

Nachhaltigkeit im Brückenbau

Dr.-Ing. P. Haardt, Dipl.-Umweltwiss. C. Schmellekamp

Bundesanstalt für Straßenwesen

Bergisch Gladbach

Kurzfassung

Nachhaltigkeit und Energieeffizienz sind wichtige baupolitische Ziele. Der Bund als Bauherr ist sich seiner Vorbildfunktion bewusst: Baumaßnahmen sollen sowohl ökologisch verträglich als auch ökonomisch akzeptabel und sozio-kulturell angemessen sein. Alle drei Bereiche betreffen auch die Straßeninfrastrukturen in unterschiedlich ausgeprägter Weise. Aus Sicht des Bauherrn geht es um die Sicherstellung der Mobilität durch ein umweltverträgliches, wirtschaftliches und qualitativ hochwertiges Straßennetz. Für die Baupraxis stellt sich die Aufgabe, in ganzheitlicher Hinsicht optimierte Lösungen bereitzustellen.

Brückenbauwerke haben eine hohe symbolische Kraft und prägen Städte und Landschaften. Sie sind nicht nur für Ingenieure faszinierend, sondern stellen als bedeutender Bestandteil der Straßeninfrastruktur einen hohen gesellschaftlichen Wert dar. In der heutigen Vergabepraxis werden Entscheidungen über Baumaßnahmen maßgeblich durch die Diskussion über Erstellungs- und einmalige Investitionskosten beeinflusst. Grund dafür sind auch die begrenzten finanziellen Ressourcen; dies führt aber nicht zwangsweise zu nachhaltigen Lösungen. Damit Brückenbauwerke ökonomisch und ökologisch optimiert sowie funktional und sozio-kulturell angemessen erstellt werden können, sind weiterentwickelte Wertungskriterien erforderlich. Hier liegt aber auch eine Chance für die Bauwirtschaft, ihre Kompetenz auf dem Gebiet des Bauwesens auszuschöpfen und qualitätsvolles und kostengünstiges Bauen im Lebenszyklus zu verbinden.

Neue Instrumente und Methoden sind gefragt, die derzeit auf Initiative des BMVBS entwickelt werden. Vor diesem Hintergrund befasst sich eine Arbeitsgruppe der Bundesanstalt für Straßenwesen unter Beteiligung von Experten aus Forschung und Baupraxis mit der Entwicklung und Bereitstellung von Verfahren der Nachhaltigkeitsbewertung für Bauwerke der Straßeninfrastruktur. Ganzheitliche Wertungskriterien werden derzeit in Pilotstudien getestet.

1 Einleitung

Das Leitbild der nachhaltigen Entwicklung ist eine Konzeption der Umweltpolitik, die auf die Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro 1992 zurückgeht. Leitidee ist eine Entwicklung, die soziale und wirtschaftliche Ansprüche mit den ökologischen Funktionen der Umwelt in Einklang bringt. Die drei Säulen der Nachhaltigkeit - ökologische, ökonomische und soziale Aspekte - sollen zum Maßstab politischen Handelns werden¹. Die Nationale Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung fordert eine verstärkte Berücksichtigung von Aspekten zur Nachhaltigkeit und Klimarelevanz.

Nachhaltiges und energieeffizientes Bauen sind wichtige baupolitische Ziele des Bundes. So im Baubereich des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) wurde gemeinsam mit dem Umweltministerium und Experten aus Wissenschaft und Praxis einen Leitfaden Nachhaltiges Bauen erarbeitet [1]. Der Bund als Bauherr ist sich seiner Vorbildfunktion bewusst: Baumaßnahmen des Bundes müssen sowohl ökologisch verträglich als auch ökonomisch akzeptabel und sozio-kulturell angemessen sein.

Auch die Verkehrsinfrastrukturen sind betroffen. So finden im Bereich der Ingenieurbauwerke erhebliche Stoffumsätze statt, welche als Indikator für die Nutzung von Kapital, Ressourcen und Umwelt zu sehen sind. Z. B. erzeugt die Zementproduktion erhebliche Mengen klimaschädlicher Gase. Das Bauen erfordert einen hohen Energieaufwand, wenn die Ressourcengewinnung in die Betrachtung einbezogen wird. Weiterhin erzeugt der Verkehr erhebliche Kosten für die Nutzer, die Umwelt und Dritte [2].

Das Netz der Bundesfernstraßen umfasst rund 12.550 km Autobahnen und 40.700 km Bundesstraßen. Erhaltung und Ausbau dieses Netzes ist mit hohen Kosten verbunden: jährlich werden rund 5 Mrd. € investiert. Ein modernes Straßenverkehrsnetz ist ohne Brücken- und Ingenieurbauwerke nicht möglich. Deren Kosten machen in der Regel einen großen Anteil an den Gesamtkosten von Straßenbaumaßnahmen aus. Das Autobahn- und Bundesstraßennetz beinhaltet 38.288 Brücken mit einer Brückenfläche von ca. 29 Mio. m² (31.12.2008) sowie eine große Anzahl weiterer Ingenieurbauwerke wie Tunnel, Lärmschutzeinrichtungen und Stützwände. Das Gesamtanlagevermögen dieser Bauwerke beläuft sich auf ca. 45 Mrd. Euro.

