Verbreitungsgebiet dauerhaft beibehalten wird oder sich vergrößert. Darüber hinaus muss das Gebiet die notwendigen strukturellen und funktionalen Voraussetzungen erfüllen, die einen langfristigen Fortbestand sichern [8].

Die **FFH-Verträglichkeitsprüfung** berücksichtigt Erhaltungsziele und Schutzzweck der Gebiete von gemeinschaftlicher Bedeutung und Vogelschutzrichtlinie (VRL). Nähere Angaben finden sich im BNatSchG § 34 Verträglichkeit und Unzulässigkeit von Projekten, Ausnahmen wieder:

- (1) *Projekte sind vor ihrer Zulassung oder Durchführung auf ihre Verträglichkeit mit den Erhaltungszielen eines Gebiets von gemeinschaftlicher Bedeutung oder eines Europäischen Vogelschutzgebiets zu überprüfen. Bei Schutzgebieten im Sinne des § 22 Abs. 1 ergeben sich die Maßstäbe für die Verträglichkeit aus dem Schutzzweck und den dazu erlassenen Vorschriften.*
- (2) *Ergibt die Prüfung der Verträglichkeit, dass das Projekt zu erheblichen Beeinträchtigungen eines in Absatz 1 genannten Gebiets in seinen für die Erhaltungsziele oder den Schutzzweck maßgeblichen Bestandteilen führen kann, ist es unzulässig.*
- (3) *Abweichend von Absatz 2 darf ein Projekt nur zugelassen oder durchgeführt werden, soweit es*
 1. *aus zwingenden Gründen des überwiegenden öffentlichen Interesses, einschließlich solcher sozialer oder wirtschaftlicher Art, notwendig ist und*
 2. *zumutbare Alternativen, den mit dem Projekt verfolgten Zweck an anderer Stelle ohne oder mit geringeren Beeinträchtigungen zu erreichen, nicht gegeben sind.*
- (4) *Befinden sich in dem vom Projekt betroffenen Gebiet prioritäre Biotope oder prioritäre Arten, können als zwingende Gründe des überwiegenden öffentlichen Interesses nur solche im Zusammenhang mit der Gesundheit des Menschen, der öffentlichen Sicherheit, einschließlich der Landesverteidigung und des Schutzes der Zivilbevölkerung, oder den maßgeblich günstigen Auswirkungen des Projekts auf die Umwelt geltend gemacht werden. Sonstige Gründe im Sinne des Absatzes 3 Nr. 1 können nur berücksichtigt werden, wenn die zuständige Behörde zuvor über das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit eine Stellungnahme der Kommission eingeholt hat.*
- (5) *Soll ein Projekt nach Absatz 3, auch in Verbindung mit Absatz 4, zugelassen oder durchgeführt werden, sind die zur Sicherung des Zusammenhangs des Europäischen ökologischen Netzes "Natura 2000" notwendigen Maßnahmen vorzusehen. Die zuständige Behörde unterrichtet die Kommission über das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit über die getroffenen Maßnahmen.*

Die **Eingriffsregelung** war bis zum Ende 1993 für Handhabung im Rahmen fachlicher Genehmigungs- und Zulassungsverfahren konzipiert und ausschließlich im Naturschutzrecht geregelt. Sie sollte darin die Folgen von Eingriffen in Naturhaushalt und Landschaftsbild bewältigen. Im Rahmen der Aufstellung von Bebauungsplänen ist seit 1993 die Eingriffsregelung in die bauplanungsrechtliche Abwägung eingebunden (BauGB § 1). Zu den Schutzgütern zählen Menschen, Tiere, Pflanzen, Boden, Wasser, Luft, Klima und das Wirkungsgefüge zwischen ihnen sowie die Landschaft und die biologische Vielfalt. Der Flächenausgleich darf auch an einer anderen Stelle als an dem Ort des Eingriffes erfolgen, wenn dies mit den Zielen der Bauleitplanung, Raumordnung und Naturschutz vereinbar ist. Sind Maßnahmen zum Ausgleich an anderer Stelle vorgesehen so, übernimmt die Gemeinde die Durchführung auf Kosten der Verursacher. Auf den bereits gestellten Gemeindeflächen können andere geeignete Maßnahmen ergriffen werden. Eine Kostenerstattung von Ausgleichsmaßnahmen ist in den §§ 135 a-c BauGB geregelt. Verantwortlich für Durchführung von festgesetzten Maßnahmen ist der Vorhabenträger. Die Bewertung ist problematisch, da keine naturwissenschaftlich genaue Bewertung möglich ist. Es ist nicht zwingend erforderlich ein 100%iger Ausgleich zu schaffen [8].

2.2 Ökonomische Bewertungsverfahren

2.2.1 Grundlagen

Öffentliche, gewerbliche und private Bauinvestitionen haben einen wichtigen Stellenwert für den Initiator und sind mit hohen Investitionsausgaben verbunden. Investitionsentscheidungen können nach Baubeginn kaum rückgängig gemacht werden und sind mit der Übergabe und Inbetriebnahme mit Folgekosten verbunden. In den Haushaltsordnungen des Bundes, der Länder und der Kommunen wird bereits seit Anfang 1970 gefordert, für geeignete Maßnahmen von erheblicher finanzieller Bedeutung **Wirtschaftlichkeitsberechnungen (WB)** oder **Nutzen-Kosten-Untersuchungen (NKU)** anzustellen. Zielsetzungen von WB und NKU bestehen darin, bei Beurteilung einer Einzelmaßnahme ihre Vorteilhaftigkeit zu prüfen oder bei Beurteilung mehrerer gleichartiger oder sich gegenseitig ausschließender Alternativen die Frage der Bevorzugung zu beantworten, die optimale Größe einer vorgesehenen Investitionsmaßnahme, die optimale Nutzungsdauer einer Investition zu bestimmen oder für ein vorhandenes Objekt bzw. eine vorhandene Anlage den günstigsten Ersatzzeitpunkt zu bestimmen. Die zahlreichen Verfahren der Investitionsrechnung lassen sich in drei Untergruppen einteilen [10][11].

Monovariablen Wirtschaftlichkeitsberechnungen (WB) sind Methoden, mit deren Hilfe die Vorteilhaftigkeit einzelwirtschaftlicher Investitionsmaßnahmen geprüft und im Hinblick auf die betrieblichen Zielsetzungen des jeweiligen Investors bewertet werden kann. Die zu untersuchenden Nutzen-Kosten-Faktoren sind als Einnahmen und Ausgaben stets monetär zu bewerten. Nicht in Zeiteinheiten bewertbare Faktoren lassen sich ergänzend nur verbal diskutieren.

Multivariable Nutzen-Kosten-Untersuchungen (NKU) ermöglichen die Einbeziehung nicht monetär bewertbarer Nutzen-Kosten-Faktoren. Die Messgrößen unterschiedlichster Dimension werden mit Hilfe von Nutzenpunkten gleichnamig gemacht, wobei die Bedeutung der einzelnen Faktoren durch entsprechende Gewichtung berücksichtigt wird. NKU finden daher vor allem Anwendung, wenn durch Investitionsmaßnahmen nicht nur monetäre einzelwirtschaftliche, sondern auch multivariable gesellschaftliche Faktoren berührt werden.

Programmierte Verfahren finden Anwendung bei komplexen Optimierungsrechnungen unter Vorgabe von Nebenbedingungen, die auch in Form von Ungleichungen gegeben sein dürfen, z. B.: der linearen Programmierung und der Simulation von Nutzungs-, Finanzierungs-, Investitions- und Betreibermodellen. Sie erfordern einen wesentlich höheren Rechenaufwand als die traditionellen Methoden.

2.2.2 Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Bei **Wirtschaftlichkeitsberechnungen** ist zu unterscheiden zwischen den statischen (einperiodigen) und dynamischen (mehrperiodigen) Verfahren. Statische Verfahren vernachlässigen den zeitlich unterschiedlichen Anfall der durch eine Investitionsmaßnahme verursachten Einnahmen und Ausgaben. Stattdessen werden Durchschnittswerte einer typischen Zeitperiode verwendet. Sie eignen sich für Investitionen geringen Umfangs mit einzelwirtschaftlicher Wirkung und finden den Vorzug, wenn:

- keine differenzierten Daten für die gesamte Nutzungsdauer vorliegen bzw. der Aufwand für ihre Beschaffung nicht gerechtfertigt ist (Wirtschaftlichkeit der WB),

- eine einfache WB schnell durchgeführt werden soll oder
- über Investitionsmaßnahmen oder Teile davon mit geringer Bedeutung bzw. niedrigen Kosten zu entscheiden ist.

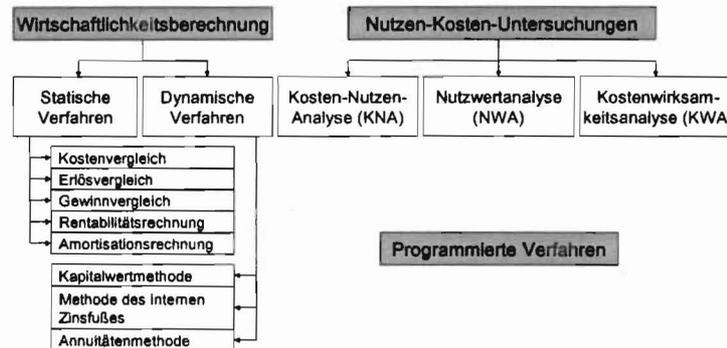


Abbildung 1 Verfahren der Investitionsrechnung

Verfahren der **statischen Wirtschaftlichkeitsberechnungen** sind die Kostenvergleichs-, die Erlösvergleichs-, die Gewinnvergleichs-, die Rentabilitäts- und die Amortisationsrechnung. Sie dienen in erster Linie zur Beurteilung kleinerer Erweiterungs-, Rationalisierungs- oder Ersatzinvestitionen. Mit ihrer Hilfe lässt sich eine Aussage bezüglich der relativen Vorteilhaftigkeit von sich gegenseitig ausschließende Alternativen gewinnen. Die absolute Vorteilhaftigkeit einer Einzelmaßnahme ist wegen der dann fehlenden Vergleichsmöglichkeit nicht überprüfbar. Da die vorgenannten Verfahren jeweils nur ein Wirtschaftlichkeitskriterium untersuchen, ist in der Praxis eine kombinierte Anwendung zu empfehlen. Dann können die betriebswirtschaftlich relevanten Kriterien der Kostenersparnis, des Gewinns, der Verzinsung des durchschnittlich eingesetzten Kapitals, des Vergleichs mit anderweitiger Kapitalverwendung und des Risikos sowie der Auswirkungen auf die Liquidität gemeinsam berücksichtigt werden. Es zeigt sich, dass erst eine gemeinsame Betrachtung der jährlichen Kosten, Gewinne und Rentabilitäten sowie zusätzlich der Amortisationsdauern zur Beurteilung des Risikos, eine umfassende Beurteilung der Vorteilhaftigkeit von Investitionen mit Hilfe statischer Wirtschaftlichkeitsberechnungen zulässt.

Den **dynamischen Wirtschaftlichkeitsberechnungen** ist gemeinsam, dass sie nicht wie die statischen Verfahren mit Durchschnittswerten arbeiten, sondern durch Berücksichtigung von Zeitreihen für die Zahlungsströme der Ein- und Ausgaben sowie Ab- oder Aufzinsung auf einen festen Bezugszeitpunkt die Vorteilhaftigkeit von Investitionen für die gesamte Nutzungsdauer bzw. bis zu einem bestimmten Planungshorizont untersuchen. Kriterien der Vorteilhaftigkeit sind die Höhe der Kapitalwerte, der internen Zinsfüße oder der Annuitäten. Mit allen Verfahren können sowohl einzelne Investitionen beurteilt, als auch Auswahlprobleme zwischen verschiedenen Alternativen gelöst werden. Ziel der **Kapitalwertmethode** ist die Ermittlung des Kapitalwertes (Einzelinvestition) oder alternativer Investitionen. Der Kapitalwert ist definiert als Differenz der Barwerte von Einnahmen und Ausgaben. Barwerte sind die auf einen gemeinsamen Bezugszeitpunkt ab- oder aufgezinsten Einnahmen und Ausgaben. Die Ab- bzw. Aufzinsung wird zu einem kalkulatorischen Zinssatz vorgenommen, der der Zeitpräferenz und den Finanzierungsmöglichkeiten Rechnung tragen muss. Er hat drei Funktionen zu erfüllen:

- Er ist Ausdruck der vom Investor geforderten Mindestverzinsung des in der Investition gebundenen Kapitals.
- Er ist Maßstab für die Finanzierungskosten des Eigen- und Fremdkapitals.
- Er macht als Diskontierungsfaktor die Einnahmen- und Ausgabenströme vergleichbar.

Beurteilt wird die absolute Vorteilhaftigkeit (Einzelinvestition) nach der Kapitalwertmethode wie folgt:

- Ist der Kapitalwert positiv, so wird durch die Investition eine höhere Verzinsung des eingesetzten Kapitals erzielt als mit dem kalkulatorischen Zinsfuß vorausgesetzt.
- Ist der Kapitalwert negativ, so erreicht die Investition die geforderte kalkulatorische Verzinsung, des Kapitaleinsatzes nicht.
- Ist der Kapitalwert gleich Null, wird die Mindestverzinsung genau erreicht.

Für die Beurteilung der relativen Vorteilhaftigkeit von alternativen Investitionsmaßnahmen gilt, dass eine Investition A vorteilhafter ist als eine Investition B, wenn der Kapitalwert von A höher ist als der von B. Die Realisierung von A ist dann zu befürworten, wenn A außerdem dem Kriterium der absoluten Vorteilhaftigkeit genügt, d. h. einen positiven Kapitalwert besitzt.

Bei der Methode des **internen Zinsfußes** wird der interne Zinsfuß p_i (Diskontierungszinssatz), der zu einem Kapitalwert von Null führt, d. h. bei dem die Barwerte der Einnahmen- und Ausgabenreihen gleich groß sind, gesucht. Nach dieser Methode ist eine Einzelinvestition absolut vorteilhaft, wenn der interne Zinsfuß p_i einen bestimmten Wert erreicht, z. B. 5 % über dem aktuellen Kapitalmarktanlagezins. Eine Investition A ist relativ vorteilhaft im Vergleich zu einer Investition B, wenn sie einen höheren internen Zinsfuß aufweist als B. Zusätzlich muss der interne Zinsfuß von A einen vorgegebenen Mindestwert erreichen, damit die Maßnahme empfohlen werden kann.

Die **Annuitätenmethode** weist als Erfolgskriterium die Annuität, d. h. den finanzmathematischen Durchschnittsgewinn bzw. -verlust der Investition pro Jahr aus. Sie baut auf der Kapitalwertmethode auf. Die Annuität errechnet sich durch Umwandlung des Kapitalwertes der Investition in eine Rente von n Jahren durch Multiplikation des Kapitalwertes mit dem reziproken Rentenbarwertfaktor.

Die absolute Vorteilhaftigkeit einer Investition ist gegeben, wenn ihre Annuität nicht negativ ist. Dies ist definitionsgemäß; dann der Fall, wenn der Kapitalwert nicht negativ ist. Die relative Vorteilhaftigkeit einer Investition A ist gegeben, wenn sie eine höhere Annuität besitzt als die zu vergleichende Investition B. Weitere Voraussetzung ist, dass die Annuität von A positiv ist, es sei denn, dass im Alternativvergleich die Rangreihe der Vorteilhaftigkeit aufgrund negativer Annuitäten ermittelt werden soll, z. B. der Baunutzungskosten.

Die Anwendung von **Nutzen-Kosten-Untersuchungen** (NKU) empfiehlt sich für Investitionen größeren Umfangs, die nicht einzelwirtschaftliche (betriebliche), sondern gesamtwirtschaftliche (gesellschaftliche bzw. soziale) Nutzen- und Kostenwirkungen haben. Im Wesentlichen haben sich drei Verfahren durchgesetzt:

- die Nutzen-Kosten-Analyse (KNA)
- die Nutzwertanalyse (NWA) und
- die Kostenwirksamkeitsanalyse (KWA).

Die beiden letztgenannten Verfahren erlauben die Einbeziehung nicht monetär bewertbarer Faktoren in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen. Sie kommen daher durchaus zur Beurteilung von einzelwirtschaftlich relevanten Alternativen in Betracht, bei denen nicht monetär bewertbare Zielkriterien eine besondere Rolle spielen. NKU verursachen einen erheblich höheren Aufwand als Wirtschaftlichkeitsberechnungen (WB). Sie erlangen aufgrund der Bedeutung des jeweiligen Investitionsvorhabens ihre Rechtfertigung. Seit 1969 sind in Deutschland **Kosten-Nutzen-Untersuchungen** bei öffentlichen Maßnahmen vorgeschrieben, und zwar in:

- § 7 Abs. 2 Bundeshaushaltsordnung (BHO) für den Bund
- § 6 Abs. 2 Haushaltsgrundsätzegesetz für die Länder
- § 10 Abs. 2 Gemeindehaushaltsverordnung für die Gemeinden

Eine gängige Methode zur Durchführung dieser Untersuchungen ist die **Kosten-Nutzen-Analyse**. Das Bundesfinanzministerium hat 1973 "Erläuterungen zur Durchführung von Nutzen-Kosten-Untersuchungen" als Erlass herausgegeben. Mit Hilfe der Kosten-Nutzen-Analyse hat die Öffentliche Hand ein Instrumentarium zur vorherigen Prüfung der Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme. **Zielsetzung** ist die ökonomische Bewertung von öffentlichen Vorhaben, von Infrastrukturvorhaben, als Vorbereitung der politischen Entscheidung. Die Auswahl der Projekte orientiert sich an der Effizienz und den zu verfolgenden Zielen. Zu den Anwendungsbereichen zählen Verkehrs-, Bildungs- und Gesundheitsinfrastruktur. Die Kosten-Nutzen-Analyse trägt dazu bei, alle bei einem Vorhaben voraussichtlich anfallenden Kosten und alle prognostizierten Nutzen miteinander zu vergleichen. Abschließend erfolgt eine getrennte Aufaddierung der Kosten und des Nutzens und beide werden schließlich ins Verhältnis zu einander gesetzt.

Gemäß **Definition** ist die Kosten-Nutzen-Analyse eine Methode, die öffentliche Projekte nach ihrer wirtschaftlichen Ergiebigkeit bewertet. Die Methode stammt aus der angewandten Wohlfahrtsökonomie. Diese verfolgt das Ziel, marktliche und nichtmarktliche Allokationsmechanismen nach dem Kriterium Effizienz zu optimieren. Wohlfahrt wird dabei allerdings auf ökonomische Kategorien reduziert (Bruttosozialprodukt, Einkommen etc.). Im englischsprachigen Raum ist die Methode als Cost-Benefit-Analysis verbreitet. Für die Kosten-Nutzen-Analyse bedeutet dies, dass gesamtwirtschaftliche Kosten und Nutzen einbezogen werden und sie zur Orientierung der Marktpreise dienen, so dass unterschiedliche Maßnahmen auf Geldniveau skaliert werden können. Die Methode ist auf eine ökonomische Rationalität (Erreichen der Ziele mit dem geringsten Geldeinsatz) ausgerichtet. Sie könnte auch auf eine soziale (Erreichen der Ziele mit niedrigster unerwünschter Umverteilung zwischen sozialen Gruppen) oder ökologische Rationalität (Erreichen der Ziele mit geringster Beanspruchung natürlicher Ressourcen) ausgerichtet sein.

Nach dem **Bruttonutzenprinzip** werden alle Werte mit positivem Vorzeichen als Nutzen und alle Werte mit negativem Vorzeichen als Kosten betrachtet, während beim **Nettonutzenprinzip** Betriebs- und Unterhaltungskosten (operation costs) als negative Nutzen betrachtet und von den Nutzen abgezogen werden, bevor durch die Investitionskosten dividiert wird, also

Bruttonutzenprinzip:

$$\frac{\sum \text{Nutzen}}{\sum \text{Investitionskosten} + \sum \text{Betriebskosten}}$$

Nettonutzenprinzip:

$$\frac{\sum \text{Nutzen} - \sum \text{Betriebskosten}}{\sum \text{Investitionskosten}}$$

Dies hat Auswirkungen auf das Ergebnis. Das Nettonutzenprinzip verstärkt gute und schlechte Ergebnisse gegenüber dem Bruttonutzenprinzip, wirtschaftliche Projekte erscheinen dadurch noch wirtschaftlicher, unwirtschaftliche noch unwirtschaftlicher, in der Nähe des Nutzen-Kosten-Verhältnisses von 1 wirkt sich die Wahl des Prinzips kaum aus. Die Wahl des Prinzips hat keinen Einfluss auf die Reihung von Alternativen bei der Bewertung oder ob eine Alternative als wirtschaftlich oder nicht betrachtet wird. Allerdings kann ein nennenswerter Einfluss auftreten, wenn das Nutzen-Kosten-Verhältnis als absoluter Maßstab für die Effizienz angesehen wird oder Alternativen verglichen werden, die nach unterschiedlichen Prinzipien durchgerechnet wurden.