Aus Sicht des Bauherrn geht es in erster Linie um die Sicherstellung von Mobilität durch ein umweltverträgliches, wirtschaftliches und qualitativ hochwertiges Straßennetz. Mobilität ist einer der identifizierten Indikatoren der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie. Zu berücksichtigen ist, dass das Netz der Verkehrswege Deutschlands mit seiner zentralen Lage in Europa die Hauptlast des

¹ Die Brundland-Kommission prägte 1987 den Begriff der Nachhaltigen Entwicklung als „...eine Entwicklung, die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen.“

Transitverkehrs trägt und durch den erweiterten europäischen Binnenmarkt ständig zunehmende Verkehrsströme aufnehmen wird.

Bei der Verankerung von Nachhaltigkeitsaspekten im Rahmen von Planung und Ausführung von Ingenieurbauwerken geht es nicht allein um Umweltaforderungen und ökonomische Kriterien. Gerade im Hinblick auf die internationale Beschaffung ist die Einhaltung von Mindestsozialstandards ein wichtiges Thema. Natürlich ist ein verantwortungsvoller Umgang mit Steuergeldern gefordert, was aber nicht bedeutet, dass die öffentliche Hand immer die – auf den ersten Blick – kostengünstigste Lösung wählen sollte. Vielmehr ist auch der volkswirtschaftliche Mehrwert umweltfreundlicher Waren oder Dienstleistungen zu berücksichtigen.

In den Vordergrund rückt auch die Thematik der notwendigen Anpassung der Straßeninfrastruktur an den Klimawandel. Aufgrund der Klimaänderung nehmen bereits heute extreme Wetterereignisse zu, deren Einwirkungen auf Straßen, Verkehr und Bauwerke lokal starke Schäden hervorrufen. Mittels Anpassungsmaßnahmen können Verkehr und Infrastruktur gegen die Auswirkungen von Extremniederschlägen, Dauerhitze oder extremen Windgeschwindigkeiten geschützt werden. So können die Folgekosten der Klimaänderung in Grenzen gehalten werden. Diese und weitere Kriterien für eine ganzheitliche Betrachtung der Straßeninfrastruktur sind Abb. 1 zu entnehmen.

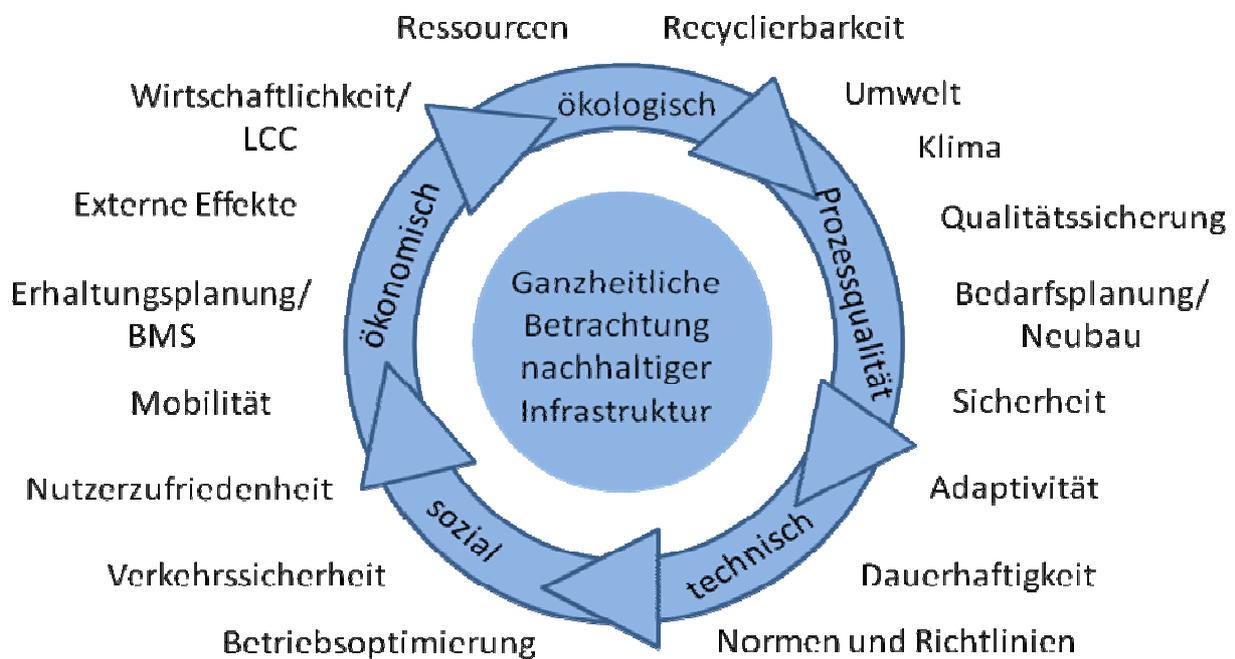


Abb.1: Kriterien und Ziele einer ganzheitlichen Betrachtung von Ingenieurbauten

2 Nachhaltigkeitsaspekte im Lebenszyklus

Um die Nachhaltigkeitsanforderungen an die Straßeninfrastruktur zukünftig zu erfüllen, sind neue Methoden gefragt. Ziel des Verkehrsbereichs des BMVBS ist die Verbesserung der Qualität der Bauwerke und die Einführung aufeinander abgestimmter und ganzheitlicher Instrumente zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Baumaßnahmen. Bei einer vorgesehenen Lebensdauer der Ingenieurbauwerke von 100 Jahren und mehr ergibt sich deren Qualität und Wert in Abhängigkeit von Lebenszyklusaspekten. Die dabei zu berücksichtigenden Phasen betreffen den Zeitraum der Herstellung, unterteilt in Planungsphase und Bauausführungsphase, die Zeiträume der Nutzung und des Rückbaus (Abb. 2). Grundsätzlich werden in den einzelnen Lebenszyklusphasen bereits ökonomische, ökologische und soziale Aspekte berücksichtigt. Entwicklungspotential im Hinblick auf eine ganzheitliche Nachhaltigkeitsbetrachtung wird im Folgenden dargestellt.

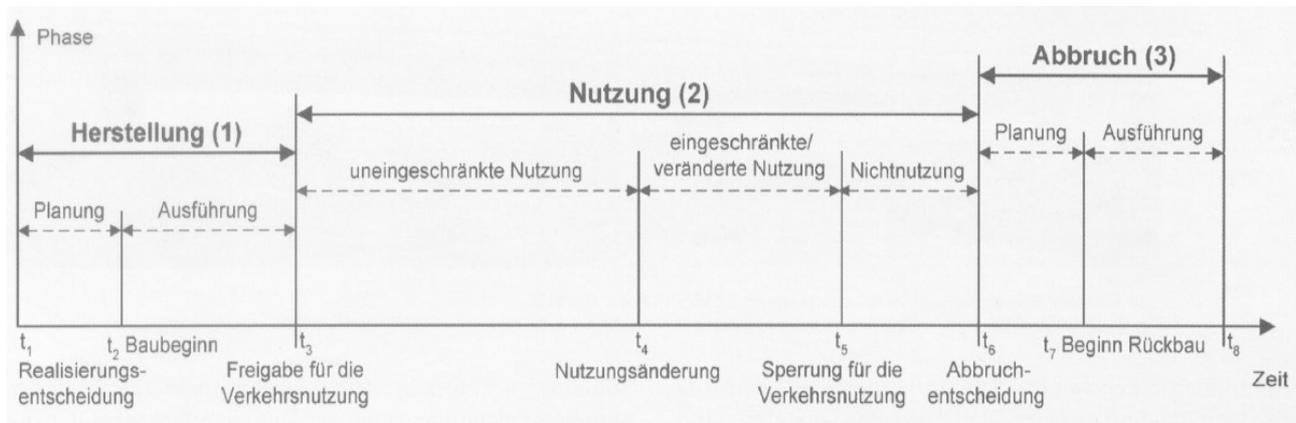


Abb.2: Lebenszyklus von Ingenieurbauwerken [3]

2.1 Planung-Ausschreibung-Vergabe

Als ersten Planungsschritt für seine Straßeninfrastruktur legt der Bund den Bundesverkehrswegeplan vor, der die Dringlichkeit von Projekten festlegt, die zur Verfügung stehenden Mittel berücksichtigt und Prioritäten für Investitionsentscheidungen der öffentlichen Hand setzt. Auf Basis verkehrsträgerübergreifender Prognosen findet in diesem Zusammenhang eine Priorisierung vorgesehener Neu- und Ausbauprojekte gemäß ihrer gesamtwirtschaftlichen Bewertung sowie ökologischer und raumordnerischer Einschränkungen statt [4]. Für die Straßenbauvorhaben der daraus resultierenden Bedarfspläne wird von der zuständigen Straßenbaubehörde eine Vorplanung ausgearbeitet, zu deren Ermittlung neben dem Ergebnis einer Umweltverträglichkeitsstudie u.a. auch die Auswirkungen auf den Verkehr und Fragen nach der Finanzierung und Wirtschaftlichkeit eine Rolle spielen. Öffentlichkeit und Behörden erhalten Gelegenheit zur Stellungnahme. Die Entwurfsarbeit erfolgt mit dem Ziel, dass

- die Trasse nach Möglichkeit und Vertretbarkeit umweltgerecht ist,
- alle Sicherheitsanforderungen erfüllt sind,

- die erforderliche Leistungsfähigkeit gewährleistet ist und
- die notwendige Wirtschaftlichkeit berücksichtigt wird.

Größere Infrastrukturmaßnahmen erfordern in der Regel ein Raumordnungsverfahren und ein Planfeststellungsverfahren. Parallel dazu erfolgt eine Umweltverträglichkeitsprüfung, bei der die Auswirkungen und Verträglichkeit verschiedener Projektvarianten auf die Umwelt untersucht werden [4]. Zweck der Planfeststellung ist es, alle betroffenen öffentlichen und privaten Belange miteinander abzuwägen und unterschiedliche Interessen auszugleichen. Gerade weil Bau und Betrieb einer Straße oft kritische Auswirkungen auf die Umwelt haben können, muss jeder Aspekt der Umweltverträglichkeit im Vorfeld einer Projektgenehmigung geprüft werden. Gesetze, Verordnungen und Richtlinien stellen sicher, dass der Umwelt bei der Planung von Straßen Rechnung getragen wird. Hier ist u. a. die europäischen FFH- (Flora-Fauna-Habitat-) Richtlinie aufzuführen, mit der ein kontinentweiter Naturschutz begründet wurde.

Die beabsichtigte Baumaßnahme wird nach Vorliegen der planungs- und baurechtlichen Voraussetzungen, Sicherstellung der Finanzierung und Durchführung des notwendigen Grunderwerbs, entsprechend der Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen ausgeschrieben [5]. Während im Bereich der Vorplanung wie oben beschrieben bereits Nachhaltigkeitskriterien einfließen, werden Vergabeentscheidungen über Baumaßnahmen noch maßgeblich durch die Diskussion über Erstellungs- und einmalige Investitionskosten beeinflusst. Diese Vergabeüberlegung greift zu kurz, da keine optimierenden Auswirkungen auf die Qualität des Bauwerks im Hinblick auf Nachhaltigkeit zu erwarten sind. Ein wesentlicher Grund für die immer noch herausragende Bedeutung des Angebotspreises als Entscheidungskriterium sind die begrenzten Ressourcen, die in den letzten Jahren zu einem verstärkten Druck auf Bauplanungs- und Ausführungskosten führten. Dieses gesamtgesellschaftliche Problem wirkt sich insbesondere negativ auf die Qualität der Bauausführung und damit auf die Nutzungsflexibilität und Dauerhaftigkeit von Infrastrukturen aus. Nach heute üblicher Kalkulation mit niedrigen Erstellungskosten erhöhen sich durch die steigenden Betriebs- und Erhaltungskosten die gesamten Lebensdauerkosten ebenfalls in nicht erwartetem und im Voraus oft kaum kalkulierbarem Umfang. Eine lebenslange Gesamtkostenplanung für Infrastrukturen gibt es in der Regel nicht.