Im nächsten Schritt (Selektivität) der Methode werden wichtige Entscheidungen getroffen. Wird eine Maßnahme isoliert oder als Bestandteil eines Systems betrachtet? Welche Ziele werden einbezogen und wie werden sie in monetär messbare Indikatoren umgesetzt? Diese Entscheidungen sind politisch und sollten nicht einem Gutachter oder Vorhabenträger überlassen werden, denn letzterer wird alles einbeziehen, was seine Maßnahme begünstigt, und nach Möglichkeit nur solche Kosten betrachten, die nicht von der Hand zu weisen sind. Alle Wirkungen, die sich nicht monetär messen lassen, sind intangibel, d. h. sie können nicht in die Berechnung des Nutzen-Kosten-Verhältnisses einfließen und daher nur nachrichtlich in die Abwägung eingestellt werden. Somit erhalten sie eine schwächere Position gegenüber den "objektiv" errechneten direkten Wirkungen. Dies gilt unabhängig davon, ob die intangiblen Wirkungen im Einzelfall wichtig oder unwichtig sind. Dadurch wirkt die Kosten-Nutzen-Analyse strukturell selektiv, indem durch die Methode und nicht durch die Sache bestimmt wird, was einbezogen wird und was nicht. Intangibel sind die meisten sozialen und ökologischen Auswirkungen. Es gibt keinen Markt für öffentliche Güter wie Biotop oder wildlebende Arten, also auch keinen Marktpreis. Verschmutzungsrechte versucht man derzeit über Zertifikate einem Markt zuzuführen, ohne dass ein durchschlagender Erfolg erkennbar wäre. Man versucht sich mit Näherungslösungen zu behelfen, indem man sogenannte Schattenpreise berechnet. Schattenpreise sind keine Marktpreise, aber aus marktlichen Bezügen abgeleitet. Dazu gibt es fünf Varianten die Ersatzpreise, die offenbarte Konsumentenpräferenz, die abgeleitete Nachfrage, die Umfragen und die Kompensationskosten. Alle diese Methoden zur Ermittlung von Schattenpreisen sind für unterschiedliche intangible Wirkungen brauchbar. Jedoch können nicht mit einer der Methoden alle Intangibles erfassen werden. Allerdings erzeugen unterschiedliche Methoden oft unterschiedliche Werte für denselben Sachverhalt, so dass die Vergleichbarkeit der ermittelten Werte fraglich ist.

Die Nutzen-Kosten-Untersuchungen sind trotz aller Unzulänglichkeiten nach wie vor Pflicht für Infrastrukturmaßnahmen. Allerdings werden sie inzwischen flankiert von anderen Prüfverfahren wie der Umweltverträglichkeitsprüfung. Die Methode hat Vorteile, denn Geld ist prinzipiell der eingängigste Vergleichsmaßstab bei mehrdimensionalen Zielsystemen. Es ist besser vermittelbar als abstrakte, dimensionslose Zahlen und leichter überschaubar als mehrseitige Argumentationen. Daher gibt es Versuche, intangible Wirkungen durch angemessene Monetarisierung zu reduzieren. In der Bundes-

verkehrswegeplanung ist die Kosten-Nutzen-Analyse Grundlage für die Einordnung in die Kategorien vordringlicher oder weiterer Bedarf, also ob mit dem Neubau oder Ausbau in den nächsten fünf Jahren begonnen wird oder nicht. Beim Plan von 1992 wurde die Grenze beim Kosten-Nutzen-Verhältnis von 1,4 gezogen und alle Vorschläge, die darüber lagen, kamen in den vordringlichen Bedarf, einige mit dem Hinweis "trotz erheblicher ökologischer Probleme". Städtebauliche und Umweltbelange werden in ergänzenden Bewertungen hinzugefügt. Bei der Bildung von Rangfolgen von Projekten mit Hilfe des Nutzen-Kosten-Verhältnisses sind einige der dargestellten Probleme irrelevant, z. B. ob nach dem Netto- oder Bruttonutzenprinzip gerechnet wird, weil die Probleme alle Projekte gleichermaßen bevor- oder benachteiligen. Einige Probleme lassen sich dadurch mildern, dass systematisch Wirkungsannahmen und interne Bewertungen variiert werden und die Auswirkungen solchen Handelns auf das Ergebnis prüft. Durch solche Sensitivitätsanalysen werden strukturelle Wirkungen sichtbar. Dennoch ist bei Kosten-Nutzen-Analysen Vorsicht geboten. Man darf die Ergebnisse keinesfalls absolut sehen, sondern muss hinterfragen, ob sie aufgrund interner Wertungen oder weggelassener Sachverhalte Mängel aufweisen. Die Kosten-Nutzen-Analyse sollte für den Zweck genutzt werden, für den sie erfunden worden ist, für die ökonomische Bewertung. Eine Zweckentfremdung durch eine mehr oder weniger aufgesetzte Bewertung von sozialen und Umweltauswirkungen sollte vermieden werden. Stattdessen müssen parallel und gleichberechtigt (nicht nur flankierend) Sozial- und Umweltverträglichkeitsprüfungen durchgeführt werden.

Die **Nutzwertanalyse** hat die Aufgabe herauszufinden, wie groß der Nutzwert einer bestimmten Maßnahme oder eines Projekts ist. Dazu werden Alternativen oder Varianten verglichen. Der Nutzwert ist ein relativer Wert. Er wird jedoch nicht monetär angegeben. Die Methode wurde aus den Ingenieurwissenschaften heraus entwickelt, um Probleme der Kosten-Nutzen-Analyse zu überwinden. Denn diese bewertet die wirtschaftliche Effizienz und ist auf monetär bestimmte Ziele ausgerichtet. Die Nutzwertanalyse ist ein nicht monetäres Bewertungsverfahren aus dem Bereich der Kostenrechnung. Mit ihrer Hilfe sollen nicht monetäre Teilziele vergleichbar gemacht werden, um so eine Entscheidung zwischen Alternativen treffen zu können. Die Nutzwertanalyse ist eine Planungsmethode zur systematischen Entscheidungsvorbereitung bei der Auswahl von Projektalternativen. Sie analysiert eine Menge komplexer Handlungsalternativen mit dem Zweck, die einzelnen Alternativen entsprechend den Präferenzen des Entscheidungsträgers bezüglich eines mehrdimensionalen Zielsystems zu ordnen. Die Nutzwertanalyse kann für alle Mehrzielentscheidungen als Hilfestellung eingesetzt werden. Sie wird nach einem Ablaufschema durchgeführt:

- Ober- und Unterziele bestimmen und in einer Zielhierarchie sortieren
- Kriterien ableiten, die aus diesen Zielen hervorgehen
- Festlegung der K.O. – Kriterien und der Soll – Kriterien
- Gewichtung Soll – Kriterien (Wie wichtig ist dieses Kriterium zur Erreichung des Oberziels?)
- Punktebewertung (1 schlecht – 10 sehr gut) der Varianten für die jeweiligen Kriterien
- jeweilige Gewichtung des Kriteriums mit der Punktebewertung der Alternativen multiplizieren
- Die Summe aller Multiplikationen einer Alternativen ergeben das Endergebnis.
- Die Alternative mit den meisten Punkten ist nach der subjektiven Bewertung der Kriterien die sinnvollste.
- Wenn notwendig kann zur Überprüfung der Robustheit des Ergebnisses eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt werden. Wobei die Gewichtung der Kriterien sinnvoll verändert wird.

2.3 Betrachtung von Bilanzierungsverfahren im Blick auf unterirdische Infrastruktur und eine angepasste Verfahrensauswahl

2.3.1 Leitungstunnelbau

Da im Leitungstunnelbau aufgrund der Größe der ausgeschriebenen Projekte meist keine Umweltverträglichkeitsstudien durchgeführt werden, daher auch kaum Erfahrungen (positiv gleich wie negativ) hinsichtlich der Verwendung der UVP existieren, bezieht sich der bisherige Kenntnisstand im Prinzip auf einen Vergleich von offener und geschlossener Bauweise sowie die sich daraus ergebenden Mängel in der Verfahrensauswahl.

Die Anwendung von offenen und geschlossenen Bauweisen ist sehr stark von der Planung und den zuständigen Entscheidungsträgern abhängig. Noch immer werden offene Bauverfahren bevorzugt, obwohl eine geschlossene Bauweise unter Berücksichtigung aller Kostenarten zumeist günstiger wäre, vor allem unter Einbeziehung der aus der Baumaßnahme resultierenden indirekten Kosten. Das Thema Umweltschutz wird bei der Entscheidung zudem zu selten mit einbezogen. Weiterhin hängt die Wahl der Bauweise maßgebend von der sicheren Beherrschung des Baugrundes und der darin liegenden Risiken ab. Im Hinblick auf eine Quantifizierung kann das Risiko, welches der Baumaßnahme innewohnt und das sich aus der Versagenswahrscheinlichkeit und dem Schadensausmaß ergibt, jedoch nicht allein durch Unwägbarkeiten unter Berücksichtigung der Baugrundverhältnisse ermittelt werden.

Ein wichtiger Vergleich zwischen der offenen und geschlossenen Bauweise lässt sich anhand der Kosten anstellen. Neben den bisherigen direkt bezifferbaren Kostenarten, die durch Kosten der Baudurchführung verursacht werden, sind die indirekten oder sozialen Kosten mit in die Kostenbetrachtung bzw. Vergleich der Wirtschaftlichkeit einzubeziehen. Indirekte Kosten sind dabei die Folgen externer Wirkungen der Baudurchführung und betreffen somit Dritte. Sie werden den Planungs-, Genehmigungs- oder Herstellungskosten nicht zugerechnet und entstehen zum Beispiel durch:

- Verkehrsbehinderung bzw. Verkehrslenkungsmaßnahmen
- Beeinflussung der Anlieger (insbesondere Umsatzeinbußen des Einzelhandels)
- Lärm- und Schadstoffemissionen durch Bau und Verkehr
- Schädigung der Vegetation und der Grundwasserverhältnisse
- Verkürzung der Restnutzungsdauer von Straßenoberflächen und damit verbundener Wertminderung

Betrachtet man diese Erkenntnisse, so wird deutlich, dass derzeit für den Bereich des Leitungstunnelbaus eine Bewertungsmethodik fehlt, die einerseits direkte und indirekte Kosten der jeweilig zur Verfügung stehenden Bauverfahren berücksichtigt und andererseits Auskünfte über die ökologische Verträglichkeit des einzelnen Verfahrens in den Entscheidungsprozess einbindet. Die hierbei zu Grunde gelegten Bewertungsmaßstäbe sind an den hier erläuterten Vorgaben zu orientieren, sollten aber projektspezifischer in den Bewertungsprozess integriert werden.

2.3.2 Verkehrstunnelbau

Im Verkehrstunnelbau steht eine Vielzahl von Bauverfahren zur Verfügung. Anders als im Leitungstunnelbau ist hier die geschlossene Bauweise, allein aus geologischen und logistischen Überlegungen heraus, in den meisten Fällen vorzuziehen. Im Vorfeld von Verkehrstunnelbauprojekten ist eine Bewertung (Umweltverträglichkeitsprüfung) der ökologischen Auswirkungen in jedem Fall erforderlich. Wie bereits erläutert, treten bei der Ausführung von Umweltverträglichkeitsprüfungen deutliche methodische Defizite auf. Eines der Hauptprobleme liegt darin, dass die UVP / UVS nur den fertigen Zustand des Bauwerkes bewertet. Auf die verschiedenen Bauverfahren, und die aus ihnen ganz spezifisch heraus entstehenden Eingriffe in die Umwelt, wird in der Regel nicht eingegangen, auf die während der Bauphase entstehenden Auswirkungen nur in beschränktem Maße. Ein besonderes Augenmerk jeder ökologischer Bilanzierung und Bewertung sollte jedoch auf den verfahrensrelevanten Wirkfaktoren liegen. Hier besteht nach A. Bechmann (Bericht an den Bundesumweltminister: Das Praxisdefizit der Umweltverträglichkeitsprüfung, 2003 [LIT]) ein erhebliches Defizit. Dieses Defizit basiert auf drei Faktoren:

- Praxisdefizit: Antragsteller und Behörden erfüllen ihre UVP-Aufgaben nicht angemessen
- Institutionalisierungsdefizit: Die UVP ist in Deutschland nicht leistungsfähig institutionalisiert wie es erforderlich wäre
- Professionalisierungsdefizit: Die UVP wird in Deutschland nicht mit der nötigen Professionalität betrieben

Aufgrund dieser Defizite entfaltet die UVP nur wenig Effizienz. Im Folgenden werden die Defizite erneut aufgegriffen und differenzierter beschrieben, wobei sich auf das Professionalisierungsdefizit als einzigem Defizit auf einer primären Handlungsebene beschränkt wird. Hierbei liegt die Überlegung zu Grunde, dass die Benennung der differenzierten Professionalisierungsdefizite als konkreter Ansatz für eine verbessernd wirksame Bewertungsmethodik verwendet werden können. Als Praxisdefizit wird hierbei eine Situation bezeichnet, in der die konkrete Ausführung der betreffenden Handlung deutlich hinter den Anforderungen zurückbleibt, die korrekterweise zu erfüllen wären.

Ein **Praxisdefizit** liegt insbesondere dann vor, wenn

- Verfahrensmängel auftreten, die negative Auswirkungen auf Beteiligte oder Öffentlichkeit haben
- geltendes Recht verletzt wird
- die zu beachtenden Regeln der guten fachlichen Praxis erheblich verletzt werden

Die sich daraus ergebenden, wichtigsten Merkmale des Praxisdefizits sind dabei:

- Verfahren werden in der Sache mit Mängeln behaftet sowie zeit- und kostenineffektiv geführt
- Verletzung von Rechtsvorgaben
- Regeln der zu erwartenden guten fachlichen Praxis werden nicht eingehalten

Das Vollzugsdefizit der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) in Deutschland zeigt sich in der UVP-Praxis in deren Bearbeitung durch die Behörde. Unter anderem treten hierbei die nachstehenden Defizite auf:

- Keine oder nur unzureichende Erstellung des voraussichtlichen Untersuchungsrahmens (§ 6 UVP)

- Kein Protokoll der Zwischenergebnisse und folglich Verlust derer für das weitere Verfahren
- Fehlende Erarbeitung der zusammenfassenden Darstellung gemäß §11 UVP
- Fehlende Durchführung einer tauglichen Abschichtung zwischen vor- / nachgelagerten Verfahren
- Keine oder nur unzureichende Dokumentation des Verfahrens
- Einräumung eines unangemessen großen Freiheitsraums für die Gutachter des Antragstellers
- Keine angemessene Beachtung der Vorgaben bzgl. der Gestaltung einer Antragsunterlage nach § 6 UVP seitens der Fachgutachter und fehlende Rechtsanbindung deren Beiträge mit folgender Verfahrenerschwernis

Die Bearbeitung durch die Behörden führt in vielen Bereichen der UVP zu Verstößen gegen die Regeln der guten fachlichen Praxis z. B.:

- Keine angemessene Beachtung der Wechselwirkung
- Initiierung oder Selbstvornahme von Doppelarbeit aufgrund des Fehlens an angemessener Abgleichung von UVS, LBP und UVP
- Keine direkte Ausrichtung der Bestandsaufnahme an den Aufgaben der UVP seitens der Fachgutachter
- Unzureichende Beachtung der inhaltlichen Anforderungen des UVPG und der UVPVwV seitens der Gutachter
- Mangel an der Beherrschung gängiger Prognosetechniken und folglich Erstellung einer nur sehr pauschalen Wirkungsprognose seitens der Gutachter
- Unzutreffende Einordnung der umweltrelevanten Folgen des Vorhabens bzgl. Zeit und Raum
- Keine angemessene Beherrschung gängiger Bewertungsmethoden und eine daraus resultierende unklare Bewertungsergebniserzielung seitens der Gutachter
- Geringe Transparenz und begrenztes Vorliegen nachvollziehbarer Unterlagen

Gelingt es auf dieser Basis ein Bewertungsverfahren zu entwickeln, das die benannten Defizite berücksichtigt und gleichzeitig einen Überblick über verfahrensimmanente Primär- und Sekundärkosten ermöglicht, so entsteht die praxisnahe Alternative einer Bewertungsmethodik, im Gegensatz zur abstrakten Bewertung nach dem Schema UVS/UVP.

2.4 Fazit

Die Ausführungen dieses Kapitels haben gezeigt, dass derzeit nur bedingt methodische Vorgaben existieren, die es Betreibern oder Planern ermöglichen, auf Basis abgesicherter Erkenntnisse ein hinsichtlich ökologischer und ökonomischer Kriterien optimales Bauverfahren für eine Baumaßnahme auszuwählen. Im Folgenden wird daher eine alternative Bewertungsmethodik entwickelt, die vorhandene Defizite der gängigen UVP-Praxis aufgreift und diese im Rahmen der Evaluierung berücksichtigt. Zwingend notwendig für die Anwendung einer solchen Methodik sind Kenntnisse hinsichtlich der ökologischen Auswirkungen und der ökonomischen Rahmendbedingungen einzelner Bauverfahren für die Errichtung unterirdischer Infrastruktur. Da dieses Wissen beim Einzelnen nicht immer im dafür notwendigen Umfang vorhanden ist, müssen diese Parameter zunächst – soweit möglich – verfahrensspezifisch erarbeitet werden.

3 Erarbeitung ökologischer und ökonomischer Bewertungsparameter in Abhängigkeit vom Bauverfahren

3.1 Ökologische Bewertungsparameter

3.1.1 Allgemeines und Vorgehensweise

Um die potenziellen Auswirkungen von Tunnel- und Leitungsbauwerken auf die jeweiligen Schutzgüter prognostizieren zu können, müssen neben den umweltbezogenen auch projektbezogene Inhalte berücksichtigt werden. Bei den projektbezogenen Inhalten handelt es sich um potentielle Wirkungen, die vom Bau bzw. der Sanierung des Tunnel- oder Leitungsbauwerkes ausgehen. Diese Wirkungen werden im Folgenden Wirkfaktoren genannt. Die Wirkfaktoren (Lärm, Schadstoffe, Flächeninanspruchnahme, Erschütterungen, Erscheinungsbild, Grundwasserabsenkungen, Bodenverdichtungen, Luftverschmutzung, Stör- und Unfälle) sind hierbei unabhängig von den Schutzgütern (vgl. UVP) auf die sie einwirken, verursachen jedoch unterschiedliche Umweltbeeinträchtigungen.

Um die Umweltschutzwirkungen bzw. ökologischen Parameter (Wasser, Boden und Ausbruchsmaterial, Luft, Flora, Fauna und Habitate, Energie- und Rohstoffverbrauch, Gelände- und Geländeformverformungen, Lärm und Erschütterung) in Bezug auf die Verfahrensbewertung kontrollieren und steuern zu können, bedarf es einer Vielzahl von Informationen und Daten. Diese bilden die Grundlage aller ökologischen Entscheidungen. Daher ist die systematische Informations- und Datenaufbereitung zwingende Voraussetzung, soll eine ökologische Bewertung ernsthaft betrieben werden.

Im Zuge der Studie wurden mit Blick auf die verschiedenen Verfahren zum Bau unterirdischer Infrastruktur verfahrensimmanente Einflussparameter ermittelt und tabelliert. An dieser Stelle sollen nun lediglich kurze, allgemeine Erörterungen zu den einzelnen Schutzgütern und Wirkfaktoren erfolgen. Hinsichtlich einer exakten, verfahrensbezogenen Darstellung verweisen wir an dieser Stelle auf die Langversion der Studie.

3.1.2 Wirkfaktoren und Schutzgüter

3.1.2.1 Wasser

Grundwasser ist im Boden versickertes Niederschlags- oder Flusswasser, das sich über den wasserundurchlässigen Schichten sammelt. Ist ein Gefälle in diesen Schichten vorhanden, so fließt bzw. strömt das Grundwasser ähnlich wie Oberflächenwasser. Auf Grund von Baumaßnahmen wird der Grundwasserspiegel primär durch Staukörper und temporäre Wasserhaltungen beeinflusst. Im Hinblick auf ökologische Aspekte, werden Veränderungen des Grundwasserspiegels grundsätzlich Auswirkungen auf die Flora sowie auf die vorhandene Bebauung haben. Im Grundwasser stehende Baukörper erhöhen den Grundwasserspiegel stromaufwärts und senken ihn stromabwärts um den gleichen Betrag. Hierbei sind lange Bauwerke, wie z. B. Tunnel, die auf einer grundwasserundurchlässigen Schicht stehen und somit weder um- noch unterströmt werden können, als Extremfälle anzusehen. Das Trockenhalten von Baugruben, deren Sohle unterhalb des Grundwasserspiegels liegt, wird mit **Grundwasserabsenkungen** verwirklicht. Der entstehende Absenkrichter wird in seiner Größe

von der Absenktiefe s und vom Durchlässigkeitsbeiwert k_f bestimmt. Die Reichweite R der Grundwasserspiegelveränderung kann mit der Formel nach Sichardt abgeschätzt werden. Hierbei ist im Tunnel- und Leitungsbau zwischen der geschlossenen und offenen Bauweise zu differenzieren. Die offene Bauweise greift im Verhältnis zu der geschlossenen Bauweise stark in die Vegetation ein. Als Bewertungsgröße für die offene Bauweise sollte die Größe derjenigen Flächen herangezogen werden, die außerhalb des Baufeldes durch eine Grundwasserabsenkung betroffen sind. Diese Fläche ist berechenbar, wenn Angaben zum Grundwasserspiegel, zum Gründungsverfahren, insbesondere zur Lage der Baugrubensohle, zum Durchlässigkeitskennwert des Baugrundes k_f und zur Größe der Baustelleneinrichtung vorliegen. Im Hinblick auf die geschlossene Bauweise sollte die gesamte Fläche betrachtet werden. Die tatsächlichen Auswirkungen sind von der Art der Vegetation, der Bebauung sowie von der Dauer und dem Zeitpunkt der Absenkung abhängig und müssen im Einzelfall prognostiziert werden. Im innerstädtischen Bereich ist eine Grundwasserabsenkung meist nicht zulässig.

Verkehrstunnelbau und Grundwasser

Allgemein ist festzustellen, dass bei oberflächennahen Tunnelbauwerken meist Grundwasser ein Hauptproblem ist. Bei großen Überlagerungen tritt das Problem der Spannung / Gebirgsfestigkeit in den Vordergrund. Das Grundwasser kann infolge von erhöhtem Zufluss sowie Beeinträchtigung der Gebirgsfestigkeit den Vortrieb erschweren. Im Endzustand des Tunnelbauwerkes ergeben sich Probleme aufgrund des Wasserdruckes, der chemischen Zusammensetzung des Grundwassers, der Drainage / Abdichtung und der Drainagewasserableitung bzw. -entsorgung. Umgekehrt kann das Tunnelbauwerk das durchhörte Grundwasserregime lokal bis großräumig sowie temporär bis permanent beeinträchtigen. Das Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushaltes verlangt ein Gleichgewicht zwischen Grundwasserentnahme und Grundwasserneubildung [10].

Tunnelbauwerke im Lockergestein kommen meist während der Bauphase mit dem Grundwasserschutz in Berührung, seltener im Endzustand, da sie als wasserdichte Röhren ausgebildet werden. Felstunnel in Gebirgen stellen nach bisherigen Erfahrungen kaum Probleme hinsichtlich des quantitativen Grundwasserschutzes dar. Konflikte ergeben sich im Gebirge bei großen Durchlässigkeiten in Verbindung mit großem Wasserdruck.