2.2 Ausführung von Brückenbauwerken

Die grundlegenden technischen Regelwerke für die Bemessung und Konstruktion von Brückenbauwerken sind derzeit noch die DIN-Fachberichte 100 bis 104; zukünftig sind Eurocodes und nationale Anwendungsdokumente zu berücksichtigen. Festlegungen des Bauherrn für den Bereich der Straßenbauverwaltungen finden sich in den Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien (ZTV-ING) [6]. Die ZTV-ING sind von zentraler Bedeutung für alle technischen Fragen bei der bauvertraglichen Abwicklung. Hauptziel ist Brücken- und Ingenieurbauwerke sicher, dauerhaft, wirtschaftlich sowie wartungsarm und wartungsfreundlich zu errichten sowie die

Qualität/Qualitätsstandards und die vertragsgemäße Ausführung sicher zu stellen. Für eine Minimierung der Verkehrsbehinderung werden kurze Planungs- und Bauzeiten angestrebt. Es sind Regeln, die in der Wissenschaft als richtig erkannt sind und sich aufgrund fortdauernder praktischer Erfahrung der Straßenbauverwaltungen der Länder bewährt haben.

Die derzeitig gültigen Regelwerke für den Brückenbau gehen im Hinblick auf die Gesamtkonstruktion von einer Nutzungsdauer von 50 Jahren ohne grundhafte Instandsetzung aus. Elemente der Brückenausstattung haben zum Teil deutlich geringere Nutzungsdauern. Die bei der Planung zu Grunde liegenden Entwurfsprinzipien und die darauf basierende Auslegung der Nutzungsdauer müssen noch genauer an die bisherigen Erfahrungen und Erkenntnisse der spezifischen Schädigungsmechanismen angepasst werden, anstatt wie bisher nur auf der Extrapolation von Schädigungen zu beruhen. Neue Lebensdauerkonzepte sind zu entwickeln, die stärker wissenschaftsbasiert angelegt und weniger deterministisch orientiert sind. Hierfür gilt es, die Fortschreibung der Eurocodes in diesem Sinne zu forcieren.

Systemspezifisch konfektionierte Baustoffe und Materialien, die unter den jeweiligen Anforderungen höhere Lebensdauern und eine höhere Verlässlichkeit gewährleisten, sind weiterzuentwickeln und in die Praxis zu überführen. Ebenso sind Bauverfahren mit dem Ziel weiterzuentwickeln, Bauzeiten zu verkürzen und Beeinträchtigungen für Nutzer und die Umwelt zu reduzieren. Festlegungen zu Fehlertoleranzen und Akzeptanzkriterien für Fehler sind zu erarbeiten. Schlussendlich sind verbesserte Methoden zur Qualitätssicherung und Qualitätsüberprüfung während der Bauphase für viele Bauabläufe erforderlich. Hier bieten Weiterentwicklungen auf dem Gebiet der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung neue Aspekte.

2.3 Erhaltung und Betrieb

Brücken und Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen erfordern einen nicht unbeträchtlichen Aufwand zur Aufrechterhaltung der Verfügbarkeit, der Verkehrssicherheit und der Gewährleistung der geplanten Nutzungsdauer. Die dafür aufzustellenden Erhaltungsprogramme binden nicht nur bedeutende Finanzmittel sondern beeinflussen die gesamte Verkehrsinfrastruktur. Bereits geringe Störungen im Netz durch Verkehrsbeschränkungen oder durch den Ausfall einzelner Anlagenteile führen zu starken Verkehrsbehinderungen mit erheblichen Folgekosten für den Straßennutzer sowie zu negativen Auswirkungen auf die Umwelt. Aus diesem Grund wurde die Erhaltung der Bauwerke der Bundesfernstraßen systematisiert. Grundlage dafür sind regelmäßige, im Wesentlichen visuelle Bauwerksprüfungen, mit denen die Tragfähigkeit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit der Bauwerke bewertet und die Dringlichkeit der Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen angezeigt wird.

Zukünftige Einflüsse, wie z. B. die Entwicklung des Schwerverkehrs werden dabei nicht berücksichtigt. Hinzu kommt, dass der Brückenbestand in Deutschland im Hinblick auf die Tragfähigkeit der Konstruktionen uneinheitlich ist. Grund dafür sind die im Laufe der Zeit weiterentwickelten

Lastmodelle und Konstruktionsregeln. Risiken im Hinblick auf die Tragfähigkeit werden aktuell nur indirekt berücksichtigt. Es wird angenommen, dass Erhaltungsmaßnahmen am geschädigten Bauteil durchgeführt werden, bevor die Versagenswahrscheinlichkeit einen unakzeptablen Wert erreicht. Dieser Ansatz ist jedoch nur unter Voraussetzung einer Bausubstanz, die ihr Versagen ankündigt, einer zeitlich unveränderten Lastsituation und ausreichender Erhaltungsmittel gültig. Erforderlich ist vielmehr eine detailliertere Kenntnis über den Ist-Zustand, eine Prognose zukünftiger Entwicklungen und eine zuverlässigkeitsorientierte Analyse und Bewertung der Erkenntnisse in Echtzeit, um Betreiber und Nutzer der Bauwerke kurzfristig zu informieren und Maßnahmen rechtzeitig einleiten zu können.

3 Systematik der Nachhaltigkeitsbeurteilung von Brücken

Wie oben dargestellt werden in den einzelnen Lebenszyklusphasen eines Brückenbauwerks bereits umweltbezogene, ökonomische und sozio-kulturelle Aspekte in Entscheidungsprozesse einbezogen. Allerdings erfolgt dies in unterschiedlichem Umfang und mit unterschiedlichen Ansätzen, die zudem zum Teil nicht aufeinander abgestimmt sind. Es fehlt ein auf einheitlichen Ansätzen basierendes und ganzheitliches Bewertungssystem, das die vielfältigen Nachhaltigkeitskriterien systematisch berücksichtigt und das für eine Vielzahl von Aufgabenstellungen zu konzipieren ist:

- als Werkzeug in der Phase der Vorplanung und der weiteren Entwurfsarbeit
- zur Bewertung von unterschiedlichen Varianten
- im Rahmen von Ausschreibung und Vergabe
- zur Begleitung des Bauprojekts in allen Bauphasen
- im Rahmen des Erhaltungsmanagements

Ein weiterer Punkt ist, dass das Thema Nachhaltigkeit nicht abgegrenzt im Hinblick auf die Bauwerksart „Brücke“ zu betrachten ist. Im Gesamtverkehrssystem Straße bestehen zwischen allen Bauwerken (z. B. Straße, Brücke, Tunnel) in den einzelnen Lebenszyklusphasen (Herstellung, Nutzung Abbruch) erhebliche Wechselbeziehungen. Aus diesem Grund sind Bewertungsverfahren für die Einzelelemente der Straße und ihre Kombination in Form von Streckenzügen erforderlich.

Die Thematik eines ganzheitlichen Bewertungsverfahrens zur Unterstützung nachhaltigen Bauens wurde zunächst vom Baubereich des BMVBS angenommen. Der „Runde Tisch Nachhaltiges Bauen“ erarbeitete in Zusammenarbeit mit Wissenschaft und Praxis erste Lösungsansätze. So wurde mit dem Bewertungssystem „Nachhaltiges Bauen“ ein nationales Bewertungsverfahren zunächst für Büro- und Verwaltungsgebäude entwickelt, das nun marktbereit zur Verfügung steht. Entsprechende Informationen sind im Internet (unter www.nachhaltigesbauen.de) veröffentlicht. Das Verfahren ist in [1] beschrieben.

Für den Bereich der Straßeninfrastruktur ist die vom BMVBS initiierte BAST-Projektgruppe „Nachhaltigkeitsbewertung der Straßeninfrastrukturen“ von besonderer Bedeutung. Derzeit werden von dieser Gruppe allgemeine Bewertungskonzepte und Kriterien für die unterschiedlichen Bauwerke Brücke, Straße, Tunnel und ganze Streckenzüge erarbeitet. In einer Vorstufe wurde bereits ein Verfahren zur Nachhaltigkeitsbewertung von Brückenbauwerken entwickelt, dass derzeit im Rahmen einer Pilotstudie verifiziert und ggf. angepasst wird [7]. Danach erfolgt die Veröffentlichung des Verfahrens.

Ausgangspunkt ist das o. g. Bewertungssystem „Nachhaltiges Bauen“, das speziell auf die Bewertung der Zukunftsfähigkeit von Büro- und Verwaltungsgebäuden über deren Lebenszyklus auf der Grundlage quantifizierbarer Messgrößen ausgerichtet ist. Das System hat Modellcharakter für andere Anwendungsbereiche, wie z. B. Infrastrukturen. Für die Kriteriengruppen „Ökologische Qualität“, „Ökonomische Qualität“, „Soziokulturelle und funktionale Qualität“, „Technische Qualität“ und „Prozessqualität“ (Abb. 3) wurden insgesamt 63 Einzelkriterien gebildet sowie Bewertungsverfahren in Verbindung mit Grenz-, Referenz- und Zielwerten entwickelt. Das Verfahren mündet in eine Gesamtbewertung des Objekts. Im internationalen Vergleich ist dieses System sehr detailliert und als ganzheitlich zu bezeichnen.