Ein Vortrieb im grundwassergefüllten Lockergestein ist ohne ein Ausschließen des Grundwassers oder aber einer temporären Grundwasserabsenkung nicht möglich. Die Grundwasserabsenkung wird bei oberflächennaher Lage mittels Fassungs-systemen oder in bestimmten Fällen auch mit voraus-eilenden Pilotstollen bewerkstelligt. Der Vortrieb selbst erfolgt, je nach Größe des Ausbruchquerschnittes, im Schutze der Grundwasserabsenkung in Voll- oder Teilquerschnitten. Für die Sicherung des Vortriebes stehen bei kleinen Profilen im Wesentlichen Vortriebslanzen oder Spieße zur Verfügung. Bei großen Ausbruchquerschnitten erfolgt der Vortrieb im Schutze eines Schildes. Vor allem in standfesten, leicht bindigen Böden kann ein Vollausbuch mittels TVM erfolgen. Bei schlechter Standfestigkeit können zusätzlich voraus-eilende Baugrundverfestigungen mittels Injektionen oder Jetting erforderlich werden, sie dienen auch als Abdichtungselemente. Der Abbau der Ortsbrust kann je nach Bodenbeschaffenheit und Vortriebsmethode mittels Baggern, Fräsköpfen oder Schneidrädern erfolgen. Temporäre Grundwasserabsenkung ist nicht erlaubt oder unwirtschaftlich beim konventionellen Vortrieb im Lockergestein. Dort kommen vor Beginn der Arbeiten temporäre Maßnahmen zum Zuge. Eine

temporäre Vereisung eines wassergesättigten Baugrundes ist denkbar. Bei lang gestreckten Verkehrstunnel im mit Wasser gesättigten Lockergestein sind TVM wirtschaftlicher, die mit einem geschlossenen Schild zur Ortsbruststützung ausgerüstet sind. Fallweise ist zusätzlich eine Unterstützung durch Injektion oder Vereisung möglich.

Im Gegensatz zum Lockergestein weist der Fels als geklüftetes und geschichtetes oder geschiefertes Diskontinuum ein mittleres Porenvolumen von 1 bis 6 % auf. Störungszonen hingegen sind z. T. wie Lockergesteinsgrundwasserleiter zu betrachten. Angesichts der meist höheren Überdeckungen von Felstunneln kann als Störungen Grundwasser mit entsprechend hohem Druck austreten. Im Bereich solcher Zonen kommen spezielle Baumaßnahmen (Vorbohrungen, Felsabdichtungen) zum Einsatz.

Grundsätzlich stehen zwei Ausbaumöglichkeiten der drainierte oder der wasserdichte Tunnel zur Verfügung. Es gibt verschiedene Bauweisen (zweischalige Bauweise, einschalige Bauweise, Kombinationslösungen), die je nach Vortriebsart und Gebirgsverhältnissen variieren können [11].

Wechselwirkungen von Baustoffen und Grundwasser

Ein weiterer Aspekt für die ökologische Bewertung des Grundwassers stellen die engen Wechselwirkungen zwischen Grundwasser und Baustoffen (Beton, Betonzuschlagstoffe, Betonzusätze, Betontrennmittel, Epoxidharze, Bodenconditionierungsmittel, Injektions- und Verpressmaterialien) dar. Diese sind momentan wenig detailliert betrachtet worden, sind allerdings im Zusammenhang mit dieser Studie von großer Bedeutung. Tatsache ist, dass die Menge und Anzahl der verwendeten Chemikalien sowie der Einsatz von Reststoffen und Ausbruchsmaterial nicht nur im Tunnel- und Leitungsbau stark zugenommen haben. Neben dem Verbrauch an Produkten der chemischen Industrie ist auch der Einsatz von Reststoffen, etwa aus Recyclingmaterialien aus abgebrochenen Bauwerken oder aufbereitete Ausbruchsmaterialien ständig gestiegen [12]. Es ist daher zu beachten, dass der zunehmende Einsatz von Chemikalien und Reststoffen ein gewisses Risiko birgt, da die Stoffe in Kombination mit dem Grundwasser reagieren und das Grundwasser beeinträchtigen bzw. wassergefährdende Stoffe eintragen. Eine Beurteilung von Grundwassergefährdungspotentialen durch Baumaßnahmen ist allerdings schwierig, da die Art und Zusammensetzung der verwendeten Baustoffe sehr vielfältig ist. Zudem liegen genaue Kenntnisse über Art und Menge der eingesetzten Materialien meist nicht vor. Das Ausmaß, in dem die Qualität des Grundwassers tatsächlich gefährdet wird, hängt nicht nur von der Menge der verwendeten Stoffe und ihren Eigenschaften ab. Die natürlichen Bodenverhältnisse und andere Einflussfaktoren, wie Grundwasserchemismus, Mikroorganismen im Boden- und Grundwasserbereich, klimatische Bedingungen etc., gehen in die Qualitätsbewertung mit ein. Im Allgemeinen kann das Grundwasser durch unterschiedlichste wassergefährdende Stoffe und anthropogene (durch Menschen geschaffene) Einflüsse nachhaltig verunreinigt und beeinträchtigt werden [12]. Die Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit durch die Nutzung von Baustoffen entsteht, wenn beim Zutritt von Wasser die Materialbestandteile des Bauwerkes in Lösung gehen und ausgewaschen werden. Dabei sind nicht nur Bauwerke im Grundwasser, wo ein direkter Stoffeintrag stattfinden kann, betroffen, sondern auch oberhalb des Grundwasserspiegels gelegene Baukörper, die mit Niederschlagswasser, oberirdischen Wasser oder Sickerwasser in Berührung kommen. Gelöste Bestandteile werden durch das Sickerwasser in das Grundwasser transportiert. Um Aussagen über die Grundwasserbeschaffenheit treffen zu können, muss diese im natürlichen, anthropogen unangetasteten Zustand

untersucht werden [12]. Für die Bewertung der Grundwasserbeeinflussung ist entscheidend, inwiefern die Mobilität, also das Ausbreitungsverhalten im Boden, der ausgetragenen Stoffe relevant wird.

Oberflächenwasser / Brauchwasser

Die EU hat strenge Regeln für die Einleitung von Abwasser in Oberflächenwasser aufgestellt. Diese Anordnungen beinhalten eine Liste von Grenzkonzentrationen für die Verschmutzung von Abwasser, während der Herstellung bzw. der Betriebsphase gelten. Vor jeglichen Arbeiten im konstruktiven Bereich ist es notwendig, ein Gutachten über die Boden- und Grundwasserqualität zu erstellen. Sofern eine Grundwasserverschmutzung vorliegt, ist diese aus der Baugrube abzupumpen und liegt keine Erlaubnis zur Einleitung in das Oberflächenwasser vor, sind Messungen heranzuziehen und durchzuführen. Das gesammelte Abwasser kann direkt auf der Baustelle behandelt werden oder in einer Abwasserreinigungsanlage eingeleitet werden. Falls dies nicht möglich ist, muss eine geeignete Lösung, die von der jeweiligen Situation abgängig ist, gefunden werden. Tunnelvortriebsmaschinen erzeugen ebenfalls Abwasser. Dabei kann es zu Verschmutzungen durch stabilisierende Substanzen (Bentonit) kommen. Schadstoffe wie hydraulisches Öl, Fette, etc. können das Wasser verschmutzen. Das Schmutzwasser sollte entweder zur Kläranlage abgeführt oder direkt ins Oberflächenwasser abgeleitet werden, wobei hier der Grad der Verschmutzung entscheidend ist. Die EU führt eine lange Liste von maximal zulässigen Verschmutzungskonzentrationen des Abwassers auf. Die Beeinträchtigung des Ökosystems aufgrund der Verschmutzung hängt von der Konzentration, Belastung, Toxizität und Dauer der Einwirkung auf die Umwelt ab. Ist eine Aufbereitung des Abwassers notwendig, so können in diesen Fällen die Kosten der Aufbereitung als Einheit der Verschmutzung herangezogen werden.

3.1.2.2 Boden

Der **Boden** erfüllt vielfältige Funktionen, die für Menschen grundlegend sind, z. B. Wasserfilterfunktion, Bau- und Rohstofflager, Nahrungsmittelproduktion, natur- und kulturhistorische Archivfunktion sowie Naturerfahrung. Die Bodenart wird bestimmt durch Korngröße und jeweilige Zusammensetzung der mineralischen und organischen Bodenpartikel. Bei der Korngröße unterscheidet man Ton, Schluff, Sand und Kies. Sie ist abhängig vom jeweiligen Ausgangsgestein. Wichtige Eigenschaften des Bodens wie Durchlässigkeit, Wasserhaltevermögen und Filterfunktion resultieren aus der Bodenart. Innerhalb der Siedlungsbereiche sind die Böden durch Baumaßnahmen und Umlagerungen sowie das Einbringen einer Vielzahl von Substraten wie Asphalt und Beton mehr oder minder stark verdichtet oder versiegelt. Charakteristische Böden mit typischen Bodenfunktionen kommen daher fast nur in unbebauten bzw. wenig bebauten Bereichen vor. **Ausbruchsmaterial** resultiert aus dem eigentlichen Vortrieb der Verkehrstunnel- oder Leitungstunnelbaumaßnahme und der in diesem Zuge relevanten Tiefbaumaßnahmen. Beim Vortrieb fällt meist Erdausbruch oder Gebirgsausbruch an, der je nach Tiefenlage und örtlichen Gegebenheiten sehr unterschiedlich beschaffen sein kann. Allgemeine Bestandteile des Ausbruchsmaterials sind in den oberen Schichten Mutterboden und bei vorausgegangener baulicher Nutzung Bauschutt, die häufig nicht getrennt ausgehoben werden können. Darunterliegend befinden sich in Abhängigkeit der regionalen Geologie Festgesteine oder lockere Sedimentgesteine. Sand und Kies stellen mengenmäßig den weltweit wichtigsten Rohstoff dar, der vorwiegend für Bauzwecke abgebaut wird. Der Marktwert dieser mineralischen Rohstoffe liegt nach den Energieträgern Erdöl, Steinkohle und Erdgas an vierter Stelle. Der intensive Abbau führte in diversen Gebie-

ten zu einer Mangelsituation. Oftmals sind Umweltinteressen und -gesetze, die zu Abbaurestriktionen in Kiesgebieten führen. Ein nicht zu unterschätzendes Potential an Kiesersatzmaterialien stellt das Ausbruchsmaterial von unterirdischen Bauwerken dar. Tunnelausbruchsmaterial wurde bis vor einigen Jahren eher als überflüssiges Material klassifiziert und entsprechend wie Bodenaushub oder Bauschutt behandelt. Die Aufbereitung des Ausbruchs zu Kiesersatz galt infolge der vor einigen Jahren noch zahlreich vorhandenen alluvial (geologischer Fachbegriff für angeschwemmt) Kiesvorkommen als wirtschaftlich uninteressant. Materialbewirtschaftungskonzepte der heutigen Tunnel- und Leitungstunnelbauten sehen vermehrt eine breite Weiterverwertung der anfallenden Ausbruchsmaterialien vor. Die Vorteile einer Weiterverwendung sind Selbstversorgung mit Baurohstoff, Reduktion von Transportfahrten, Verkauf an Dritte und positive Auswirkung auf die ökologischen Aspekte. Materialbewirtschaftungskonzepte aktueller Untertagebauten sehen vor, auch geeignetes Ausbruchsmaterial aus dem TBM-Vortrieb zu Spritz- und / oder Betonaggregaten aufzubereiten. Die Konsistenz sowie die Qualität (Standicherheit), Kontaminierung (toxische Bestandteile) des abgebauten Bodens differiert stark in Abhängigkeit der gewählten Abbaumethode. Im Gegensatz zu Festgesteinsvortrieben beispielsweise besitzt der abgebaute Boden eines Schildvortriebes (Hydroschild, Erddruckschild) einen mehr oder weniger großen Feuchtigkeitsgehalt, der aus dem Wassergehalt des anstehenden Bodens und des Stützmediums resultiert. Ziele der Kreislaufwirtschaft sind nicht vermeidbare Abfälle soweit wie möglich zu verwerten, den Schadstoffgehalt der Abfälle so gering wie möglich zu halten und eine umweltverträgliche Behandlung und Ablagerung der nicht verwertbaren Abfälle sicherzustellen. Dabei gelten für Baureststoffe die folgenden Anforderungen, soweit nicht durch eingehende Verordnungen geregelt, sollen die verwertbaren Anteile von Straßenaufbruch, Bauschutt- und Baustellenabfällen sowie Bodenaushub vor Ort getrennt erfasst und einer Verwertung zugeführt werden. Schadstoffbelastete Materialien sind davon getrennt zu erfassen und einer weitergehenden Entsorgung zuzuführen. Dabei soll Straßenaufbruch nach entsprechender Aufbereitung erneut im Straßenbau eingesetzt werden, Bauschutt soll einer Bauschutttaufbereitung zugeführt und aufgearbeitet werden (als Zuschlagstoff) und Bodenaushub soll im Landschaftsbau, zur Rekultivierung, zur Trassierung von Verkehrswegen oder in der Land- und Forstwirtschaft verwertet werden. Mit dem Inkrafttreten des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes soll der bisherige offene, lineare Stofffluss durch einen angestrebten Kreislauf ersetzt werden.

3.1.2.3 Luft

Unter **Luftverunreinigungen** versteht das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) eine Veränderung der natürlichen Luftzusammensetzung, insbesondere durch Ruß, Staub, Gase, Aerosole, Dämpfe oder Geruchsstoffe. Luftverunreinigungen können sich je nach Witterungsverhältnissen weiträumig und schnell verteilen. Man bezeichnet die von einer Anlage ausgehenden Beeinträchtigungen der Umwelt durch Luft verunreinigende Stoffe, ebenso wie durch Geräusche, Erschütterungen oder Strahlen als Emissionen. Sie wirken auf Mensch und Umwelt ein. Diese Einwirkung bezeichnet man als Immission. Eine Vielzahl von Luft verunreinigenden Stoffen (organische Verbindungen (Kohlenwasserstoffe), staubförmige anorganische Stoffe, dampf- oder gasförmige anorganische Stoffe, Stickoxide, Kohlenstoffmonoxid, Kohlenstoffdioxid, Fluor-, Chlor- Schwefelwasserstoffe), die Umwelt und Gesundheit des Menschen gefährden, wird durch den Begriff Luftverschmutzung zusammengefasst.

Die Nutzung von Baumaschinen, Bauwerkzeugen und -geräten, sowie von Baufahrzeugen verunreinigt die Luft durch Stäube und Abgase. Bei Erd- und Aushubarbeiten in trockenen Verhältnissen treten Verwirbelungen dieser Stoffe auf, die sich im umgebenden Luftraum verteilen und zu einer Belastung für Menschen, Tiere und Pflanzen werden. Weitere Luftverunreinigungen treten bei der Herstellung der Baumaterialien, sowie bei deren Transport auf. Luftschadstoffe, die über längere Zeit in geringer Konzentration auf die Atemorgane einwirken, verursachen Atemwegserkrankungen. Durch Luftverunreinigungen hervorgerufene Schädigungen an Kulturpflanzen setzen die Erträge in der Land- und Forstwirtschaft herab. Der Verfall von Bauwerken kann durch Luftschadstoffe erheblich beschleunigt werden. Außer Stein werden auch Putz und Beton durch Luftimmissionen angegriffen. Hauptursache der Verwitterung ist die Schwefelsäure, die aus Schwefeldioxid und Luftfeuchtigkeit unter Oxidation entsteht. Die bei Abwitterungsprozessen auftretende Zerstörung wird durch Erschütterungen beschleunigt. In der Bauphase eines Tunnels wird die Luftverschmutzung nahe der Tunnelportale überwiegend durch austretende Abgase verursacht, die aufgrund von Verbrennungsmotoren (z. B. Elektro-Generatoren, Tunnelbohrmaschinen, Bagger, Radlader, etc.) entstehen. Emissionen können mit Hilfe des Kraftstoffverbrauchs und Standards für Motoremissionen im Betriebszustand kalkuliert werden.

3.1.2.4 Flora, Fauna und Habitats (FFH)

Bei der offenen Bauweise wird die bestehende Flora und Fauna im Bereich der Baustelle zerstört. Durch Aushubarbeiten wird der gesamte Bodenbereich einschließlich der Vegetationsdecke entfernt. Der Einsatz von Baggern neben der Tunneltrasse bzw. intensiver Baustellenverkehr führen zur Zerstörung der Pflanzendecke und zur Verdichtung des Bodens. Die Lagerung von Materialien entzieht den darunter befindlichen Pflanzen das Licht und verdichtet den Boden. Auswaschungen der Materialien dringen in den Boden ein und kontaminieren ihn. Zerstörte Bereiche können durch Rekultivierungsmaßnahmen wieder in einen naturnahen Zustand versetzt werden [DIN 18920:2002]. Je nach Art der FFH und Standort ist das Ausmaß der Schäden oft erst nach Jahren erkennbar. Ein sichtbarer Schaden ist das Absterben von Bäumen sowie die Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit von Bäumen. Ein weiterer Schaden ist der Artenrückgang einer besonders vom Aussterben bedrohten Population. Daher sind Maßnahmen erforderlich, die die natürlichen Lebensräume und die Populationen wildlebender Tiere und Pflanzen in einem günstigen Zustand erhalten oder diesen wiederherstellen. Der natürliche Lebensraum der FFH ist durch geographische, abiotische und biotische Merkmale gekennzeichnet.

Zum Erhalt der Natur und biologischen Vielfalt hat die EU zwei Richtlinien (79/409/EWG, 92/43/EWG) erlassen, die auf der einen Seite dem Artenschutz dienen und auf der anderen Seite einen Beitrag zum Aufbau und Schutz eines kohärenten europäischen ökologischen Netzes „Natura 2000“ von Schutzgebieten, d. h. Gebiete gemeinschaftlicher Bedeutung (FFH-Richtlinie) und Europäischen Vogelschutzgebieten (Vogelschutzrichtlinie), leisten sollen. Im Falle von Konzertierungsgebieten (BNatSchG § 10, Absatz 1, Nr. 7) ist mittels eines Konzertierungsverfahrens durch die europäische Kommission zu klären, inwieweit diese für das Netz „Natura 2000“ von Bedeutung sind. In Deutschland gelten die Vorschriften der §§ 11 und 69 bis 71 BNatSchG unter Beachtung des jeweiligen Landesrechts. Straßen- und Leitungstunnelbauprojekte müssen laut § 34 BNatSchG vor ihrer Zulassung oder Durchführung auf die Verträglichkeit mit den Schutzgebieten der EU geprüft werden. Folglich

sind gemäß § 16 sämtliche Neu- und Ausbautvorhaben von Tunneln (§ 35 BNatSchG) einer FFH-Verträglichkeitsprüfung zu unterziehen, sofern sie einzeln bzw. im Zusammenwirken mit anderen Projekten zu erheblichen Umweltbeeinträchtigungen der Natura 2000-Gebiete führen oder sich außerhalb dieser Gebiete befinden und Beeinträchtigungen der Umwelt höheren Ausmaßes hervorrufen können.

Die Vorplanung eines Straßen- bzw. Leitungstunnelbauprojektes kann zu einer Favorisierung einer Bauvariante führen, deren Ausführung erhebliche Beeinträchtigungen eines Natura 2000-Gebietes zur Folge haben kann. In diesem Fall ist in einem zweiten Schritt zu prüfen, ob durch geeignete Maßnahmen die Umweltbeeinträchtigung ausgeschlossen werden können.

3.1.2.5 Parameter des Energie- und Rohstoffverbrauches

Daten über den Materialeinsatz und die Gesamtenergieverbräuche sind auf den Baustellen vorhanden. Meist ergibt sich aus den Gesamtdaten jedoch kein verwertbarer Erkenntnisgewinn. Entscheidende Potentiale für ökologische und ökonomische Verbesserungen lassen sich erst aufspüren, wenn die Datenerfassung sehr detailliert und systematisch durchgeführt wird, die Daten sinnvoll dargestellt und ausgewertet werden und eine permanente Erfolgskontrolle erfolgt. Zukunftsorientierte Unternehmen erstellen deshalb Öko-, Umwelt- oder input-output-Bilanzen. Dabei wird der gesamte Input an Energie, Bodenverbrauch, Vorprodukten, Stoffen und Materialien ebenso erfasst wie der Output an Emissionen und Abfällen. Die Darstellung erfolgt in den jeweiligen physikalischen Einheiten, was eine Aggregation der verschiedenen Größen unmöglich macht. Daher müssen ergänzend besondere Bewertungsverfahren verwendet werden, um die relevanten Handlungsfelder zu ermitteln. Rechtliche Regelungen zur Vermeidung von Umweltbelastungen insbesondere durch Baustoffe, aber auch durch Bauprozesse, lassen sich sowohl im Umweltrecht als auch im Baurecht finden, wobei seit Beginn der 90er eine kontinuierliche Zunahme der Vorschriften zu verzeichnen ist. Während das Umweltrecht allgemeine, nicht bauspezifische Anforderungen zum Schutz von Umweltmedien formuliert und damit indirekt den Vorgang der Herstellung, Verwendung und Entsorgung von Baustoffen tangiert, regelt das Baurecht die Zulassung von Baustoffen, insbesondere im Hinblick auf deren Eignung zur Erfüllung spezifischer Funktionalitäten wie etwa Stabilität, Festigkeit und Feuerschutzeigenschaften.

3.1.2.6 Lärm und Erschütterung

Auf Verkehrstunnel- und Leitungstunnelbaustellen kommen folgende Geräte, von denen ein Geräuschpegel ausgeht, zum Einsatz:

- Baumaschinen (z. B. Teil- und Vollschnittmaschinen, Vortriebsschilde, Bohrwagen, Bagger, Ramm- und Ziehgeräte, Maschinen zur Lüftung und Entstaubung),
- Baufahrzeuge (z. B. Lkw, Muldenfahrzeuge, Zugmaschinen, Sattelschlepper),
- Anlagen (z. B. Aufbereitungsanlagen, Brecher, Entwässerungseinrichtungen) und
- technische Geräte (z. B. Sägen, Gesteinsbohrmaschinen, Kompressoren).

Dabei erzeugen Antriebsaggregate und Kraftübertragungselemente Eigengeräusche und es entstehen Arbeitsgeräusche zwischen Maschine und Arbeitsgut. Beide Schallquellen verursachen einen hohen Geräuschpegel. Dies gilt auch für den Transport von Baustoffen zur Baustelle bzw. von Bauschutt zur Deponie oder anderen Baustellen. Die Geräuschemissionen einer Baustelle wirken als Geräuschim-

missionen auf die Anwohner in Baustellennähe ein und werden von ihnen häufig als störend empfunden. Störenden Schall bezeichnet man als Lärm. Während der Begriff „Schall“ eine physikalische Größe darstellt, die objektiv messbar ist, beinhaltet der Begriff „störend“ eine subjektive Komponente. Ein und dieselbe Schallquelle kann zur gleichen Zeit auf verschiedene Menschen (intersubjektiv) bzw. zu verschiedenen Zeiten auf den gleichen Menschen (intrasubjektiv) störend oder nicht störend wirken. Der psychische und physische Zustand eines Menschen spielt dabei eine wichtige Rolle, ebenso die positive oder negative Einstellung zur Schallquelle. Im Vergleich zur geschlossenen Bauweise verursacht der Geräteeinsatz in der offenen Bauweise, meist durch Baggerarbeiten sowie Asphalt-schneide- und Aufbrucharbeiten und durch die Lkw-Fahrten, viel Lärm. Der Faktor Lärm anfall im Vergleich zur geschlossenen Bauweise beträgt dabei mindestens 10:1 vielfach jedoch das 20- bis 50-fache. Auf Grund der Gesundheitsgefährdungen durch Lärm und der dadurch bedingten Reduzierung der Grenzwerte in der neuen LärmVibrationsArbSchV besteht für den gesamten Tunnelbau nach wie vor die Notwendigkeit, Lärmexpositionen zu minimieren. Ein Ansatzpunkt liegt in der Nutzung technischer Möglichkeiten und entsprechender Auswahl lärmreduzierter Arbeitsverfahren, die allerdings bereits bei der Arbeitsvorbereitung der Baustelle, berücksichtigt werden müssen. Der Lärmschutz wird durch das Bundesimmissionsschutzgesetz und die 16. Bundesimmissionsschutzverordnung geregelt. Die Verordnung legt gebietsspezifische Lärmgrenzwerte für Tag und Nacht sowie Berechnungsgrundlagen fest. Sofern ein Anspruch auf Lärmschutz besteht, wird dem aktiven Lärmschutz (Wände, Wälle) der Vorrang vor dem passiven Lärmschutz (z. B. Lärmschutzfenster) eingeräumt. Durch Materialwahl und entsprechende Gestaltung wird eine Einpassung der Lärmschutzeinrichtung in die landschaftliche und städtebauliche Umgebung angestrebt.

Ein länger andauernder Schalldruck von 85 dB(A) kann das menschliche Hörorgan schädigen und bis zur Lärmschwerhörigkeit führen. Bei extremen Schalldruckpegeln von mehr als 120 dB(A) hat unter Umständen schon ein einmaliges Schallereignis eine Taubheit (akutes Schalltrauma) zur Folge. Studien der letzten Jahre haben klar aufgezeigt, dass Lärm gravierende Auswirkungen nicht nur auf das Hörorgan, sondern auf den gesamten Organismus haben kann. Geräusche von 65 bis 75 dB(A) erzeugen Stress. Drei Prozent aller Herzinfarkte gehen nach Schätzungen des Umweltbundesamtes (UBA) auf Lärmstress zurück. In höheren Konzentrationen erzeugte Stresshormone können zu Schwächungen des Immunsystems, zu Schlafstörungen, Magengeschwüren und zu Herz-Kreislauf-Erkrankungen führen. Eine Verminderung der Lärmemissionen bei Baumaßnahmen durch primäre bzw. sekundäre Schallschutzmaßnahmen ist wichtig. Unter primären Maßnahmen versteht man Technologien zur Verringerung des Lärms an der Quelle selbst. Sekundäre Maßnahmen sind solche, welche die Lärmimmission beim Empfänger oder zwischen Lärmquelle und Empfänger reduzieren.

Vibrationen werden auch als Schwingungen oder Erschütterungen bezeichnet. Wirkungen der Vibrationen auf den Menschen können von Belästigung und Leistungsminderung über Gesundheitsgefährdung bis zur Gesundheitsschädigung reichen. Erschütterungen (Vibrationen) treten im Verkehrstunnel- und Leitungstunnelbau etwa bei Vortriebsmaschinen, Gesteinsbohrern, Kompressoren und Sprengungen auf. Im Bereich der Baustelleneinrichtung können durch Rammarbeiten Vibrationen entstehen. Physikalisch betrachtet handelt es sich bei Vibrationen um periodische Schwingungen von Stoffen und Körpern. Diese sind entweder selbst elastisch oder bestehen aus elastisch verbundenen Teilen oder Bausteinen. Vibrationen sind für Menschen und Tiere fühlbar. Sie können an jeder Stelle

des Körpers einwirken. Sie werden als spürbare Schwingungen durch Gleichgewichts- und Tastsinn wahrgenommen bzw. als Körperschall durch das Gehör. Inwieweit der Mensch Erschütterungen als störend empfindet, hängt wie auch beim Lärm besonders von Stärke, Dauer und Intensität ab und ist nach der jeweils vorliegenden Situation zu beurteilen und subjektiv geprägt. Dabei wird eine dauerhaft anhaltende Vibration eher als störend empfunden, als eine kurz aufkommende. Eine langfristig einwirkende Schwingungsbelastung führt zu gesundheitlichen Schäden wie Durchblutungsstörungen, Nervenleiden und Schädigungen des Skelettsystems. Erschütterungen bestimmter Intensität und Dauer führen weiterhin zu einer Beschädigung technischer Geräte bzw. beeinträchtigen deren Gebrauchstauglichkeit. Ebenso verursachen sie Schäden an Bauwerken. Hier besteht die Gefahr von Resonanzen (Frequenz stimmt mit Eigenfrequenz überein) und damit von zerstörerischen Auswirkungen auf das Gebäude. Außerdem erzeugen Erschütterungen an Gebäuden dynamische Zusatzspannungen in einzelnen Bauteilen. Diese lösen Rissbildungen aus. Übersteigt die Lastkombination aus vorhandener Spannung und Zusatzspannung die Festigkeit des Bauwerkes, kann dies das Versagen von Bauteilen zur Folge haben. Neben dieser direkten Einwirkung treten Schäden auch durch indirekte Einwirkung auf, etwa auf Grund von erschütterungsbedingten Baugrundsetzungen.

Eine Beeinträchtigung der Standsicherheit von Gebäuden und Bauteilen sowie eine Verminderung der Tragfähigkeit führen zu einer außerplanmäßigen Wertminderung von Gebäuden. Diese Wertminderung ist auch gegeben, wenn Risse im Putz von Wänden auftreten, bereits vorhandene Risse in Gebäuden vergrößert werden oder Trenn- bzw. Zwischenwände von tragenden Wänden oder Decken abreißen. Bei locker bis mitteldicht gelagerten Böden (Sand, Kies) können starke Erschütterungen eine Sackung des Bodens und damit Setzungen zur Folge haben. Selbst bei Erschütterungsstärken, die aus direkter Schwingungsbeanspruchung keine Gebäudeschäden verursachen, können bei sehr erschütterungsempfindlichen Böden und dauernd oder sehr häufig wiederkehrender Erschütterungswirkung Fundamentverschiebungen auftreten. Eine weitere Folge von Erschütterung ist die Bodenverflüssigung (Liquefaktion), was den nahezu vollständigen Verlust der Tragfähigkeit von Sand- und Schluffschichten im Grundwasser durch dynamische Einwirkungen bedeutet [13].

3.2 Ökonomische Bewertungsparameter

3.2.1 Allgemeines

Eine ganzheitliche wirtschaftliche Betrachtung einer Investition umfasst nicht nur die Untersuchung der direkten Kosten zur Erstellung eines Bauwerkes, sondern ebenfalls die indirekten Kosten sowie die Folgekosten durch Nutzung, Instandsetzung und Abriss. Dabei ist zu beachten, dass die direkten Erstellungskosten relativ gut abschätzbar und bewertbar sind, während Kosten durch Nutzung, Instandsetzung und Abriss für unterirdische Infrastruktur derzeit nur relativ unscharf abgebildet werden können. Grund hierfür ist die Tatsache, dass bislang keinerlei Kostenmodelle und Kostenprognosen für solche Bauwerke erarbeitet wurden. Die indirekten Kosten einer Baumaßnahme sind sehr individuell bzw. stark abhängig von den angetroffenen Randbedingungen und können nur sehr schwer monetär abgeschätzt werden. Aufgrund dieser Tatsache werden die indirekten Kosten in dieser Studie in Form einer Nutzwertanalyse berücksichtigt und Kosten aus Nutzung, Instandsetzung und Abriss zu-

nächst ausgeblendet. Hinsichtlich direkter Kosten wird im weiteren ein Relativvergleich auf Basis technisch gleichwertiger Lösungen empfohlen.

Die Erstellungskosten von Bauwerken im Hochbau werden auf Grundlage der DIN 276 ermittelt. Die DIN 276 „Kosten im Hochbau“ gilt für die Ermittlung und Gliederung von Kosten im Hochbau. Sie erfasst die Kosten zur Herstellung, zum Umbau und zur Modernisierung der Bauwerke sowie die damit zusammenhängenden Aufwendungen. Für den Bereich Tunnelbau und Leitungstunnelbau existiert derzeit ein solches Regelwerk nicht. Im Folgenden werden daher die Kosten im Tunnelbau klassifiziert. Wichtig im Rahmen der Reduzierung von Baukosten ist ein abgestimmtes Gesamtpaket, welches sich aus folgenden Maßnahmen zusammensetzt:

- gute Planung mit Berücksichtigung der notwendigen Vorlaufzeiten
- rechtzeitige Vorbereitung der einzelnen Baumaßnahmen
- Reduzierung der Erschließungskosten
- Reduzierung der Bauwerkskosten und der Bauzeit durch Vorfertigung und Verwendung von Serienelementen, gute Koordination des Projektablaufs, sinnvolle Reduzierung der Standards
- Reduzierung der Instandhaltungskosten durch hohe Qualitätsstandards

3.2.2 Benennung von Kostenarten für unterirdische Infrastruktur

Kosten im Verkehrstunnel- und Leitungstunnelbau

Kosten für Rohbau:

- Bau der Portalblöcke
- Portalvorfeld
- Betriebsgebäude
- Zufahrten
- Fluchtwege
- Pannenbuchten
- Notrufrischen

Kosten für Technik (Verkehrstunnelbau)

- Brandmeldeeinrichtung
- Lüftungstechnik
- Löscheinrichtung mit Rückhaltebecken
- Kommunikationseinrichtungen (Notruf, Funk, Videoüberwachung, etc.)
- Leittechnik
- Verkehrsbeeinflussungseinrichtungen

Kosten für Ausbau und Dichtung

Kosten für Drainage

Betriebskosten:

- Lüftung
- Beleuchtung
- Datentransfer für die Überwachung und Wartung / Instandhaltung (Dränagespülungen, Tunnelwäsche, etc.)
- Inspektion

Kostenentstehung in Abhängigkeit von Gelände und Baugrund

Kosten infolge mangelnder Gebirgsüberdeckung:

- Kosten für Galerie
- Kosten für die Herstellung von Pfählen
- Kosten für künstliche Traggewölbe
- Kosten für Baustelleneinrichtung und Logistik

Kosten aufgrund von Gebirgseigenschaften:

- Kosten steigen mit abnehmender Gebirgsfestigkeit
- Hohe Kosten im Festgestein für Sicherungen aufgrund ungünstiger geologischer Verhältnisse
- Kosten für Sicherung aufgrund von Inhomogenität des Gebirges
- Kosten aufgrund nicht dokumentierten Altbergbau, singulären vulkanischen Ausbildungen oder Erdfällen

Kosten infolge ungünstiger Portallage:

- Kosten für Sicherung

Kosten aufgrund umwelttechnischer Aspekte:

- Kosten bzgl. Altlasten und Deponien

Kosten für Tunnel unter Grundwasserspiegel:

- Kosten für Ableitung des Wassers aus dem Tunnel
- Kosten für Grundwasserabsenkung
- Kosten für Setzungen infolge der Grundwasserabsenkung
- Restwasserhaltung im Tunnel
- Kosten für die Beeinflussung der Vegetation infolge der Grundwasserabsenkung
- Wartung dauerhafter Dränagen und Reinigung von Versinterungen
- Kosten aus Wasserzutritten durch schadhafte Dichtelemente oder sich verändernde Bergwasser-
verhältnisse
- Kosten aufgrund der Grundwasserchemie z. B. Belastung aus Altlasten, Deponien, etc.

Kostenentstehung in Abhängigkeit von Umweltfaktoren

Kosten infolge von Setzungen:

- Kosten durch Überschreitung der Mindestdiefe des Tunnels
- Kosten durch Unterschreiten des Mindestabstandes zu benachbarten Gebäuden

Kosten bei Gebäudeunterfahrung:

- Kosten für Referenzttunnel
- Kosten für Rohrschirme
- Kosten für Unterfangungen

Kosten für die Aufrechterhaltung von Verkehrswegen:

- Kosten für Streckenumlegung
- Kosten für Hilfsbrücken

Kosten infolge von Lärm bei Nachbarbebauung:

- Kosten durch Verminderung des Sprengmitteleinsatzes
- Kosten durch Einschränkung der Arbeitszeiten

Geschlossene und offene Bauweise in der Kostenvergleichsrechnung

Bei einem Bauvorhaben eines Verkehrstunnels oder Leitungstunnels in geschlossener oder in offener Bauweise fallen diverse Kosten an, die zusammenfassend als Selbstkosten (SK) des Projekts bezeichnet werden. Die SK ergeben sich aus Summe der direkten und den indirekten Kosten. Direkte Kosten, auch Einzelkosten genannt, lassen sich dem Kostenträger direkt zurechnen, indirekte Kosten bzw. Gemeinkosten entstehen hingegen aus der Allgemeinheit und damit der Volkswirtschaft. Sie müssen zuerst über die Kostenstellenrechnung aufgeschlüsselt werden. Der Ablauf für die Berechnung der Selbstkosten ist nachfolgend dargestellt.

Materialeinzelkosten (MEK)
+ Materialgemeinkosten (MGK)
= Materialkosten (MK)
+ Fertigungseinzelkosten (FEK)
+ Fertigungsgemeinkosten (FGK)
+ Sondereinzelkosten der Fertigung (SEK _{Fert.})
= Fertigungskosten (FK)
(MK) + (FK) = Herstellkosten (HK)
+ Verwaltungsgemeinkosten (VWGK)
= Selbstkosten (SK)

Die Einzel- und Gemeinkosten des Materials ergeben die gesamten Materialkosten (MK). Diese bilden zusammen mit den Fertigungskosten (FK), ihrerseits gleichermaßen bestehend aus Einzel- und Gemeinkosten sowie Sondereinzelkosten der Fertigung, die Herstellkosten (HK) des Bauvorhabens. Um die gesamten Kosten und damit die Selbstkosten (SK) des Projektes zu erhalten, müssen die noch anfallenden Verwaltungsgemeinkosten (VWGK) in der Rechnung berücksichtigt werden und zu den bisherigen Herstellkosten addiert werden. Welche Kosten im Tunnelbau den verschiedenen Kostenarten zugewiesen werden, hängt entscheidend davon ab, ob die Baudurchführung in geschlossener oder in offener Bauweise stattfindet.

Kosten im Verkehrstunnel- und Leitungstunnelbau (geschlossene Bauweise):

Bei der Herstellung eines Tunnels unter Tage fallen diverse Kosten an, die in drei große Sparten unterteilt werden können, Fertigungskosten, Materialkosten und Verwaltungskosten. Die Summe aus

diesen bezeichnet die Selbstkosten des Projekts. Im Folgenden werden die Komponenten der drei Sparten näher erläutert.

Die Fertigungskosten (FK) setzen sich aus den Fertigungseinzel-, Fertigungsgemein- (FEK und FGK) und den Sondereinzelkosten der Fertigung ($SEK_{\text{Fert.}}$) zusammen. Es handelt sich hierbei um Kostenarten, die allein der Fertigung des Tunnels zugerechnet werden.

Fertigungseinzelkosten (FEK) sind Fertigungslöhne (einschl. gesetzlicher und tariflicher Zulagen) sowie fremde Lohnarbeit. Fertigungslöhne fallen an für Baumaschinen- Vorarbeiter (z. B. Schildfahrer), Spezial- Baufacharbeiter (z. B. Ringbauer, Mechaniker, Elektromonteur), Baufachwerker (z. B. Hilfsarbeiter, Monteur), Baugeräteführer (z. B. Lokführer, Kranfahrer, Radladerfahrer) und Baufacharbeiter. Das Personal erhält Erschwerniszulagen aufgrund von Schmutzarbeiten, Schacht- und Tunnelarbeiten sowie Lärm-, Leistungszuschläge, Zulagen für die Bedienung von Pressluftgeräten, und Arbeiten unter Druckluft, Sozialkosten, Lohnnebenkosten müssen bei der Bestimmung der Fertigungseinzelkosten berücksichtigt werden. Der Einsatz von Fremdpersonal für den Abtransport von Ausbruchbodenmassen, wird auch zu den Einzelkosten gerechnet, wobei hier die Zulagen für die Arbeiter zu beachten ist.

Die Fertigungsgemeinkosten (FGK) stellen Kosten dar, die über die Kostenstellenrechnung auf die Kostenträger verrechnet werden. Sie bestehen zum einen aus Kosten, die allgemein auf der Baustelle angefallen sind, z. B. Kosten für die Materialprüfung, den Transport von Material soweit dieser nicht einzeln zugerechnet werden kann, die technische Bearbeitung und Kontrolle des Bauprojekts, Sachversicherungen, Unfallstation, Werkzeuglager, Energie, Gehälter, Baustelleneinrichtung, Vorhaltung der allgemeinen Baustelleneinrichtung, Um- und Abbau der Geräte. Zum anderen sind Kosten für die Instandhaltung, Zinsen und Abschreibungen feste Bestandteile der Gemeinkosten. Instandhaltungsmaßnahmen müssen für diverse Baustellengeräte durchgeführt werden. Diese werden zum Teil unter Tage, über Tage als auch für den Transport eingesetzt. Für diese Geräte müssen Abschreibungen vorgenommen sowie ggf. Zinskosten geleistet werden. Weiterhin müssen noch die Kosten betrachtet werden, die aufgrund von Umwelteinflüssen entstehen. Sie werden unter dem Begriff der „sonstige Fertigungsgemeinkosten“ zusammengefasst. Beispielhaft für die Kostenart sind Oberflächenfolgekosten, in Abhängigkeit von der Oberflächendurchlässigkeit zum Untergrund sowie der Setzungs- und Erschütterungsempfindlichkeit des Untergrundes.

Unter Sondereinzelkosten der Fertigung ($SEK_{\text{Fert.}}$) fallen Verbrauchssteuern, Umsatzsteuern auf erhaltene Anzahlungen, Schablonen, Entwurfs-, Versuchs-, Forschungs- und Entwicklungskosten.

Die Materialkosten (MK), die sich allein auf den Materialbereich beziehen, werden als MK bezeichnet, welche analog zu den Fertigungskosten aus den Materialeinzel- und Gemeinkosten bestehen.

Die Materialeinzelkosten (MEK) werden dem Bauvorhaben direkt zugerechnet. Auf der einen Seite bestehen sie aus den Roh- und Hilfsstoffen, auf der anderen Seite werden viele Roh- und Hilfsstoffe fremdbezogen.

Materialgemeinkosten (MGK) sind Kosten der Materialverwaltung, Material- und Rechnungsprüfung und Betriebsstoffe müssen über die Kostenstellenrechnung aufgeschlüsselt und die GK des Materialbereiches dargestellt werden.

Verwaltungsgemeinkosten (VWGK) sind zusammenfassend alle Kosten die im Bereich der Verwaltung anfallen.

Kosten im Verkehrstunnel- und Leitungstunnelbau (offene Bauweise):

Analog zu der Kostenartenermittlung im Verkehrstunnel- und Leitungstunnelbau bei geschlossener Bauweise lassen sich die Selbstkosten in drei Sparten unterteilen, Fertigungs-, Material- und Verwaltungskosten, die wiederum in Einzel- und Gemeinkosten differenziert werden.

Fertigungseinzelkosten (FEK) bestehen auch bei der offenen Bauweise aus Fertigungslöhnen sowie fremder Lohnarbeit. Unterschiede ergeben sich in den Erschwerniszuschlägen, die hier lediglich für das Arbeiten unter Schmutzbedingungen anfallen. Zulagen für die Bedienung von Pressluftgeräten und das Arbeiten unter Druckluft entfallen ebenfalls. Der restliche Teil der Einzelkosten kann den Kosten der geschlossenen Bauweise entnommen werden.

Die Fertigungsgemeinkosten (FGK) unterscheiden sich in der offenen von der geschlossenen Bauweise hauptsächlich im Bereich der sonstigen Fertigungskosten. Es fallen hier z. B. Kosten durch Schädigung des Bewuchses an, die abhängig von evtl. auftretenden Wurzelschäden, Rindenschäden, Astschäden, Bodenverdichtungen, Grundwasserabsenkungen, Veränderung der Bodenstruktur, Unterbrechung im Nährstoffzyklus oder Schäden an Bewässerungsanlagen sind.