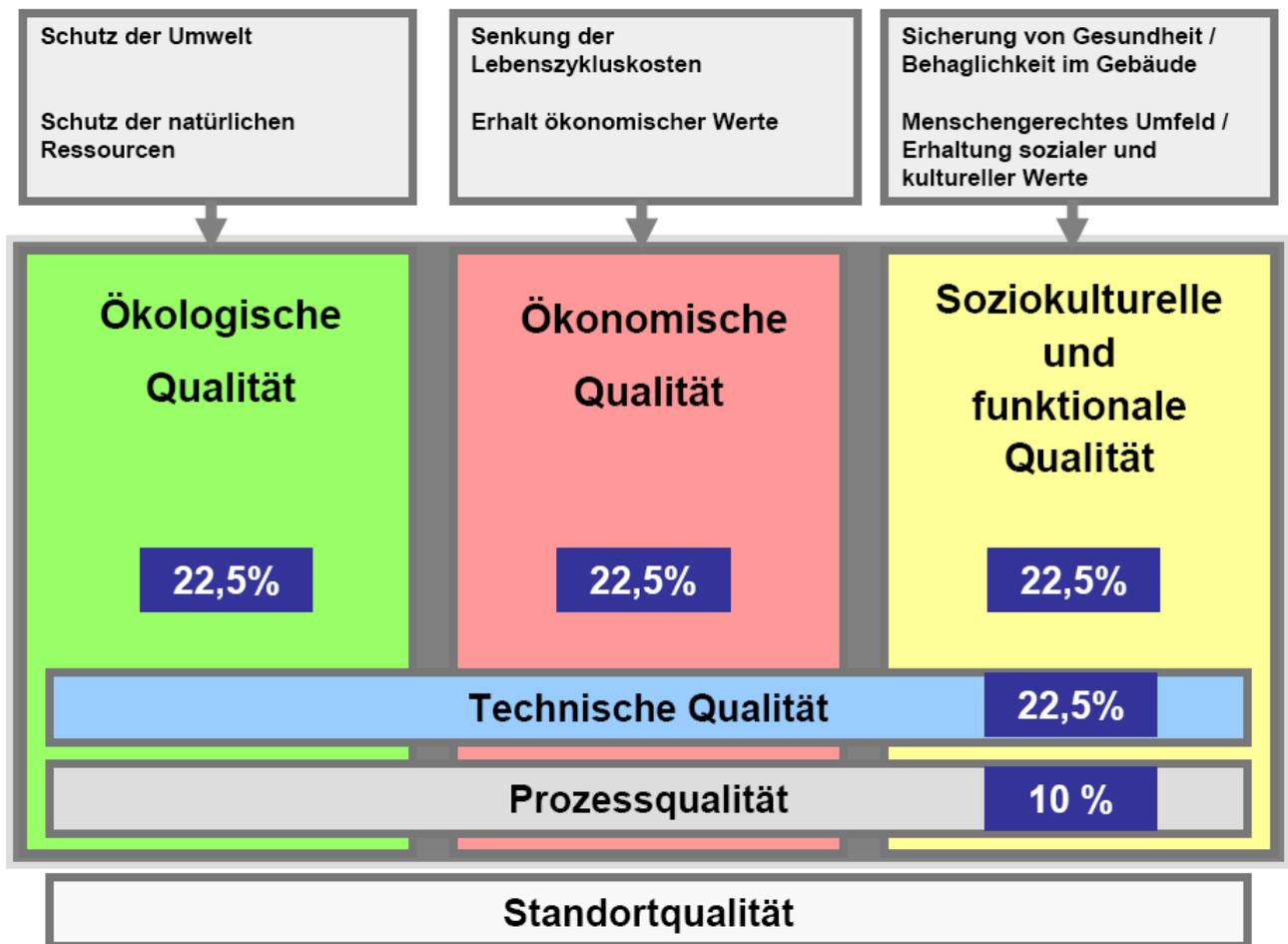


Abb. 3: Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Bauen [8]

Diese Systematik wurde in [7] für Brückenbauwerke weiterentwickelt. Dabei konnten einzelne Teilkriterien entfallen bzw. infrastrukturetypische Aspekte mussten neu aufgenommen und Gewichtungen von Einzelkriterien überarbeitet werden. Wesentliche Bestandteile sind die Ermittlung der Lebenszykluskosten (Life-Cycle-Costs, LCC) und die Ökobilanzierung (Life-Cycle-Assessment, LCA) [9].

Weitere Projekte, die sich derzeit unter Beteiligung der BAST mit der Entwicklung von Konzeptionen für die Bewertung der Nachhaltigkeit von Brückenbauwerken beschäftigen sind SBri und NABRÜ. Im EU-Projekt „Sustainable steel-composite bridges in built environment“ (SBri), soll ein Softwaretool zur Bewertung sowohl ökologischer als auch ökonomischer Qualitäten entwickelt werden. Die BAST ist hier an der Definition von Lebenszyklus-Szenarien beteiligt und kann zur Entwicklung von Schadensmodellen im Hinblick auf den Korrosionsschutz an Stahl-Verbundbrücken beitragen. Das vom BMWi geförderte AiF-Forschungsvorhaben „Ganzheitliche Bewertung von Stahl- und Verbundbrücken nach Kriterien der Nachhaltigkeit“ hat das Ziel, einen sogenannten Nachhaltigkeits-Index Brücke (NIB) zu erstellen, welcher in der Ausschreibung und Vergabe berücksichtigt werden soll. Die Ergebnisse dieser Projekte werden von Seiten der BAST-Projektgruppe „Nachhaltigkeitsbewertung der Straßeninfrastrukturen“ berücksichtigt werden.

3.1 LCC

Die ökonomische Säule des Nachhaltigen Bauens berücksichtigt die Gesamtwirtschaftlichkeit eines Gebäudes. Dies beinhaltet die Optimierung der Gesamtkosten über den kompletten Lebenszyklus eines Bauwerks sowie die wirtschaftliche Optimierung der Zeitpunkte für Investitionen, Erneuerungs- und Wartungszyklen. So werden bisher die Entscheidungen über die Realisierung eines Projektes lediglich über die Höhe der (einmaligen) Investitionskosten getroffen. Die meisten Kosten entstehen jedoch während der Nutzungsphase. Darüberhinaus sind die indirekten externen Kosten das sind zusätzliche Aufwendungen, die durch die Beeinträchtigung für den Nutzer entstehen zu berücksichtigen. Das Ziel einer Bewertung ökonomischer Kriterien im Rahmen von Nachhaltigkeitsbetrachtungen besteht in der Minimierung von Lebenszykluskosten sowie von Beeinträchtigungen im Rahmen der Nutzung von Verkehrsinfrastrukturbauwerken.