Direkte Kosten

Die Begriffe direkte Kosten / Einzelkosten finden sich in der Kostenrechnung wieder. Einzelkosten können für den einzelnen Kostenträger (z. B. Auftrag, Serie, Leistungseinheit) unmittelbar erfasst und diesem zugerechnet werden. Zu den Einzelkosten gehören im Industriebetrieb:

- Fertigungsmaterial: Materialentnahmescheine, Stücklisten, Konstruktionsunterlagen
- Fertigungslöhne: Auftragszettel, Laufzettel, Lohnlisten
- Sondereinzelkosten: Auftragszettel, Rechnungen, Lizenzen, Patentgebühren, Sonderwerkzeuge, Verpackung, Vertreterprovision, Ausgangsfrachten

Direkte Kosten, meist auch Einzelkosten genannt, sind einem Bauvorhaben bzw. einem Baulos sofort zu rechnen. Die anfallenden Kosten z. B. einer Tunnelbohrmaschine werden kalkulatorisch direkt einem Baulos zugeschrieben. Direkte Kosten können in diesem Fall der Stromverbrauch, die Werkzeugkosten, die möglichen Reparaturkosten des Schneidrades und die Lohnkosten für die TBM-Steuerung sein. Direkte Kosten entstehen während der Bauphase und der eigentlichen Tunnel- bzw. Leitungstunnelnutzungsphase. In der Bauphase sind dies: Fertigungsmaterial, Fertigungslohn, Lohnzuschläge und Nachtarbeitszuschläge und nach der Fertigstellung: Tunnelreinigungskosten, Wartungskosten (Fräsarbeiten an den Drainagen) und andere Instandhaltungskosten.

Investitions- und laufende Kosten

Investitionskosten sind Kosten, die bei der Erstellung, dem Erwerb oder der Erneuerung von unterirdischen Infrastrukturmaßnahmen einmalig entstehen. Sofern nicht Verwaltungsvorschriften oder andere spezielle Regelungen eine bestimmte Kostengliederung vorschreiben, sollte für eine Kostenvergleichsrechnung die folgende Einteilung vorgenommen werden [14].

- Kosten für Flächeninanspruchnahme mit gesonderter Ausweisung der Kosten für Ablösungen von Anlagen, Rechten u. ä. Die reinen Grundstückskosten sollten separat betrachtet werden
- Kosten für Projektentwicklung, Planung, Vermessung, Gutachten, Baugrunduntersuchungen etc.
- Bau- und Erschließungskosten einschließlich Bauleitungs- und Risikokosten.
- Re- / Ersatzinvestitionskosten für Anlagenteile, die während der Betriebsphase der Anlage zu ersetzen sind, da ihre wirtschaftl. Nutzungsdauer geringer ist als diejenige des Hauptbauwerkes.

Laufende Kosten sind die zum Betrieb, zur Wartung, Unterhaltung und Überwachung von Anlagen erforderlichen, in der Betriebsphase regel- oder unregelmäßig wiederkehrenden Aufwendungen. Dabei werden die laufenden Kosten wie folgt aufgeschlüsselt:

- Personalkosten (einschließlich Personalneben- und Verwaltungskosten)
- Sachkosten (Betriebs- und Hilfsmittel, Materialkosten für Instandhaltung usw.)
- Energiekosten (Strom, einschließlich Vorhaltekosten, Öl, Gas)

Indirekte Kosten

Indirekte Kosten bei offener Bauweise

- die Opportunitätskosten des Zeitverlustes durch Verkehrsumlenkungen und eingeschränkten Kfz-Parkplätzen
- Umweltkosten
- Imageschäden
- trägt die Allgemeinheit
- höhere Betriebskosten aufgrund verlängerter Wegezeiten
- Umsatzeinbußen der Einzelhändler
- geringere Gewerbesteuereinnahmen durch Gewinnminderungen
- durch Baufahrzeuge verursachte Vegetationsschäden

Indirekte Kosten bei geschlossener Bauweise

- ./.

Allgemeine indirekte Kosten bei offener und geschlossener Bauweise:

- Kosten für die Organisation / Verwaltungskosten für die Arbeitseinteilung
- findet oftmals Berücksichtigung mit einem pauschalen Prozentsatz (z. B. 20 %)
- Gehälter, Hilfs- und Betriebskosten
- Abschreibung, Kapitalkosten (Zinsen)
- Controlling, Entwicklung, Konstruktion, AV, Instandhaltung, Qualitätssicherung
- Betriebsfeuerwehr / Tunnelrettungszug
- Staubentwicklung (Gesundheit), Lärmentwicklung (Gesundheit)
- Kosten aus verspäteter Warenlieferung
- Folgekosten aus Suizidtättern

Die volkswirtschaftlichen Schäden durch Verkehrsstaus werden in Deutschland auf 4 bis 5 % des BIP (Bruttoinlandsproduktes) geschätzt. Staus verursachen Arbeitszeitverlust im Wert von 100 Mrd. Euro und 20 % vom Kraftstoffverbrauch wird ihnen zu gerechnet. Nicht nur Staus tragen zur Steigerung der indirekten Kosten bei, es sind auch Verkehrsumlenkungen und die daraus resultierenden Mehrverbrauch von Kraftstoffen und die durch erhöhte Straßennutzung entstehenden Straßenschäden.

Allgemein gesagt sind bei einer Auftragsvergabe die Gesamtkosten zu berücksichtigen, denn nicht immer ist das günstigste Angebot das beste Angebot. Ein neuer Aspekt sollte berücksichtigt werden. Wer trägt die indirekten Kosten und welche Höhe haben die indirekten Kosten?

- Allgemeinheit z. B. Umweltschäden oder Ressourcenverzehr
- oder Teile der Bevölkerung, die z. B. von Straßenreparaturen betroffen sind
- indirekte Erfassung, Spekulation, Schätzungen, mittels Prozentsätzen
- Bäume können bei Schäden gezählt und die Kosten für Neuanschaffung ermittelt werden
- Kosten und Ausmaß einer Grundwasser-, einer Luftverschmutzung, einer Lärmbelästigung

4 Entwicklung eines Bewertungsverfahrens zum Vergleich unterirdischer Infrastrukturprojekte

4.1 Anforderungen an ein Bewertungsverfahren

4.1.1 Allgemeines

Das Bewertungssystem soll Bauherren, Planer, Projektentwickler, Bauträger sowie Investoren und Fördermittelgeber gleichermaßen ansprechen und in seiner Abwicklung und Anwendung transparent und überschaubar bleiben. Der Aufbau des Bewertungssystems muss daher einfach strukturiert und leicht verständlich sein. Speziell für die ökologischen Parameter ist es wichtig, dass auch Parameter berücksichtigt werden können, die nicht in Geldeinheiten bewertbar sind. Außerdem sollte es möglich sein, die unterschiedliche Bedeutung einzelner Parameter für das Gesamtprojekt mit einzubeziehen, also eine projektbezogenen Wichtung einzelner Parameter vorsehen zu können..

Ein wichtiger Punkt ist die transparente Darstellung der einzelnen Bewertungskriterien und Gewichtungen, damit die Bewertung nachvollziehbar ist. Der Anwender soll das Bewertungssystem ohne intensive Schulung anwenden können. Die dazu notwendige Zeit sollte einen gewissen Rahmen nicht übersteigen. Zur besseren Verständlichkeit muss das Bewertungssystem zusätzliche Informationen zu den einzelnen Bewertungsparametern über die eigentliche Bewertung hinaus liefern. Der zusätzliche Informationsgehalt kann mit Hilfe von Sekundärliteratur noch weiter vertieft werden. Die Bewertung muss jedoch auch ohne Abrufen weiteren Informationen möglich sein. Das System muss zudem bei Bedarf an die individuellen Bedürfnisse des Anwenders angepasst werden können. Deshalb ist vorzusehen, dass die vorgegebene Gewichtung geändert, Parameter gestrichen oder neue Parameter hinzugefügt und die verwendeten Referenzwerte an die fortschreitende Entwicklung des Standes der Technik angepasst werden können.

Ziel der Bewertung ist die Optimierung der Planung. Die Beeinflussbarkeit nimmt jedoch mit fortschreitender Planung sukzessiv ab. Daher sollte die Bewertung möglichst zu einem frühen Zeitpunkt angesetzt werden. Dennoch ist zu beachten, dass zu Beginn der Planung meist nicht alle relevanten Informationen vorliegen. Deshalb ist der Bewertungszeitpunkt so zu wählen, dass die allmähliche Verdichtung von Informationen im Planungsprozess berücksichtigt ist. Somit empfiehlt sich eine stufenweise Bewertung. Die Ergebnisse der Bewertung müssen übersichtlich dokumentiert werden. Verschiedene Entwurfsalternativen sollten mit dem System gegeneinander abgewogen werden können. Außerdem ist es sinnvoll, die Stärken der Planung sowie die Optimierungspotentiale hervorzuheben.

4.1.2 Vorgehensweise zur Entwicklung des Bewertungsverfahrens

Im Folgenden ist ein exemplarischer Ablauf des Bewertungsverfahrens stichpunktartig dargestellt. Hierauf aufbauend wird dann in den kommenden Abschnitten die Bewertungsmethodik entwickelt:

- Durchführung einer auf Literaturrecherchen gestützte und durch die Auswertung von konkreten Baumaßnahmen fundierte Analyse der vorhabensspezifischen, stark vom Einzelfall geprägten Entscheidungssituationen:

- Abgrenzung des Entscheidungsbereiches für das zu entwickelnde Bewertungsmodell unter Berücksichtigung der verfahrensspezifischen Besonderheiten und speziellen Abhängigkeiten der unterschiedlichen Entscheidungsstufen von Projekten im Bereich unterirdischer Infrastruktur.
- Konzeption des Bewertungsmodells auf der Grundlage eines bereits in anderen Zusammenhängen erprobten Bewertungsverfahrens. Aufgrund der Tatsache, dass zum Bau von unterirdischen Infrastrukturmaßnahmen mehrere Verfahren mit zunächst unbestimmten Vor- und Nachteilen bezüglich der Ökologie und Ökonomie zur Verfügung stehen, welche z. T. monetär bewertbar sind, bietet sich eine Kosten-Nutzen-Analyse als geeignetes Bewertungsverfahren an. Dabei werden die nichtmonetären Aspekte durch eine Nutzwertanalyse und die monetär bewertbaren Aspekte durch eine Kostenanalyse erfasst. Beide Ergebnisse werden anschließend zu einer Gesamtaussage zusammengeführt.
- Unter Berücksichtigung der in vielen Bereichen vorherrschenden Einzelfallbesonderheiten ergeben sich spezifische Anforderungen an den Entscheidungsablauf, denen bei der Konkretisierung des Bewertungsmodells durch entsprechende Ergänzungen und Modifizierungen Rechnung getragen werden soll.
- Entsprechend der Systematik der Nutzwertanalyse soll im weiteren Verlauf der Bearbeitung ein für die Verfahrensauswahl allgemein anwendbares Zielsystem mit verfahrensrelevanten nichtmonetären Zielsetzungen als Grundlage für die Einzelfallentscheidung entwickelt werden. Anhand der formulierten Zielsetzung sollen sämtliche Vor- und Nachteile der möglichen einzelfallbezogenen Verfahrensauswahl erkannt werden und somit in die vergleichende Bewertung einfließen.
- Das Bewertungsmodell soll einerseits auf möglichst viele Bauprojekte von unterirdischen Infrastrukturmaßnahmen adaptierbar sein und andererseits bei der Einzelfallanwendung entscheidungsrelevante Aspekte erfassen. Notwendigerweise folgt hieraus die Entwicklung eines allgemeinen, d. h. auf eine große Bandbreite möglicher Bauprojekte übertragbares Zielsystem in Verbindung mit flexiblen Ansätzen zur einzelfallorientierten Operationalisierung (Operationalisierung = Art und Weise, wie ein theoretisches Konstrukt gemessen werden soll -> eine Auswertungsanweisung).
- Die Vor- und Nachteile der verschiedenen Bauverfahren werden stark von dem im Einzelfall vorhandenen Randbedingungen beeinflusst. Vor- und Nachteile alternativer Bauverfahren sind daher nicht in jedem Fall offensichtlich, sondern setzen eine umfassende Detailkenntnis der verfahrenstypischen Eigenschaften und Besonderheiten voraus.
- Naheliegende Konsequenz ist die systematische Erfassung der wesentlichen bewertungsrelevanten Aspekte / Parameter für die z. Z. verfügbaren Verfahren.
- Aufbauend auf den hierbei gewonnenen Erkenntnissen schließt sich die Entwicklung des mehrstufigen Bewertungsmodells und die Darstellung der vom Anwender im Einzelfall durchzuführenden Bearbeitungsschritte in ihrer logischen Abfolge an.

4.1.3 Kombination aus Kosten-Nutzen-Analyse und Nutzwertanalyse

Die Forderung nach der Messung und Bewertung von monetären und nicht-monetären Kriterien sowie der Berücksichtigung einer Vielzahl voneinander unabhängiger und abhängiger Kriterien und Parameter legt eine kombinierte Bewertung mittels Kosten-Nutzen-Analyse und Nutzwertanalyse nahe. Diese Kombination beruht auf der Definition von Bewertungsparametern, die je nach ihrer unterschiedlichen Bedeutung für den Bewertungsgegenstand gewichtet werden. Die Erfüllung jedes einzelnen Kriteriums (Zielsystem) wird für jedes Bauverfahren gemessen (kardinal, ordinal, nominal) und mit Erfül-

lungspunkten bewertet. Die Multiplikation der Erfüllungspunktzahl mit der Gewichtung führt zu einer gewichteten Bewertung für jedes Kriterium. Die Addition dieser Ergebnisse über alle Kriterien führt zu einer generellen Gesamtpunktzahl, welche die Erfüllung der Kriterien inklusive ihrer Bedeutung kennzeichnet. So können Alternativen miteinander verglichen werden, aber auch Schwachstellen, welche die Gesamtbewertung negativ beeinflussen, leicht erkannt werden [15].

4.1.4 Das Grundmodell von Bewertungen

Die Bewertung ist die Transformation von der Sachinformation zur Entscheidung. Sie bildet den Übergang von der Beschreibung der Wirklichkeit zur Handlungsempfehlung. Bewertungen sollten in der Planungsphase Grundlage für die Entscheidung für oder gegen bestimmte Bauverfahren sein. Bewertungen im Kontext nachhaltiger Entwicklung sollen dazu dienen, ein Urteil darüber zu fällen, ob ein bestimmtes Bauverfahren einen Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung leistet. Bewertungen verlaufen nach einem allgemeinen Grundmodell (Abbildung 2: Grundmodell von Bewertungen). Ein Bewertungssubjekt bewertet einen Bewertungsgegenstand (oder Wertträger). Dazu verwendet es ein Bewertungsverfahren und am Ende steht das Bewertungsergebnis. Dem Bewertungsverfahren liegen ein Wertmodell und ein Sachmodell zugrunde. Bestandteil des Wertmodells sind Ziele (bzw. ein Zielsystem) und Maßstäbe der Bewertung, Bestandteile des Sachmodells z. B. Indikatoren.

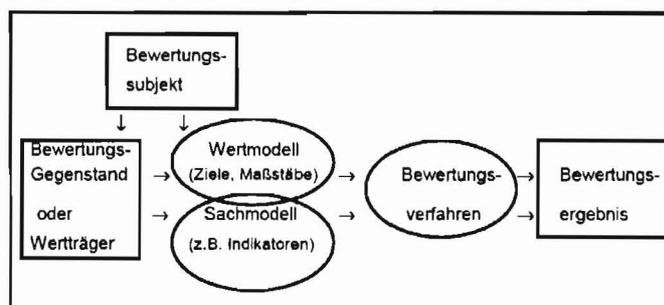


Abbildung 2: Grundmodell von Bewertungen

Unter dem Bewertungssubjekt sind Gruppen oder Institutionen zu verstehen, die legitimiert sind bzw. den Auftrag haben, eine bestimmte Bewertung durchzuführen. Der Bewertungsgegenstand oder Wertträger ist das Objekt, d. h. die Entwicklung, das Produkt, die Nutzungsstruktur usw., das bewertet werden soll. Die Wertebene in Form von Wertmaßstäben und Zielen von Bewertungen fließt von Anfang an in die Bewertungen ein, wobei in den Bewertungsprozessen durchaus methodisch zwischen Sachebene und Wertebene unterschieden werden kann und sollte. Die Trennung zwischen Sach- und Wertebene bzw. Sach- und Wertmodell kann jedoch nicht vollständig sein. Sach- und Wertmodell beeinflussen sich gegenseitig. Bewertungsziele und -maßstäbe sowie die Sachinformationen (z. B. Ausprägungen von Indikatoren) fließen in ein Bewertungsverfahren ein. Bewertungsverfahren legen die formale Struktur der Verknüpfungsregeln bzw. den Aggregationsalgorithmus fest. In der Raum- und Umweltplanung sind mehrere Bewertungsverfahren gebräuchlich, die sich allerdings nicht problemlos auf die Fragestellung übertragen lassen. Inwieweit ein Instrument, eine Nutzung oder eine raumstrukturelle Entwicklung nachhaltig ist oder nicht, ist zu entscheiden. Gebräuchliche Bewertungsverfahren der Raum- und Umweltplanung sind z. B. Kosten-Nutzen-Analysen, Nutzwertanalysen, ökologische Risikoanalysen oder verbal-argumentative Bewertungen.

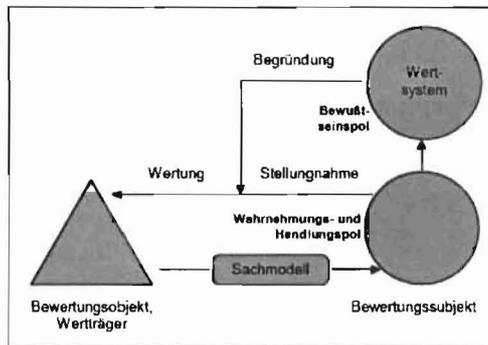


Abbildung 3: Grundmodell der Bewertung

- Bewertungsobjekt, Werträger: unterirdische Infrastrukturmaßnahme
- Bewertungssubjekt: Entscheidungsträger (welches Bauverfahren wird gewählt?)
- Wertsystem: Das Bewertungssubjekt / der Entscheidungsträger greift auf im Wertsystem verankerte Wertmaßstäbe zurück
- Abbildung 3 zeigt, dass am Zustandekommen einer Wertung sowohl ein Werträger (Objekt) als auch ein wertendes Subjekt (Bewerter) beteiligt sind und dass eine Wertung auf dem Zusammenspiel von Sachkenntnis, Stellungnahme und Wertbewusstsein beruht.

Gewichtung

Oft werden Indikatoren zu Indizes zusammengefasst (z. B. bei der Gewässergüte oder gar als ökologisches Risiko). Dann ist es eine zentrale Frage, wie wichtig die einzelnen Indikatoren im Systemzusammenhang sind, wie sie also gewichtet werden. Neben der Indikatorenauswahl steckt hinter ihrer Gewichtung eine schwerwiegende implizite Wertung. Das Problem der Gewichtung der Variablen hat inzwischen sogar die Gerichte intensiv beschäftigt. Planer dürfen solche Gewichtungen nicht willkürlich wählen, sondern müssen dabei das Gebot der Verhältnismäßigkeit beachten und die Bedeutung der Indikatoren im jeweiligen System richtig einschätzen.

4.2 Entwicklung eines problemspezifischen Bewertungsverfahrens

Auf Grundlage eines Planungsanlasses bzw. Planungsgegenstandes wird die Baumaßnahme mit Hilfe von einzelnen Faktoren zu einem Sachmodell entwickelt. Die einzelnen Faktoren werden dabei mittels Parameter beschrieben. Jeder Parameter unterliegt dabei einem Bewertungsmaßstab. Die Grundlage für die Einteilung der Parameter erfolgt nach ökologischen und ökonomischen Aspekten. Nach Aufstellung aller Parameter in einem Wertmodell wird eine Bewertung durchgeführt. Die grafische Darstellung soll dabei dem Benutzer als eine Lösungsfindung zur Planungsentscheidung dienen. Die Entwicklung des Bewertungsmodells erfolgt in mehreren Schritten. Dabei ist der Entscheidungsprozess in folgende Teilschritte untergliedert:

- Sachmodell:
 - o Systematische Erfassung der Ausgangssituation
 - o Vorauswahl
 - o Projektspezifische Bauszenarien und Randbedingungen
 - Hinweis: Parameter zur Verfahrensbewertung werden bereitgestellt.
- Wertmodell:
 - o Zielsystem

- Gewichtung der Zielsetzung
- Bewertung:
 - Detailbewertung der ökologischen und ökonomischen Aspekte
 - Vorschlag eines Bauverfahrens

Die nachfolgende Abbildung 4 zeigt den Ablauf der Entwicklung eines Bewertungsmodells. Das Bewertungsmodell ist in einzelne Teilschritte strukturiert. Die Verknüpfung mehrerer Teilschritte führt zu einer ansteigenden Komplexität und damit zu einem erhöhten Bearbeitungsaufwand bei der Anwendung. Aus diesem Grund ist eine sinnvolle Abgrenzung des Entscheidungsbereiches für die vorgegebene Bewertungssystematik erforderlich. Die unabhängigen Entscheidungsstufen sind soweit möglich getrennt zu behandeln. Die ersten Teilschritte des Bewertungsmodells setzen sich aus einer systematischen Erfassung der Ausgangsdaten sowie einer Vorauswahl geeigneter Verfahren und Verfahrenskombinationen zusammen. Im weiteren Verlauf werden die weiteren Teilschritte noch näher erläutert.

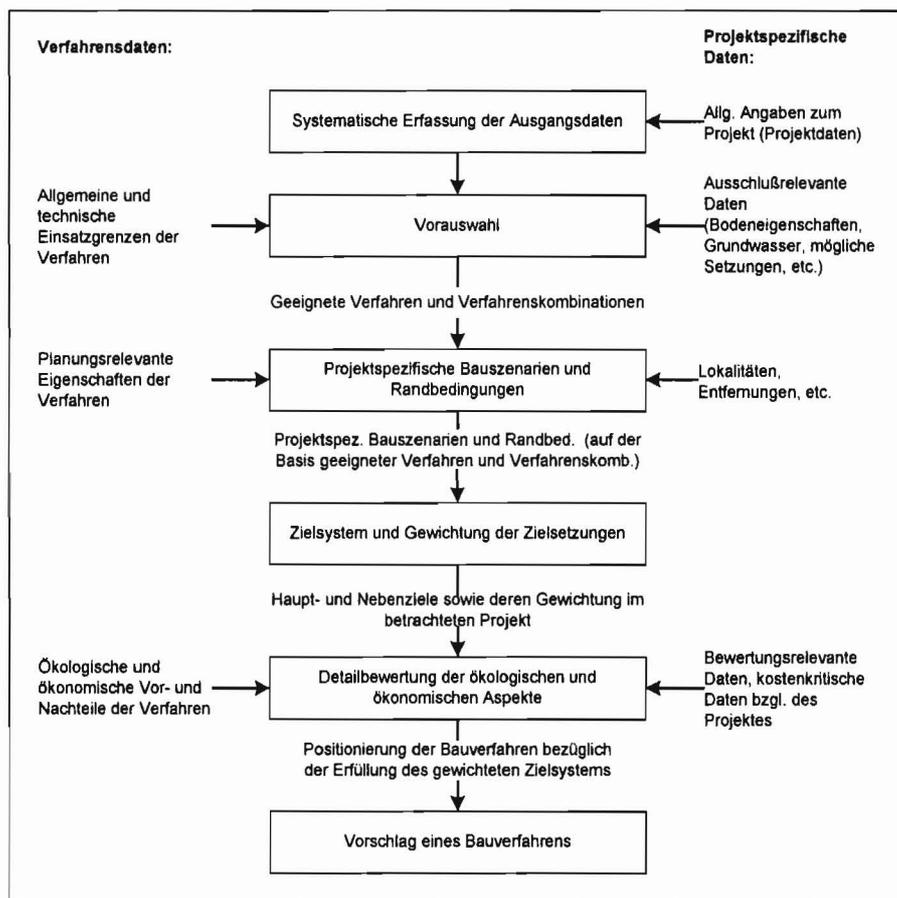


Abbildung 4: Mehrstufiger Ablauf im Bewertungsmodell [16]

4.2.1 Systematische Erfassung der Ausgangsdaten

Als Grundlage für den Bewertungs- und Auswahlprozess ist eine differenzierte Informationsbasis erforderlich. Zu unterscheiden ist dabei zwischen allgemeinen Projektdaten, zu denen z. B. Ortsangaben gehören und Schutzziele sowie allg. Vorgaben zur Verfahrensauswahl, wie z. B. ZTV (Ausschluss bestimmter Verfahren, Sprengen in Stadtgebieten). Die Abbildung 5 verdeutlicht den Ablauf der Ausgangssituation im Detail. Dabei werden allgemeine Projektdaten (Teilschritt I) für die Dokumentation der Standortdaten mit herangezogen. Zusätzlich werden örtliche Randbedingungen bei der Vorgabe

zur Verfahrensauswahl (Teilschritt II) mit berücksichtigt. In den einzelnen Bearbeitungsschritten sollen die ökologischen und ökonomischen Aspekte, basierend auf grundsätzlich geeignete Bauverfahren, einer Plausibilität unterzogen und nutzwertanalytisch bewertet werden. Auf Basis eines entwickelten Zielsystems erfolgt die Detailbewertung.

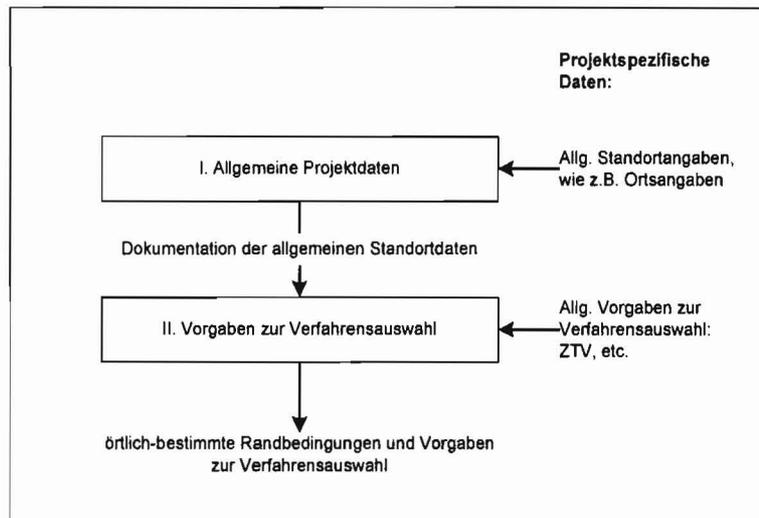


Abbildung 5: Ablauf bei der Konkretisierung der Ausgangssituation (Teilschritte I-II) [16]

4.2.1.1 Allgemeine Projektdaten

Als Voraussetzung für die Vorauswahl werden zahlreiche Informationen über das betrachtete Projekt benötigt. Die in Teilschritt I zu recherchierenden allgemeinen Standortdaten charakterisieren die örtlichen Gegebenheiten und ermöglichen im weiteren Anwendungsverlauf die Vorauswahl geeigneter Bauverfahren. Zu den Ausgangsdaten zählen die Projektdaten (Ortsangaben, Besitzverhältnisse, Nutzungssituation, Schutzgüter, Lage zu anderen Sparten, geologische Situation, hydrologische Situation). Die Aufstellung der Projektdaten wird hier kurz beschrieben und muss daher an der jeweiligen Baumaßnahme genau recherchiert sowie dokumentiert werden.

4.2.1.2 Vorgaben zur Verfahrensauswahl

Weiterhin können zur Erfassung der Ausgangsdaten die Vorgaben der Verfahrensauswahl (Querschnittsformen, Werkstoffauswahl, Tiefenlage, Grundwasserabsenkung, Trinkwasserschutz- und Überschwemmungsgebiet, Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen (ZTV)) mit in Erwägung gezogen werden. In den nachfolgenden Unterpunkten werden einige Vorgaben aufgezählt.

4.2.2 Vorauswahl

Nach Erfassung der Ausgangssituation erfolgt eine Vorauswahl zur Erstellung eines Sachmodelles. Die Vorauswahl bezieht die Eignung der einzelnen Vortriebsverfahren bei der Herstellung und Sanierung unterirdischer Infrastrukturmaßnahmen mit ein. Auf Grundlage der Ausgangsdaten werden hierbei wirtschaftliche und technische Aspekte berücksichtigt. Zur Veranschaulichung der Vorauswahl für die Erstellung eines Sachmodells illustriert die

Abbildung 6 die Entwicklung. Die Teilschritte I und II werden als Informationsbasis aus der Erfassung der Ausgangssituation mit in Betracht gezogen. Als Vorauswahl geeigneter Vortriebsverfahren (Teilschritte III und IV) sind die geschlossene sowie die offene Bauweise zu nennen. Eine halboffene Bau-

weise wird nicht weiter untersucht, da sie in der Praxis nur selten zum Einsatz kommt. Für die Vorauswahl werden zahlreiche Informationen über den betrachteten Standort als Voraussetzung benötigt. Dabei ist für den Planer eine Begehung vor Ort unabdingbar. Die dort gesammelten Informationen und Eindrücke können von Zweiten nur sehr schwer wiedergegeben werden. Auf Basis der allgemeinen Standortdaten und der festgelegten Schutzziele und schutzgutbezogene Vorgaben erfolgt die Vorauswahl von grundsätzlich geeigneten Bauverfahren. In dieser Phase des Auswahlprozesses werden solche Verfahren, deren Einsatz unter den projektspezifischen Randbedingungen und einzelfallabhängigen Vorgaben offensichtlich nicht sinnvoll ist, von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen.

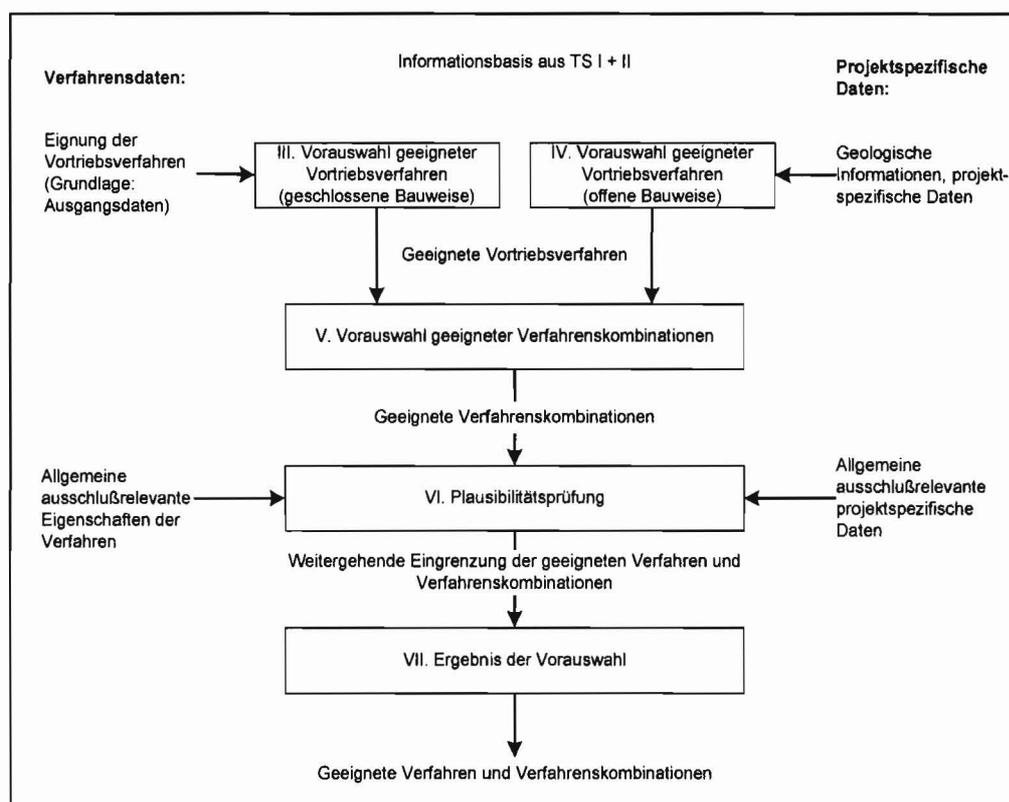


Abbildung 6: Ablauf der Vorauswahl (Teilschritte III – VII) [16]

Nachdem die zur Verfügung stehenden Verfahren in Teilschritten III und IV einer Vorauswahl unterzogen worden sind, erfolgt im Teilschritt V die Vorauswahl geeigneter Verfahrenskombinationen unter Berücksichtigung der gegebenen Randbedingungen. In einem weiteren Schritt der Vorauswahl, dem Teilschritt VI (Plausibilitätsprüfung), sind Verfahrenskombinationen auf ihre Eignung hin zu überprüfen. Bei dieser Prüfung können weitergehende Eingrenzungen der geeigneten Verfahrenskombinationen z. B. zum Schutz der Umwelt und / oder der monetäre Aspekt relevant sein. Das Ergebnis der Vorauswahl wird im Teilschritt VII festgelegt und dokumentiert. Für die Vorauswahl können die sich im Anhang befindlichen „Empfehlungen zur Auswahl und Bewertung von TVM“ (Verkehrstunnelbau) sowie die „Erfahrungswerte für den Anwendungsbereich“ (Leitungstunnelbau) herangezogen werden.

4.2.3 Projektspezifische Bauszenarien und Randbedingungen

Der letzte Schritt zur Erstellung eines Sachmodells sind die projektspezifischen Bauszenarien und deren Randbedingungen. Zur Verdeutlichung der projektspezifischen Bauszenarien ist beispielhaft ein Hydroschild für eine unterirdische Infrastrukturmaßnahme aufgrund der Vorauswahl zu nennen. Ergibt

sich also aus der Vorauswahl der Hinweis, dass ein Hydroschild grundsätzlich eingesetzt werden kann, ist bei der weiteren Vorgehensweise folgendes zu berücksichtigen:

- Erstellung einer Start- und Zielbaugrube
- Maßnahmen zur Deponierung des abgebauten Bodens müssen getroffen werden
- etc. (alles was noch mit der Baumaßnahme zu tun hat, allerdings nicht direkt mit dem Vortrieb zu tun hat)

Der Anwender muss also auf Basis der geeigneten Verfahren ein Baukonzept entwickeln und die wesentlichen notwendigen Teilleistungen der Baumaßnahme bestimmen. Dies und noch weitere Regelungen bzw. Bedingungen bringt die Vorauswahl eines Hydroschildes mit sich. In der

Abbildung 7 werden geeignete Verfahren aus dem Teilschritt VII (Ergebnis der Vorauswahl) dargestellt. Im Sinne einer vereinfachten Bauvorplanung werden daher anhand der grundsätzlich zur Verfügung stehenden und geeigneten Bauverfahren oder Verfahrenskombinationen projektspezifische Bauszenarien entwickelt.

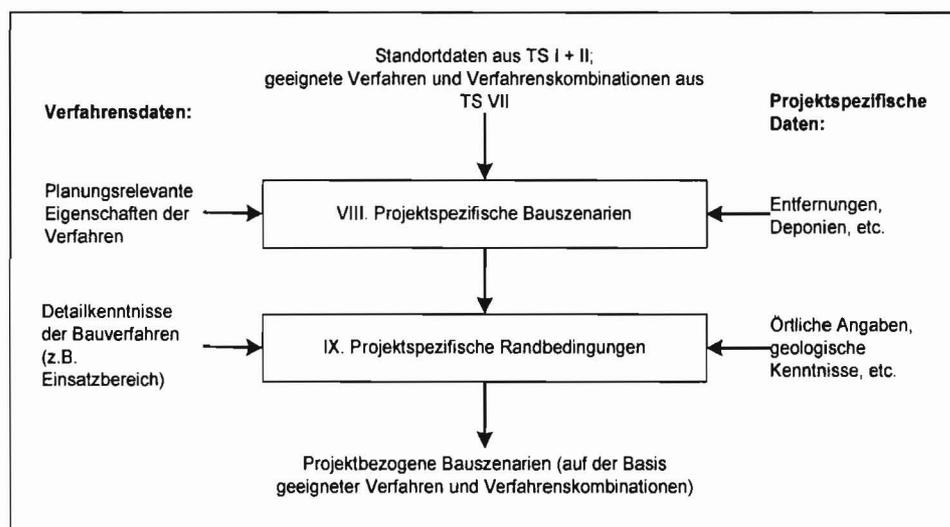


Abbildung 7: Ablauf bei der Entwicklung projektbezogener Bauszenarien (Teilschritt VIII und IX) [16]

Die projektspezifischen Randbedingungen können je nach geeignetem Verfahren sehr unterschiedlich sein. Als Beispiel wäre eine hohe Sensibilität bezüglich der Lärmentwicklung von Baumaschinen (primär im urbanen Bereich) zu nennen (

Abbildung 8). Der Lärm hat Auswirkungen auf die Bedeutung der Zielsetzungen mit der Konsequenz, dass dem Nebenziel eine höhere Gewichtung zukommt. Die Geräuschemissionen einer Baustelle wirken als Geräuschimmissionen auf die Anwohner in Baustellennähe ein. Lärm wird vom Menschen als störend, belästigend und unangenehm empfunden. Lärm ist physikalisch gesehen Schall mit der Einheit dB(A) und kann objektiv gemessen werden. Die subjektive Komponente wird von jedem Menschen unterschiedlich eingeordnet. Darüber hinaus kann Lärm zu gesundheitlichen Schädigungen des Hörorgans oder zu sonstigen Beeinträchtigungen des menschlichen Wohlbefindens führen. Als ein weiteres Beispiel wäre die Geologie zu nennen (

Abbildung 8). Die Auswirkungen der Geologie haben auf die Eignung der Bauverfahren großen Einfluss. Mit dem Resultat, dass eine Abwertung des Bauverfahrens aufgrund der Bodenverhältnisse stattfinden kann. Festgestein oder Lockergestein haben bspw. ein wesentlicher Einfluss für den Einsatz der Bauverfahren.

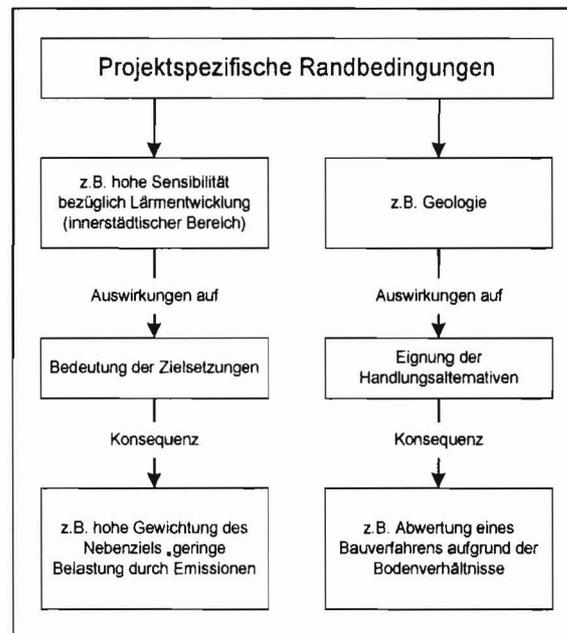


Abbildung 8: Beispiel für den Einfluss von projektspezifischen Randbedingungen

4.2.4 Zielsystem und Gewichtung der Zielsetzungen

Damit alle Auswirkungen einer Verfahrensvariante bei der Entscheidungsfindung berücksichtigt werden können, muss ein umfassendes System von Zielen formuliert werden. Die Ziele werden hierarchisch gegliedert, vom Generellen hin zum Detail, vom Gesamtziel (Reduzierung der Kosten, Minimierung der Umweltauswirkungen, Verbesserung der Lebensqualität) über Haupt- und Nebenziele bis hin zu entsprechenden Indikatoren. Diese Indikatoren können entweder gemessen werden oder sollten zumindest schätzbar sein, so dass sie eine möglichst objektive Beurteilung der Variantenauswirkungen erlauben. Das definierte Zielsystem wird gewichtet. Die Gewichtung hat subjektiven Charakter. Es ist wichtig, dass sie das Meinungsspektrum aller involvierten Interessengruppen berücksichtigt.

4.2.4.1 Aufbau des Zielsystems

Das in dieser Studie verwendete Zielsystem ist in der folgenden Abbildung sowie der folgenden Tabelle dargestellt. Es besteht aus drei Zielebenen:

- Das Gesamtziel beschreibt die generelle Zielsetzung für den Variantenvergleich. Es ist hier definiert als Beitrag zur Reduzierung der Kosten, Minimierung der Umweltauswirkungen und Verbesserung der Lebensqualität.
- Die Hauptziele umfassen die hauptsächlichen Zielbereiche wie z. B. Minimierung der direkten Kosten, Minimierung der indirekten Kosten, geringe Belastungen durch Emissionen, geringer Energie- und Stoffeinsatz, geringe Beeinträchtigungen von Wasser und geringe Reststoffmengen.
- Die Nebenziele umfassen Einzelaspekte der Hauptziele; jedes von ihnen beschreibt einen Bereich oder eine Gruppe, der von den Auswirkungen der verschiedenen Bauverfahren betroffen ist.

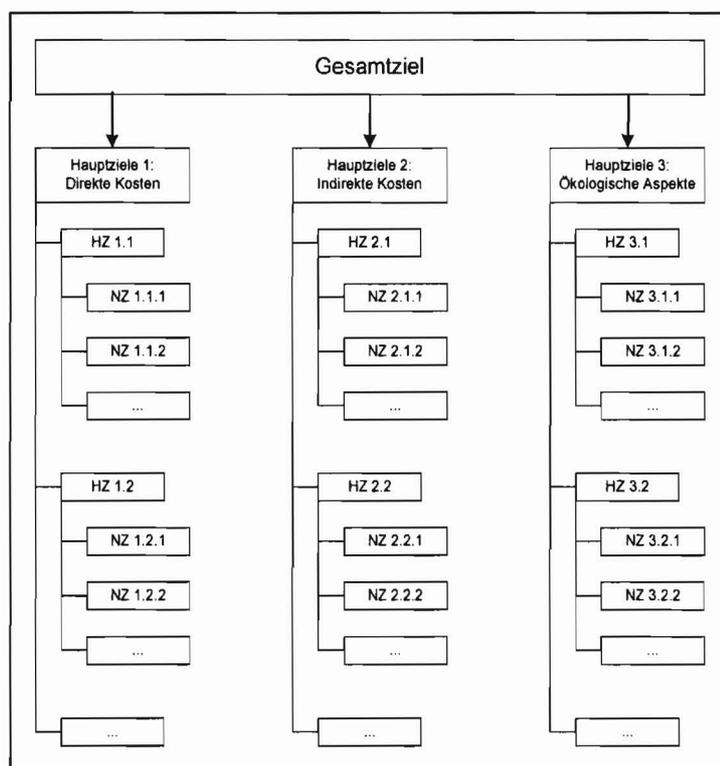


Abbildung 9: Zielsystem

Wichtig im Zusammenhang mit dem Zielsystem ist weiterhin, dass die Hauptziele 1 (Direkte Kosten) hierbei monetär bewertet werden. Das heißt, dass die direkten Kosten in einer Vergleichskostenrechnung bewertet werden. Die Hauptziele 2 und 3 werden dagegen mit Hilfe von Nutzenindizes bewertet.

4.2.4.2 Gewichtung der Zielsetzungen

Die projektbezogene Anpassung erfolgt durch die Gewichtung der projektspezifischen Zielsetzungen. Hierbei findet das 100-Punkte-Prinzip unter Verwendung von Präferenzmatrizen Anwendung. In der folgenden Abbildung wird die hinter dem Prinzip steckende Systematik verdeutlicht. Hierbei wird das Zielsystem 3 (ökologische Aspekte) beispielhaft gewichtet. Hauptziel 3.3 (Erhaltung der Bodeneigenschaften) wird durch fünf Nennungen höchste Bedeutung zugemessen. Entsprechend der Systematik werden dem Hauptziel 3.3 33,33 Punkte zugeordnet (siehe Abbildung 10). Die verwendete Gleichung für die Gewichtung lautet:

$$\text{Gewichtung } G_{\text{HZ/NZ}} = \frac{\text{Anzahl der Nennungen} \times \text{zu vergebende Punktzahl}}{\text{Anzahl der Gewichtungen}}$$

Diese Punktzahl wird entsprechend der Bedeutung der Nebenziele von Hauptziel 3.3 aufgeteilt; in diesem Fall werden dem Nebenziel 3.3.1 mit der höchsten Bedeutung (2 Nennungen) 21,64 Punkte zugeordnet. Um zu verhindern, dass Haupt- oder Nebenziele durch eine nicht – Nennung aus der Bewertung ausgeschlossen werden, wird den nicht genannten Haupt- oder Nebenzielen eine Mindestgewichtung auferlegt. Mit Hilfe dieser Systematik kann je nach Schwerpunkt des Bewertungssystems die Gewichtung variieren und es können je nach Anforderung die verschiedenen Umweltauswirkungen oder die jeweiligen indirekten Kosten in den Vordergrund rücken.