Die Kostenbestandteile im Lebenszyklus eines Infrastrukturbauwerks können in Herstell-, Nutzungs- und Abbruchkosten unterteilt werden. Die Herstell- und Abbruchkosten lassen sich unter Berücksichtigung der gegebenen Parameter abschätzen. Die Schwierigkeit bei der Ermittlung der Erhaltungskosten über den gesamten Lebenszyklus liegt in der Prognostizierbarkeit des Erfordernisses und des Ausmaßes von Erhaltungsmaßnahmen. Diese werden aktuell über die Nutzungsdauern der einzelnen Ausstattungselemente bestimmt. Generell sind Infrastrukturbauwerke für eine Lebensdauer von 100 Jahren ausgelegt. Über diesen langen Zeitraum muss es ermöglicht werden, die anfallenden Kosten annähernd vorherzubestimmen um so Entscheidungen vorzubereiten, die langfristig einen Nutzen haben und gleichzeitig, trotz ggf. höherer Investitionskosten, die

späteren Generationen sowie die benötigten Ressourcen entlasten. Weiterhin ist zu beachten, dass infolge der Durchführung von Baumaßnahmen bei der Herstellung, der Erhaltung und dem Abbruch durch Verkehrseinschränkungen für die Nutzer externe Kosten in Form von zusätzlichen Aufwendungen für Zeitverlust, Mehrverbrauch von Kraftstoffen oder durch verändertes Unfallgeschehen entstehen.

Entwicklungsziel aktueller Arbeiten ist die Bereitstellung eines möglichst objektiven, transparenten und handhabbaren Verfahrens zur Bewertung ökonomischer Kriterien im Rahmen von Nachhaltigkeitsbetrachtungen. Aus Transparenzgründen werden Lebenszykluskosten und externe Kosten getrennt voneinander bilanziert. Eine positive Bewertung kann beispielsweise durch bauliche Maßnahmen erzielt werden, wie z.B. die Verwendung von Bauteilen oder Materialien mit einer erhöhten Nutzungsdauer, innovative konstruktive Bauweisen mit reduziertem Erhaltungsaufwand oder verkürzter Bauzeit, qualitätsverbessernde Maßnahmen im Herstellprozess oder prüfgerechtes / erhaltungsgerechtes Bauen.

Im Gegensatz zu bestehenden Bewertungsverfahren für den Hochbau spielen dabei indirekte (externe) Effekte oftmals eine wesentliche Rolle und können schnell ein enormes Kostenniveau erreichen. Daher muss neben der generellen Forschungs- und Entwicklungstätigkeit am Bewertungssystem vor allem auch ein wissenschaftlich fundiertes und dennoch für die praktische Anwendung taugliches Werkzeug erarbeitet werden, mit dem die indirekten Effekte wirkungsvoll in das Gesamtkonzept integriert werden können. Um dabei zu verhindern, dass das Gesamtergebnis zu stark von einzelnen Aspekten dominiert wird (z.B. durch die externen Kosten), erscheint die Einführung eines detaillierten und ausgewogenen Punkt- und Wertesystems (vergleichbar mit der Vorgehensweise im Hochbau; Ziel-, Grenz- und Referenzwerte) Erfolg versprechend.

3.2 LCA

Sowohl die Bautätigkeit bei der Erstellung von Infrastrukturen als auch deren Betrieb und Unterhaltung haben Auswirkung auf die Umwelt. Die direkten Auswirkungen des Baugeschehens wie Lärm, Staub und Schadstoffemissionen wirken unmittelbar auf Mensch, Boden und Wasser ein. Mit ökologischen Bilanzierungen (Live-Cycle-Assessment - LCA) werden auch die indirekten Auswirkungen eines Produktes, eines Verfahrens oder einer Tätigkeit auf die Umwelt im Verlauf der gesamten Lebenszeit bewertet. Dabei wird die Verwendung bestimmter Ressourcen quantitativ bemessen ("Inputs", z.B.: Energie, Rohstoffe, Wasser). Zudem werden die Emissionen in die Umwelt ("Outputs" in Luft, Wasser und Boden), die mit dem untersuchten System in Verbindung zu bringen sind, beurteilt. Eingangsgrößen für LCA-Verfahren sind die Stoffströme, welche im Rahmen eines Verfahrens anfallen.

Im Zuge einer Ökobilanz werden derzeit sogenannte EPDs (Environmental Product Declarations) für Bauprodukte entwickelt. Diese berücksichtigen neben den Wirkungskategorien Treibhauspo-

tential (GWP), Abiotischer Ressourcenverbrauch (ADP), Ozonabbaupotential (ODP), Versauerungspotential (AP), Eutrophierungspotential (EP) und Bodennahes Ozonbildungspotential (POCP) auch den Primärenergieverbrauch erneuerbarer und nicht erneuerbarer Energien. Betrachtet wird der Produktlebenszyklus im Hinblick auf die Herstellung, den Transport der wesentlichen Rohstoffe, den Transport des Produktes sowie die Verwertung bzw. Entsorgung am Ende der Nutzungsdauer.