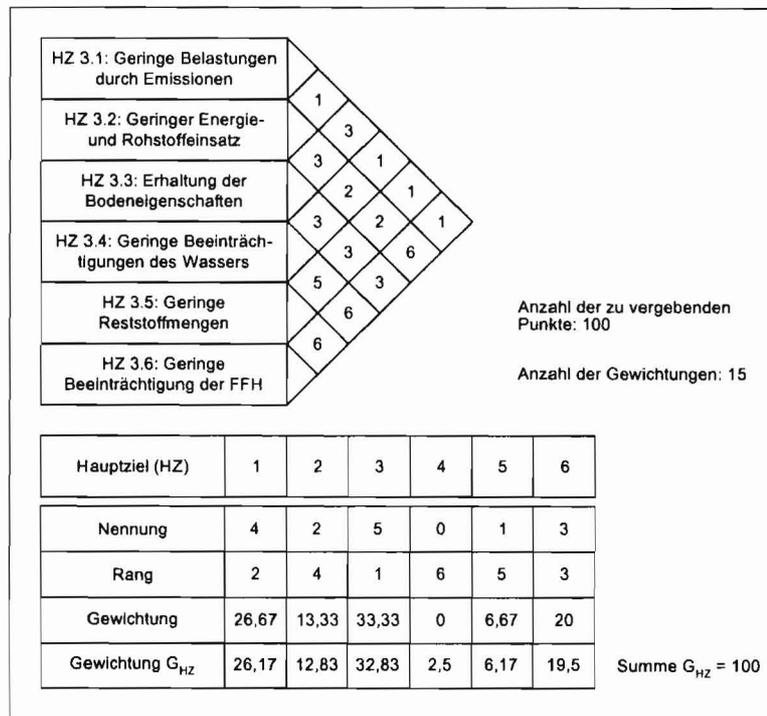


Abbildung 10: Vorgehen bei der Gewichtung der Hauptziele

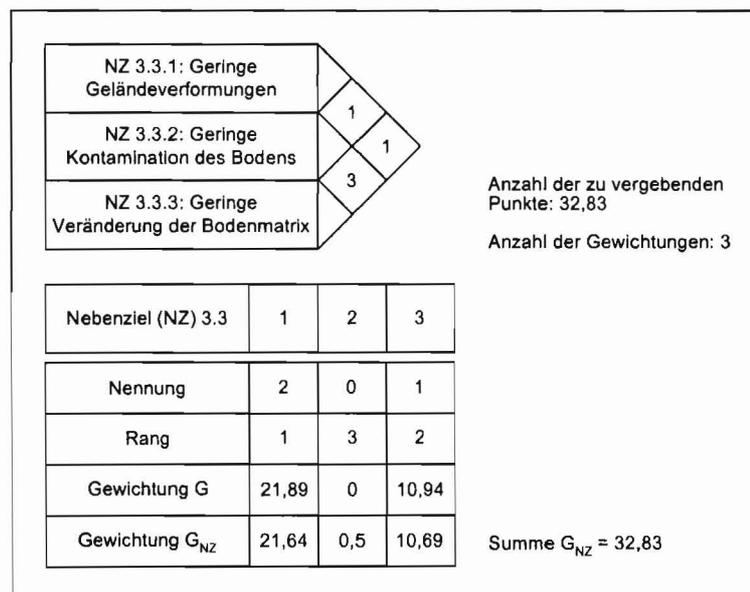


Abbildung 11: Vorgehen bei der Gewichtung der Nebenziele

4.2.5 Detailbewertung der ökologischen und ökonomischen Aspekte

Im Rahmen der Detailbewertung sind die zuvor ausgewählten Bauverfahren einer differenzierten ökologischen Bewertung zu unterziehen.

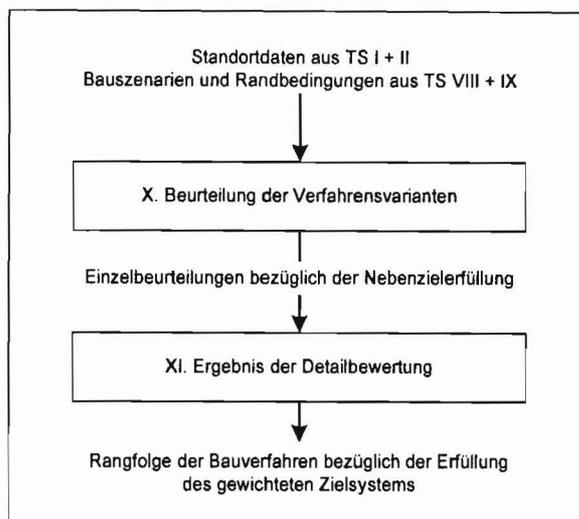


Abbildung 12: Ablauf bei der Detailbewertung der ökologischen Aspekte

In den einzelnen Bearbeitungsschritten sollen hier die ökologischen Aspekte, die auf Basis der grundsätzlich geeigneten Bauverfahren entwickelt wurden, und deren Plausibilität in vorangegangenen Arbeitsschritten geprüft wurde, nutzwertanalytisch bewertet werden. Die Detailbewertung erfolgt auf Basis des entwickelten Zielsystems. Dabei ist für jede Variante zu beurteilen, in welchem Maße die einzelnen Ziele erreicht werden. Dazu stützt man sich auf einen oder mehrere Indikatoren pro Unterziel, d. h. auf Hilfsgrößen, die das vorgegebene Ziel messbar machen. Nach Möglichkeit sollten diese Indikatoren quantifizierbar sein, andernfalls sollen möglichst präzise qualitative Abschätzungen getroffen werden. Die gemessenen oder abgeschätzten Auswirkungen für jede Variante werden durch einen Nutzenindex ausgedrückt, gemäß einem für alle Ziele homogenen Maßstab. Durch Multiplikation des Nutzenindex eines Nebenziels mit der entsprechenden Gewichtung lassen sich für jede Variante der gewichtete Teilnutzwert ermitteln. Die Summe ihrer Teilnutzwerte ergibt den Gesamtnutzwert der Variante. Um den Einfluss der subjektiven Gewichtung auf den Nutzwert der Varianten bzw. deren Rangfolge beurteilen zu können, bedarf es zusätzlich einer Sensitivanalyse: Sie zeigt, wie der Gesamtnutzwert einer bestimmten Variante auf Verschiebungen bei der Gewichtung der Ziele oder auf unterschiedliche Bewertungen reagiert. Sie gibt damit Anhaltspunkte, wie stabil die Resultate der Nutzwertanalyse sind.

4.2.5.1 Erfüllungspunktzahl

Die projektspezifische Beurteilung der alternativen Bauverfahren erfolgt, wie in den folgenden Kapiteln bereits beschrieben, anhand der Nebenziele des Zielsystems, deren Bedeutung für den Einzelfall durch die Gewichtung im vorherigen Schritt festgelegt worden sind. Dabei ist unter Berücksichtigung der projektspezifischen Daten zu beurteilen und zu begründen, in welchem Maße durch die Bauverfahren eine Erfüllung der Nebenziele zu erwarten ist. Hilfestellung dafür sollen die in Kapitel 4.2.4 angebotenen Indikatoren leisten. Entsprechend dem einheitlich vorgegebenen Beurteilungsmaßstab wird jedem Bauverfahren ein Nutzenindex (Punktzahl) zugeordnet. Über den Vergleich der Projektdaten mit den Referenzwerten wird dabei jedes Kriterium auf seine Erfüllung überprüft. Je nach Erfüllungsgrad wird ihm ein Nutzenindex oder auch Erfüllungspunktzahl von 1 (gerade noch ausreichende Zielerfüllung) bis 5 (optimale Zielerfüllung) zugeordnet. Ein Nutzenindex von 0 Punkten ist nicht vor-

gesehen, damit kein Kriterium aus der Bewertung heraus fällt und alle Kriterien sichtbar bleiben. Um diese Bewertung zu erleichtern wurden Bewertungshilfen entwickelt. Die Bewertungshilfen existieren in Form von Indikatoren, die dem bewertenden Anhaltspunkte geben.

<u>Grad der Zielerfüllung</u>	<u>Nutzenindex</u>
-optimale Zielerfüllung	5 Punkte
-hohe Zielerfüllung	4 Punkte
-mittelmäßige Zielerfüllung	2 Punkte
-keine Zielerfüllung	1 Punkte

Abbildung 13: Zielerfüllung

5 Anwendung auf ein Beispiel

5.1 Ausgangslage

Die Übertragung der Bewertungssystematik erfolgt auf ein exemplarisches Beispiel einer unterirdischen Infrastrukturmaßnahme, die bereits reell umgesetzt wurde. Es handelt sich hierbei um eine ausgeführte Kanalerneuerung in Osnabrück (Lotter Straße, Kreisstraße K 6). Hierbei konkurrierten während der Ausschreibungsphase die offene und die Stollenbauweise, wobei letztere schließlich zu Ausführung gelangte. Im Zuge der Erarbeitung der Bewertungsmethodik wurde anhand der Randbedingungen dieser Entscheidungsfindung die entwickelte Methodik hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit überprüft und kalibriert. Hierzu wurde eine Ausführung als Rohrvortrieb ebenfalls mit in die Überlegungen einbezogen. Im Folgenden werden exemplarische Bewertungen von ausgewählten Haupt- und Nebenzielen durchgeführt um die Vorgehensweise der entwickelten Methodik zu verdeutlichen. Für eine ausführlichere Darstellung verweisen wir auf die Langversion der Studie.

Bei Kanalerneuerung sind allgemein die gewählten Bauverfahren abhängig von den Randbedingungen, beispielsweise der Verkehrsbelastung im zu öffnenden Bereich (in diesem Beispiel: 17000 Kfz inkl. intensiver ÖPNV-Nutzung, beidseitig je einspurige Verkehrsführung, Straßenbreite von 14 m, Bodenklasse 6 und 7). Durch Vorgabe eines Zielsystems wird die Bewertung mittels Nutzenindex durchgeführt. Die projektbezogene Anpassung erfolgt durch die Gewichtung der projektspezifischen Zielsetzungen. Die Gewichtung der Systematik kann je nach Schwerpunkt des Bewertungssystems (ökologische Aspekte) variieren. Zusätzlich können je nach Anforderungen die verschiedenen Umweltauswirkungen in den Vordergrund rücken.

5.2 Zielsysteme / Hauptziele / Nebenziele

Das **Zielsystem** entspricht der

Abbildung 9. Zu den drei Zielsystemen zählen die direkten Kosten (ZS1), die indirekten Kosten (ZS2) und die ökologischen Aspekte (ZS3).

Die Ermittlung für die Datengrundlage der direkten Kosten erfolgt gemäß Zusammenstellung eines Angebotes oder einer Kalkulation. In diesem Beispiel werden die direkten Kosten von Grabenbauweise und Stollenbauweise gegenüber gestellt.

Tabelle 1 Direkte Kosten (offene Bauweise)

Position:	Summe [Euro]	Anteil [%]
Baustelleneinrichtung	287.200,30	8,32
Grundwasserhaltung	43.836,00	1,27
Verbau + Aushub	1.606.171,66	46,53
Regenwasserkanal	283.758,37	8,22
Schmutzwasserkanal	414.748,23	12,02
Schächte	142.593,87	4,13
Verfüllmaterial	215.163,00	6,24
Hausanschlüsse	170.295,49	3,38
Straßenaufbruch und -wiederherstellung	116.726,70	4,93
Sonstiges	171.204,04	4,96
	3.451.697,66	100,00

Tabelle 2 Direkte Kosten (geschlossene Bauweise)

Position:	Summe [Euro]	Anteil [%]
Baustelleneinrichtung	176.481,31	5,74
Startbaugruben	37.029,90	1,20
Stollenbau	1.778.809,50	57,82
Grundwasserhaltung	45.610,50	1,48
Schmutzwasserkanal	123.964,61	4,03
Regenwasserkanal	270.172,95	8,78
Schächte	242.264,02	7,88
Verfüllmaterial	145.157,20	4,72
Hausanschlüsse	171.767,74	5,58
Straßenaufbruch und -wiederherstellung	27.627,57	0,90
Sonstiges	57.506,86	1,87
	3.076.392,16	100,00

Hauptziele

Die einzelnen Zielsysteme (ZS1, ZS2 und ZS3) unterteilen sich in Hauptziele (HS). Die ersten beiden Hauptziele haben jeweils nur eine Vorgabe die Minimierung der entsprechenden Kosten und dementsprechend gibt es keine graphische Darstellung der Gewichtung. Das Hauptziel 3 unterteilt sich in 5 Unterpunkte. Folgende Hauptziele finden im Beispiel Berücksichtigung:

- HZ1.1 Minimierung der direkten Kosten (Lieferung, Einbau, Material, Personal, Aushub, Verbau und Wiederherstellung)
- HZ2.1 Minimierung der indirekten Kosten
- HZ3.1 Geringe Belastung durch Emissionen
- HZ3.2 Geringer Energie- und Rohstoffeinsatz
- HZ3.3 Erhaltung der Bodeneigenschaften
- HZ3.4 Geringe Reststoffmengen
- HZ3.5 Geringe Beeinträchtigung der FFH

Abbildung 14: Hauptziele 1 bis 3

Die Unterpunkte des Hauptzieles 3 werden gegeneinander abgewogen und ergeben eine Wertigkeit der Unterpunkte zu einander.

1 – 2	1 – 3	1 – 4	1 – 5	1 – 6
	2 – 3	2 – 4	2 – 5	2 – 6
		3 – 4	3 – 5	3 – 6
			4 – 5	4 – 6
				5 – 6

Der Unterpunkt mit der höheren Wertigkeit wird in das entsprechende Feld eingetragen. Die Abwägung ist in Abbildung 15 zusammen gestellt. Hierbei wurden alle gegenseitigen Kombinationen berücksichtigt. Bei der Abwägung des HZ 3.1 mit dem HZ 3.4 hat das HZ 3.1 eine höhere Wertigkeit als das HZ 3.4.

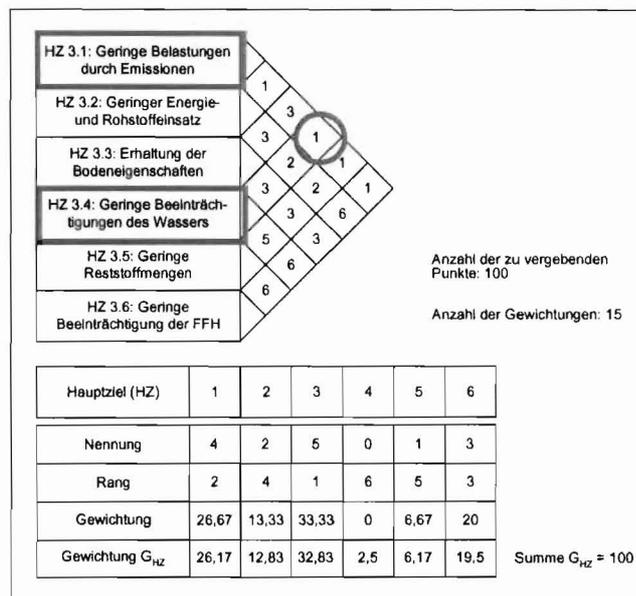


Abbildung 15: Gewichtung des Zielsystems 3: „Ökologische Aspekte“

Anschließend werden die Abwägungen zusammengefasst. Gemäß Abbildung 5 wurde das HZ 3.1 insgesamt 4-mal höher eingestuft als alle anderen HZ. Das HZ 3.2 wurde zweimal besser eingeschätzt als die anderen HZ. Alle anderen Wertigkeiten können der Zeile „Nennungen“ entnommen werden. Diese Zeile enthält die erste Zahl für das später anzuwendende Produkt aus Nennung HZ und Nennung NZ. Die Gewichtung erfolgt durch die Multiplikation zwischen der Anzahl der Nennun-

gen (15) und der zu vergebenden Punkte (100). Die verwendete Formel der Gewichtung (für HZ und NZ) lautet:

Formel Gewichtung

$$\text{Gewichtung } G_{HZ/NZ} = \frac{\text{Anzahl der Nennungen } x \text{ zu vergebende Punkte}}{\text{Anzahl der Gewichtungen}}$$

Das Produkt aus Anzahl der Nennungen und der zu vergebenden Punkte wird durch die Anzahl der einzelnen Gewichtungen dividiert. Die Anzahl der Gewichtungen für die HZ beträgt hier 15. Haben Gewichtungen den Wert Null so erfolgt eine Umverteilung, im vorliegenden Fall werden 0,5 Punkte von den anderen Gewichtungen auf das HZ 3.4 verteilt.

Nebenziele

Die Bewertung der einzelnen NZ erfolgt in tabellarischer Form. Dabei werden Punkte (1, 2, 4 oder 5) bei Zutreffen des NZ vergeben. Der zugeordneten Punktzahl ist eine entsprechende Eigenschaft als Textform in der Tabelle hinterlegt worden. So kann der Anwender nach eigenem Ermessen die Bewertung des jeweiligen Bauverfahrens (B1, B2 und B3) durchführen. Nun folgt eine weitere Unterteilung der HZ 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 und 3.6 und ihre entsprechenden Nebenziele. In dieser Zusammenfassung der Studie werden die HZ 3.1 und 3.2 zum Verständnis erläutert. Als erstes HZ werden die „Geringe Belastungen durch Emissionen“ HZ 3.1 betrachtet. Dem „Zielsystem 3: Ökologische Aspekte“ sind nachfolgende NZ zugeordnet:

- NZ 3.1.1: Geringe Erschütterungen
- NZ 3.1.2: Geringe Lärmentwicklungen
- NZ 3.1.3: Geringe Luftverunreinigungen

Mit der Formel Gewichtung auf Seite 49 werden die Nennung sowie die Gewichtung der einzelnen NZ berechnet. Die Anzahl der zu vergebenden Punkte für das HZ 3.1 betragen 26,17 Punkte. Dem HZ 3.1 wurde aufgrund seiner Nennungen hohe Bedeutung zugesprochen und steht somit auf dem zweiten Rang. Der Betrag der Mindestgewichtung bei Nennungen beträgt 0,25 Punkte (0,25 Punkte * zwei NZ = 0,5 Punkte). Nach Vergabe der Mindestgewichtung werden dem NZ 3.1.1 0,5 Punkte zugewiesen und den anderen Nebenzielen 0,25 Punkte abgezogen, mit anschließender Aufsummierung.

NZ 3.1.1: Geringe Erschütterungen	2	3	
NZ 3.1.2: Geringe Lärmentwicklungen		2	3
NZ 3.1.3: Geringe Luftverunreinigungen	2		

Anzahl der zu vergebenden Punkte: 26,17
Anzahl der Gewichtungen: 3

Nebenziel (NZ) 3.1	1	2	3
Nennung	0	2	1
Rang	3	1	2
Gewichtung G	0	17,45	8,72
Gewichtung G_{NZ}	0,5	17,2	8,47

Summe $G_{NZ} = 26,17$

Abbildung 16 Gewichtung des HZ 3.1 „Geringe Belastungen durch Emissionen“

Das NZ 3.1.1 (geringe Erschütterungen) wird durch die nachfolgende Tabelle 5.7 beschrieben. Bei der offenen Bauweise werden nur geringe Erschütterungen (4 Punkte) erwartet. Bei der Stollenbauweise und dem Rohrvortrieb treten keine Erschütterungen an der Oberfläche auf (5 Punkte). Bei einer geschlossenen Bauweise treten keine Begleiterscheinungen durch Erschütterungen, hervorgerufen durch Rammarbeiten beim Verbau, auf. Mögliche Folgen für umliegende Gebäude bleiben bei dieser Bauweise somit unberührt.

Tabelle 3 Bewertung für das NZ „Geringe Erschütterungen“

Wertetabelle zum NZ 3.1.1: Geringe Erschütterungen			
Punkte	Eigenschaften der Bauverfahren		
5	Keine Erschütterungen an der Oberfläche		
4	Geringe Erschütterungen an der Oberfläche		
2	Mittelmäßige Erschütterung an der Oberfläche		
1	Schwerwiegende Erschütterungen an der Oberfläche		

Nebenziel			
	B1: offene Bauweise; B2: Stollenbauweise; B3: Rohrvortrieb		
	Punktzahl: 1; 2; 4; 5		
	Begründung:		
NZ 3.1.1	B1	4	Trägereinbau in vorgefertigte Bohrlöcher
	B2	5	Kontinuierlicher Vortrieb, keine Erschütterungen
	B3	5	Kontinuierlicher Vortrieb, keine Erschütterungen

Die offene Bauweise erhält 1 Punkt (Tabelle 4) wegen der ständigen Lärmentwicklungen an der Oberfläche. Lärmbelastungen können schädlich für das Hörorgan sein und die Gesundheit des Menschen beeinflussen. Die geschlossene Bauweise verursacht nur geringe Lärmentwicklungen an der Oberfläche ohne Folgeerscheinungen. Im Baugrubenbereich kommt es temporär zu einem gering erhöhten Lärmpegel. Daher sind beide Bauverfahren mit 4 Punkten bewertet worden.

Tabelle 4 Bewertung für das NZ „Geringe Lärmentwicklungen“

Wertetabelle zum NZ 3.1.2: Geringe Lärmentwicklungen			
Punkte	Eigenschaften der Bauverfahren		
5	Keine Lärmentwicklungen an der Oberfläche		
4	Geringe Lärmentwicklungen an der Oberfläche ohne Folgeerscheinungen		
2	Temporäre Lärmentwicklungen an der Oberfläche mit Folgeerscheinungen		
1	Ständige Lärmentwicklungen an der Oberfläche mit Folgeerscheinungen		

Nebenziel			
	B1: offene Bauweise; B2: Stollenbauweise; B3: Rohrvortrieb		
		Punktzahl: 1; 2; 4; 5	
		Begründung:	
NZ 3.1.2	B1	1	Durch Einsatz der Maschinen- und Gerätetechnik im Baufortschritt
	B2	4	Bei der Errichtung der einzelnen Baugruben
	B3	4	Bei der Errichtung der Start- und Zielbaugrube

Die Tabelle 5 Bewertung für das NZ „Geringe Luftverunreinigungen“

Die Tabelle 5 beschreibt das NZ 3.1.3 „geringen Luftverunreinigungen“. Der Einsatz der Maschinen- und Gerätetechnik verursacht Emissionen und daher hat die offene Bauweise 2 Punkte erhalten. Der CO₂-Ausstoß der Lastkraftwagen hervorgerufen durch den Transport des Bodenmaterials belasten die Umwelt und wirken klimaschädigend. CO₂-Einsparung hilft die globale Erwärmung zu reduzieren, deshalb wurden dem Rohrvortrieb 5 Punkte zugewiesen. Da bei der Stollenbauweise ein größerer Bodenaushub notwendig ist als beim Rohrvortrieb, erhält dieses Verfahren 4 Punkte.

Tabelle 5 Bewertung für das NZ „Geringe Luftverunreinigungen“

Wertetabelle zum NZ 3.1.3: Geringe Luftverunreinigungen			
Punkte	Eigenschaften der Bauverfahren		
5	Sehr geringe Luftverunreinigungen an der Oberfläche		
4	Geringe Luftverunreinigungen an der Oberfläche ohne Folgeerscheinungen		
2	Temporäre Luftverunreinigungen an der Oberfläche mit Folgeerscheinungen		
1	Ständige Luftverunreinigungen an der Oberfläche mit Folgeerscheinungen		

Nebenziel			
	B1: offene Bauweise; B2: Stollenbauweise; B3: Rohrvortrieb		
		Punktzahl: 1; 2; 4; 5	
		Begründung:	
NZ 3.1.3	B1	2	Durch Einsatz der Maschinen- und Gerätetechnik im Baufortschritt
	B2	4	Im Bereich der einzelnen Baugruben
	B3	5	Keine Luftverunreinigungen an der Oberfläche

Die Auswertung des Zielsystems 3 „Ökologische Aspekte“ (siehe

Abbildung 9 auf Seite 42) wird mit den einzelnen Nebenzielen sowie mit den dazugehörigen Bewertungspunkten in Tabelle 6 Detaildarstellung der NZ für das Zielsystem 3 „Ökologische Aspekte“ für die zu vergleichenden Bauverfahren komplett im Detail zusammengestellt.

Tabelle 6 Detaildarstellung der NZ für das Zielsystem 3 „Ökologische Aspekte“

HZ	NZ	G _{NZ}	Bewertungspunkte			Gewichtete Punkte		
			B1	B2	B3	B1	B2	B3
3.1	3.1.1	0,5	4	5	5	2	2,5	2,5
	3.1.2	17,2	1	4	4	17,2	68,8	68,8
	3.1.3	8,47	2	4	5	16,94	33,88	42,35
Σ HZ 3.1:		26,17				36,14	105,18	113,65
3.2	3.2.1	1,89	1	2	2	1,89	3,78	3,78
	3.2.2	6,16	2	4	4	12,32	24,64	24,64
	3.2.3	4,03	2	2	4	8,06	8,06	16,12
	3.2.4	0,75	4	4	2	3	3	1,5
Σ HZ 3.2:		12,83				25,27	39,48	46,04
3.3	3.3.1	21,64	5	4	4	108,2	86,56	86,56
	3.3.2	0,5	-2	-4	-4	0	0	0
	3.3.3	10,69	2	4	5	21,38	42,76	53,45
Σ HZ 3.3:		32,83				129,58	129,32	140,01
3.4	3.4.1	0,75	-5	-4	-4	0	0	0
	3.4.2	0,58	-1	-2	-4	0	0	0
	3.4.3	1	-4	-2	-4	0	0	0
	3.4.4	0,17	-4	-4	-4	0	0	0
Σ HZ 3.4:		2,5				0	0	0
3.5	3.5.1	0,5	2	2	2	1	1	1
	3.5.2	3,86	1	2	4	3,86	7,72	15,44
	3.5.3	1,81	1	2	5	1,81	3,62	9,05
Σ HZ 3.5:		6,17				6,67	12,34	25,49
3.6	3.6.1	0,5	2	4	5	1	2	2,5
	3.6.2	6,25	2	4	4	12,5	25	25
	3.6.3	12,75	1	4	4	12,75	51	51
Σ HZ 3.6:		19,5				26,25	78	78,5
Σ (HZ 3.1 - HZ 3.6):		100				223,91	364,32	403,69
Rang:						3	2	1

Nach Ermittlung der Gewichtung erfolgt gemäß Tabelle 6 die Multiplikation mit der vergebenden Punktzahl jedes einzelnen Bauverfahrens (B1, B2 oder B3) zeilenweise. Anschließend wird das Produkt spaltenweise für jedes Bauverfahren aufsummiert. Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass der Rohrvortrieb mit 403,69 Punkten den ersten Rang einnimmt. Auf den zweiten Rang mit 364,32 Punkten folgt die Stollenbauweise. Mit 223,91 Punkten gelangt die offene Bauweise auf den dritten Rang.

Wie aus der Tabelle 7 zu entnehmen ist, gehen die grau unterlegten NZ nicht mit in die Berechnung ein und daher auch nicht mit in die Bewertungssystematik. Der Grund dafür ist das nicht Vorhandensein des NZ im ausgeführten Anwendungsbeispiel. Die Werte für B1, B2 und B3 hätten ebenso zu Null gesetzt werden können.

Analog zu diesem Vorgehen werden die Einflüsse für indirekte Kosten als Relativvergleich der einzelnen Bauverfahren zueinander ermittelt. Exemplarisch wird dies für das Nebenziel 2.1.2 vorgeführt, die „Minimierung der Kosten durch Verkehrsbeeinträchtigung“:

Wertetabelle zum NZ 2.1.2: <i>Minimierung der Kosten durch Verkehrsbeeinträchtigung</i>	
Punkte	Eigenschaften der Bauverfahren
5	Keine Verkehrsbeeinträchtigungen
4	Geringe Verkehrsbeeinträchtigungen
2	Hohe Verkehrsbeeinträchtigungen
1	Sehr hohe Verkehrsbeeinträchtigungen

Nebenziel	
	B1: offene Bauweise; B2: Stollenbauweise; B3: Rohrvortrieb
	Punktzahl: 1; 2; 4; 5
	Begründung:
NZ 2.1.2	B1 1 Vollsperrung der Straße, Verkehr großräumig umgeleitet
	B2 4 Im Bereich der einzelnen Baugruben durch halbseitige Straßensperrung
	B3 4 Im Bereich Start- und Zielbaugrube durch halbseitige Straßensperrung

Eine sehr hohe Verkehrsbeeinträchtigung ist bei der offenen Bauweise zu erwarten, da im Zuge der Kanalbauarbeiten der komplette Verkehr zum Erliegen kommt. Großräumige Umleitungsmaßnahmen lassen die Kosten des NZ 2.1.2 nur sehr schwer minimieren. Bei den anderen beiden Bauverfahren kann von geringen Verkehrsbeeinträchtigungen ausgegangen werden.

Eine Zusammenstellung der Gewichtungspunkte für jedes Bauverfahren ist der Tabelle 6.3 zu entnehmen.

Tabelle 7 Zusammenstellung der Gewichtungspunkte

HZ	Gewichtete Punkte		
	B1	B2	B3
\sum HZ 2.1:	112,67	403,67	388
\sum HZ (3.1 - 3.6):	223,91	364,32	403,69
\sum HZ 2.1 + \sum HZ (3.1 - 3.6):	336,58	767,99	791,69
Rang:	3	2	1

Den ersten Rang mit 791,69 Punkten erzielt der Rohrvortrieb. Mit 767,99 Punkten gelangt die Stollenbauweise auf den zweiten Rang. Den dritten Rang erhält die offene Bauweise mit 336,58 Punkten. In der nachfolgenden Abbildung 17 werden die direkten Kosten zusammen mit den Punkten aus der Tabelle 7 graphisch dargestellt. Für Kanalerneuerung ist gemäß Abbildung 17 der Rohrvortrieb zu wählen. Dennoch sei festzuhalten, dass die Kosten für die Durchführung der Bewertung im Vorhinein gleichgesetzt worden. Durch die geringe Punktedifferenz zwischen Rohrvortrieb und Stollenbauweise sind beide Varianten geeignet.

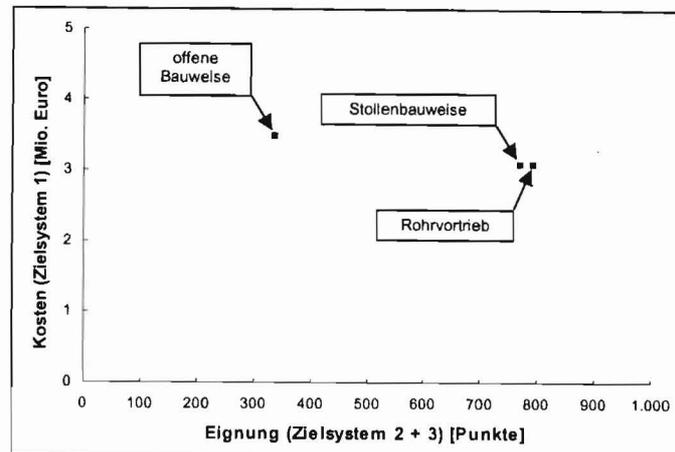


Abbildung 17 Darstellung der Kosten und Eignung der Bauverfahren

Aufgrund der bereits beschriebenen projektspezifischen Randbedingungen und der Bewertungsdurchführung würden sich die geschlossenen Bauverfahren somit für die Erneuerung der Kanalbaumaßnahme am besten eignen. Im Rahmen der hier durchgeführten exemplarischen Untersuchung hat sich gezeigt, dass ein Rohrvortrieb unter Umständen sogar noch günstiger gewesen wäre als die letztlich zur Ausführung gelangte Stollenbauweise. Die Entscheidung, entgegen der ursprünglichen Ausschreibung auf die offene Bauweise zu verzichten und ein alternatives Bauverfahren auszuwählen, konnte also nachträglich durch die Anwendung der Bewertungsmethodik verifiziert werden.

Bei der Bewertungssystematik hat der Anwender einen großen Einfluss auf die Gewichtung der einzelnen HZ. Der Zusammenhang zwischen den Umwelteinflüssen und der gewählten Vortriebsart wird im großen Maße über die Erfüllung (Vergabe von Nutzenpunkten) der HZ bzw. NZ bewirkt. Mit Hilfe der Bewertung der Projektgesamtkosten kann somit abgeschätzt werden, ob ein Wechsel des gewählten Bauverfahrens zugunsten einer geringeren Beeinträchtigung der Umgebung und somit auch auf die Umwelt vertretbar ist. Die Bewertungsmethodik und deren Praxistauglichkeit hängen stark von den Vor- und Nachteilen der einzelnen Bauverfahren ab. Ferner werden die Bauverfahren stark von den im Einzelfall vorhandenen Parametern beeinflusst. Daher sind die Vor- und Nachteile alternativer Lösungen zur Kanalerneuerung bzw. zur baulichen Sanierung nicht in jedem Fall offensichtlich, sondern setzen eine umfassende Detailkenntnis der verfahrenstypischen Eigenschaften und Besonderheiten voraus. Daher wird die vorgegebene Bewertungssystematik unter Vorhandensein aller aufgeführten HZ und NZ als praxistauglich eingestuft. Der Anwender kann mit einfachen mathematischen Kenntnissen eine schnelle Bewertung durchführen. Eine rechnergestützte Tabellenkalkulation erleichtert zusätzlich den Bewertungsaufwand und liefert zugleich eine schnelle grafische Darstellung der Ergebnisse.

Abschließend sei festzuhalten, dass die Bewertungssystematik lediglich dem Anwender als Erleichterung zur Entscheidungsfindung in der Praxis dienen soll. Der Vorteil liegt darin, dass auch multivariablen Zielsysteme zugelassen sind. Damit lassen sich auch monetäre und nicht monetäre Parameter bewertbar machen, da die Bewertung mit Nutzenpunkten diese Parameter vergleichbar macht. Eine Beurteilung des Kanalbauprojekts kann somit erfolgen. Eine transparente und nachvollziehbare Ent-

scheidungsfindung soll das Resultat einer objektiven Beurteilung auf das Kanalbauvorhaben wieder-
spiegeln.

6 Notwendige Weiterentwicklungen des Bewertungsverfahrens

Die Ausführungen zur exemplarischen Anwendung der Bewertungsmethodik haben gezeigt, dass mit dem entwickelten Verfahren prinzipiell die Umsetzung einer praktikablen Möglichkeit zur Verfahrensbewertung gelungen ist. Auf Basis der katalogisierten und vorhabensbezogenen Einflüsse, sowohl was die ökologischen wie auch die ökonomischen Parameter anbelangt, kann für jeden Anwendungsfall eine plausible und realitätsbezogene Bewertungsmatrix erstellt werden, die dem Anwender, egal ob Planer, Bauherr oder Ausführer, die Möglichkeit zur Verfahrensauswahl vereinfacht.

Gleichwohl werden in dem hier entwickelten System, aufgrund der Formulierung der Aufgabenstellung bislang Faktoren ausgeblendet, die bereits jetzt – vor allem im Bereich des Verkehrstunnelbaus – eine wichtige Rolle bei der Verfahrensauswahl bilden sollten. Dies gilt vor allem für die Berücksichtigung von Unterhalts- und Betriebskosten über den gesamten Lebenszyklus. Hierzu existieren aber bislang nur wenige, für unterirdische Infrastrukturen angepasste Prognosemodelle zur Darstellung der Kostenentwicklungen. Die Übertragung von Modellen des Hochbaus scheitert in der Regel an den Betriebsdauern, die für Infrastrukturprojekte anzusetzen sind. Während man im Hochbau in der Regel mit Lebensdauern von etwa 30 Jahren kalkuliert, gelten vor allem für Verkehrstunnel weit größere Werte, wie beispielsweise im Bereich der Bahntunnel beobachtet werden kann. Hier sind derzeit Bauwerke Bestandteil der Netzstruktur die bereits weit über 100 Jahre alt sind. Im Sinne der angestrebten Ganzheitlichkeit wäre eine Erweiterung der Aufgabenstellung mehr als sinnvoll. Hierzu müssten zunächst geeignete Modelle entwickelt und anschließend hinsichtlich der systematischen Unterschiede zwischen Tunnel- und Leitungstunnelbau differenziert werden.

Des Weiteren sollte im Sinne einer höheren Praktikabilität die Umsetzung der Bewertungsmethode in eine Softwarelösung, mindestens als Excel-Tool vorangetrieben werden. Die Handhabbarkeit im derzeitigen Entwicklungszustand ist noch eingeschränkt, da sich der Anwender aus Übersichtsgründen Vorlagen und Bewertungsschemata selbst erstellen muss. Im Hinblick auf eine angestrebte breite Akzeptanz einer solchen Bewertungsmethodik erscheint die programmiertechnische Umsetzung daher mehr als sinnvoll, da unserer Ansicht nach die Akzeptanz einer solchen Methodik mit ihrer Benutzerfreundlichkeit korreliert. Der Benutzer erlangt im Falle einer elektronischen Umsetzung die Möglichkeit zur schnellen und fehlerfreien Erfassung bzw. Auswertung der Haupt- und Nebenziele, was eine größere Effizienz und Effektivität der Bewertung nach sich zieht.

HZ 3	.1 Geringe Belastungen durch Emissionen										Ziffer	Nennungen
	.2 Geringer Energie- und Rohstoffeinsatz	1	3	4	1	1					1	3 -mal
	.3 Erhaltung der Bodeneigenschaften		3	4	2	6					2	1 -mal
	.4 Geringe Beeinträchtigung des Wassers			4	3	3					3	4 -mal
	.5 Geringe Reststoffmengen				4	4					4	5 -mal
	.6 Geringe Beeinträchtigung der FFH					6					5	0 -mal
	.7										6	2 -mal
	.8										7	-mal
	.9										8	-mal
											9	-mal
										Summe	15	
										Felder	15	
										Probe	0	

Abbildung 18 Exemplarische Darstellung HZ 3

Hauptziele	3	.1	2	3	4	.5	.6	.7	.8	.9		
Nennung		3	1	4	5	0	2				15,00	Summe
Rang		3	5	2	1	6	4				21,00	Summe
Gewichtung		20,00	6,67	26,67	33,33	0,00	13,33				100,00	Summe
Gewichtung G_{HZ}		19,40	6,47	25,87	32,33	3,00	12,93				100,00	Probe
Produkt Zeile 2 mit 2 mit 3		180,00	33,33	213,33	166,67	0,00	106,67				700,00	Summe
Produkt Zeile 2 mit 2		9	5	8	5	0	8				35,00	Summe
											20,00	Quotient
											15,00	%-Faktor
											3,00	

Abbildung 19 Exemplarische Auswertung HZ 3 mit Gewichtung G_{HZ}

Wären diese Ergänzungen vollzogen, so empfiehlt es sich abschließend die entwickelte Methodik anhand weiterer ausgeführter Projekte zu testen und zu kalibrieren, im Idealfall ein Bauprojekt im Rahmen der Planfestellung zu begleiten und die Entscheidungsfindung zu unterstützen. Dies sollte sowohl Maßnahmen des Leitungstunnelbaus umfassen sowie auch Großprojekte der Verkehrsinfrastruktur. Den beteiligten Partnern liegen hierzu bereits Listen möglicher Referenzprojekte vor.

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Verfahren der Investitionsrechnung	9
Abbildung 2: Grundmodell von Bewertungen	35
Abbildung 3: Grundmodell der Bewertung	36
Abbildung 4: Mehrstufiger Ablauf im Bewertungsmodell	37
Abbildung 5: Ablauf bei der Konkretisierung der Ausgangssituation (Teilschritte I-II)	38
Abbildung 6: Ablauf der Vorauswahl (Teilschritte III – VII)	39
Abbildung 7: Ablauf bei der Entwicklung projektbezogener Bauszenarien (Teilschritt VIII und IX)	40
Abbildung 8: Beispiel für den Einfluss von projektspezifischen Randbedingungen	41
Abbildung 9: Zielsystem	42
Abbildung 10: Vorgehen bei der Gewichtung der Hauptziele	43
Abbildung 11: Vorgehen bei der Gewichtung der Nebenziele	43
Abbildung 12: Ablauf bei der Detailbewertung der ökologischen Aspekte	44
Abbildung 13: Zielerfüllung	45
Abbildung 14: Hauptziele 1 bis 3	48
Abbildung 15: Gewichtung des Zielsystems 3: „Ökologische Aspekte“	48
Abbildung 16 Gewichtung des HZ 3.1 „Geringe Belastungen durch Emissionen“	50
Abbildung 17 Darstellung der Kosten und Eignung der Bauverfahren	54
Abbildung 18 Exemplarische Darstellung HZ 3	57
Abbildung 19 Exemplarische Auswertung HZ 3 mit Gewichtung G_{HZ}	57

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Direkte Kosten (offene Bauweise)	47
Tabelle 2 Direkte Kosten (geschlossene Bauweise)	47
Tabelle 3 Bewertung für das NZ „Geringe Erschütterungen“	50
Tabelle 4 Bewertung für das NZ „Geringe Lärmentwicklungen“	51
Tabelle 5 Bewertung für das NZ „Geringe Luftverunreinigungen“	51
Tabelle 6 Detaildarstellung der NZ für das Zielsystem 3 „Ökologische Aspekte“	52
Tabelle 7 Zusammenstellung der Gewichtungspunkte	53

9 Literaturverzeichnis

- [1] DIN EN ISO 14040 (2006): Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 1404:2006)
- [2] www.laum.uni-hannover.de/ilr/lehre/ptm/ptm_Uvp.htm (14.11.2004)
- [3] Jessel, Beate / Tobias, Kai: Ökologisch orientierte Planung. Eine Einführung in Theorie, Daten und Methoden, Stuttgart (Hohenheim) 2002, S. 68 / 69
- [4] www.umweltdatenbank.de/Lexikon/umweltvertraeglichkeitspruefung.htm (14.11.2004)
- [5] Peters, Heinz-Joachim (1995); „Das Recht der Umweltverträglichkeitsprüfung: Band 1“ Baden-Baden
- [6] Zimmermann, Monika (1993); „Öffentlichkeitsbeteiligung bei UVP-Verfahren“; Bonn
- [7] Baccini, P.; Brunner, P. H. (1991): Metabolism of the Anthroposphere, Berlin
- [8] FG RGL – Bau-, Planungs- und Umweltrecht: Die Umweltprüfungen in der Bauleitplanung
- [9] Jacoby, Christian: Strategische Umweltprüfung (SUP). In: UVP-report 1/2000
- [10] Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG), 01.01.1987
- [11] Moser, Dr. H. J.; Steiger, H.: Grundwasserschutz bei Tunnelbauten - Grundlagenbericht. In: Schriftenreihe Umwelt Nr. 231 Gewässerschutz. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). Bern, 1994
- [12] Eiswirth, M.: Baustoffe im Grundwasser – Umweltverträglichkeit und Materialanforderungen, Niedersächsische Akademie der Geowissenschaften, Heft 19, S.7-16
- [13] DIN 4150-3: Erschütterungen im Bauwesen (Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen)
- [14] LAWA (2005): Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien)
- [15] Diederichs, C. J.; Getto, P.; Streck, S. (2003): Entwicklung eines Bewertungssystems für ökonomisches und ökologisches Bauen und gesundes Wohnen. Bauforschung für die Praxis, Band 57, Fraunhofer IRB Verlag
- [16] Neteler, T.: „Bewertungsmodell für die nutzungsbezogene Auswahl von Verfahren zur Altlastensanierung“: Dissertation an der Ruhr-Universität Bochum; Schriftenreihe des Instituts für Grundbau der Ruhr-Universität Bochum; Heft Nr. 23; Bochum 1995