Ohne Stahl und Beton lassen sich weitgespannte Bauwerke mit hohen veränderlichen Lasten nicht wirtschaftlich herstellen. Da bei dem Bau von Brücken- oder auch Tunnelbauwerken aber erhebliche Massen von Stahl und Beton benötigt werden, sind diese im Sinne der Nachhaltigkeit optimiert einzusetzen. Erfordert der Baustoff Stahl bei der Herstellung einen hohen Aufwand an Primärenergie bzw. werden hohe Mengen an Treibhausgasen emittiert, muss bei der Betrachtung des Lebenszyklus auch die besondere Recyclingfähigkeit von Stahl als Sekundärmaterial berücksichtigt werden. Als weitere Vorzüge sind der hohe Grad an industrieller Vorfertigung und somit eine verhältnismäßig kurze Bauzeit, die leichte Demontierbarkeit sowie die vergleichsweise einfache Verstärkung von Bauwerken durch Aufschweißen von Blechen zu berücksichtigen.

Auch dem Betonbau kommt im Hinblick auf Nachhaltigkeit, Ressourcenverbrauch und Klimawandel eine herausragende Bedeutung zu, da u. a. die Zementproduktion erhebliche Mengen klimaschädlicher Gase erzeugt. Durch die Zementherstellung entstehen ca. 5% des weltweit ausgestoßenen CO₂-Gases. Dem stehen die Vorteile der Dauerhaftigkeit, Gestaltungsfreiheit und Mengenverfügbarkeit gegenüber. Zudem stellt für Brücken mit einer Spannweite von rd. 40 m die Betonbauweise die wirtschaftlichste Alternative dar. Der Bestand der Brücken im Bundesfernstraßennetz verdeutlicht, dass insbesondere im Betonbau die Prozessverbesserung im Hinblick auf eine Nachhaltige Entwicklung vorangetrieben werden muss, um im Bauwesen möglichst auf breiter Ebene wirksam zu werden.

4 Fazit

Für den Bereich der Bundesfernstraßen gewinnen Nachhaltigkeitsaspekte aufgrund von neuen Herausforderungen zunehmend an Bedeutung. Der Klimawandel, vom Menschen zu verantwortende Katastrophen, absehbare wirtschaftliche Rahmenbedingungen zukünftiger Generationen sowie die Sicherstellung der vorhandenen Infrastruktur als Lebensgrundlage unserer Gesellschaft rücken in den Focus der politischen Diskussion. Bekannt ist, dass die bisher eingesetzten finanziellen Mittel für den Erhalt der Straßeninfrastruktur unzureichend sind und dass sich an dieser Situation zukünftig eher nichts ändern wird. Diese Situation birgt die Herausforderung, noch effizienter und effektiver im Hinblick auf Nachhaltigkeitskriterien zu planen, zu bauen und zu erhalten. Die Berücksichtigung ökonomischer, ökologischer und sozialer Kriterien erfordert Lebenszyklusbe-

trachtungen und erhöhte Anforderungen an die Qualität von Planung und Ausführung. Für die einzelnen Lebenszyklusphasen besteht weitgehendes Entwicklungspotenzial:

- Planung und Ausschreibung: Einbeziehung lebenslanger Gesamtkostenplanungen in Entscheidungsprozesse, Einbeziehung von Nachhaltigkeitsaspekten in Ausschreibung und Vergabe, Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten in PPP-Modellen
- Ausführung: Entwicklung neuer Lebensdauerkonzepte für die Konstruktion von Bauwerken, Fortschreibung der Regelwerke im Hinblick auf Nachhaltigkeit, Weiterentwicklung von Baustoffen und Bauverfahren zur Erhöhung der Lebensdauer, Verkürzung von Bauzeiten und Reduktion von Auswirkungen auf Dritte, Entwicklung verbesserter Methoden der Qualitätssicherung und – überprüfung
- Erhaltung: Optimierte Erhaltungsstrategien, Zuverlässigkeitsorientiertes Erhaltungsmanagement, Einbeziehung intelligenter Systeme.

Die Nachhaltigkeitsbewertung stellt ein wesentliches Hilfsmittel zur Realisierung zukunftsfähiger Ingenieurbauwerke dar. Grundlegend ist die Entwicklung von ganzheitlichen Beurteilungskriterien und entsprechenden Bewertungsverfahren für Verkehrsinfrastrukturen unter Berücksichtigung von Lebenszyklusaspekten. Ziel ist ein wissenschaftlich fundiertes und dennoch für die praktische Anwendung taugliches Werkzeug für Straßenbauverwaltungen.

5. Literatur

- [1] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW):
Leitfaden Nachhaltiges Bauen;
Herausgeber: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Ausgabe 2011
- [2] Lünser, H.:
Ökobilanzen im Brückenbau,
Birkhäuser Verlag, Basel 1999
- [3] Schach, R., et. al.:
Lebenszykluskosten von Brückenbauwerken,
Bauingenieur, Band 81, 2006
- [4] Mitusch, K., Liedtke, G.:
Der Planungsverlauf von Megaprojekten.
Forschungs-Informationen-System (FIS) des BMVBS, 2011
- [5] Handbuch für die Vergabe und Ausführung von Bauleitungen im Straßen- und Brückenbau
(HVA-B-Stb), Ausgabe 2006

- [7] Mielecke, T., et. al.:
Entwicklung einheitlicher Bewertungskriterien für Infrastrukturbauwerke im Hinblick auf Nachhaltigkeit.
Schlussbericht zum FE 15.0494/2010/FRB, 2010,
unveröffentlicht
- [8] Hegner, H.-D.:
Nachhaltiges Bauen in Deutschland – Bewertungssystem des Bundes für Büro- und Verwaltungsbauten,
Stahlbau, Band 79, 2010
- [9] Graubner, C.-A., et. al.:
Nachhaltigkeitsbewertung für die Verkehrsinfrastruktur;
Bauingenieur, Band 85, 2010