

## Ermittlung der Nutzen und Kosten von Verkehrsbeeinflussungsanlagen über deren gesamten Lebenszyklus

FA 3.489

Forschungsstelle: PTV Planung Transport Verkehr AG, Stuttgart

Bearbeiter: Balmberger, M. / Dahl, A. /  
Maibach, W. / Schäfer, T. /  
Schüller, H.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: September 2013

### 1 Aufgabenstellung

Seit Ende der 1980er Jahre sind auf den Autobahnen in Deutschland eine ganze Reihe von automatisch gesteuerten Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA) im Einsatz. Diese Anlagen erhöhen die Leistungsfähigkeit und die Verkehrssicherheit auf den Autobahnen. Das Bundesministerium für Verkehr hat den Bau in den 1990er Jahren stark forciert und in einem Rahmenprogramm gefördert.

Vor Bereitstellung der Mittel zum Neubau oder zur Erneuerung einer Anlage wird von der betreffenden Länderbehörde dem Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung ein RE-Entwurf vorgelegt, in dem die Notwendigkeit der Anlage dargelegt und ihre Wirksamkeit nachgewiesen wird. Bisher wurden i. d. R. alle diesbezüglichen Bewertungsverfahren in der Art durchgeführt, dass die zu erwartenden, monetarisierten Nutzen der Anlage (= Summe der jährlichen Nutzen aller Nutzenkomponenten) durch die Kosten der Anlage (= Investitionskosten der Anlage über einen Abschreibungszeitraum von i. d. R. zehn Jahren als Jahreskosten plus ein pauschalisierter Prozentsatz für die laufenden Kosten) dividiert wurden. Über das so ermittelte Nutzen-Kosten-Verhältnis wurde die Bauwürdigkeit gesamtwirtschaftlich beurteilt.

Im Rahmen der Nutzen-Kosten-Betrachtung blieb bislang ein großer Teil der anfallenden Kosten einer Anlage ebenso unberücksichtigt wie die Tatsache, dass die Anlagen i. d. R. mehr als zehn Jahre in Betrieb sind.

Vor diesem Hintergrund sollte dieses Forschungsprojekt die Frage klären, welche Nutzen (i. d. R. volkswirtschaftliche Nutzen) und Kosten solche Anlagen im Zuge ihres Lebenszyklus implizieren. Ziel der Arbeit ist es deshalb, aufzuzeigen, wie sich solche Nutzen-Kosten-Verhältnisse präzisieren lassen, wenn der gesamte Lebenszyklus einer Verkehrsbeeinflussungsanlage betrachtet wird.

### 2 Untersuchungsmethodik

Zunächst wurde der Lebenszyklus von Verkehrsbeeinflussungsanlagen in sinnvolle Abschnitte (Lebensphasen) unterteilt. Unter Beachtung der Aspekte, nur eine überschaubare Anzahl von Lebensphasen anzusetzen und gleichzeitig darauf zu achten, dass in den einzelnen Lebensphasen sowohl die Aufwände als auch die Nutzen möglichst konstant sind, konzentrierte man sich auf die folgenden Lebensphasen:

- In der **Planungsphase** entstehen Personalkosten in Form von Planungskosten; Nutzen fallen keine an.
- In der **Bauphase** fallen Personalkosten für die Bauüberwachung sowie die Investitionskosten für die Erstellung der Anlage an.
- In der **Betriebsphase** kann die Anlage ihren vollen Nutzen entfalten; es fallen jedoch in dieser Phase auch Kosten an: Personalkosten für die Steuerung und Betreuung der Anlage, Energiekosten, Wartungs- und Instandsetzungskosten für die einzelnen Komponenten der Anlage.
- Während der **Rückbauphase** fallen erneut Personalkosten für Bauüberwachung an sowie Kosten für den Rückbau der Anlage.

Um sich einen Überblick über die Kosten von VBA in ihrem Lebenszyklus zu verschaffen, wurden die Straßenbauverwaltungen der Länder befragt. Dies erfolgte mithilfe eines Fragebogens und wurde durch einzelne Expertengespräche ergänzt. Dabei wurden vor allem Anlagen betrachtet, die bereits eine lange Betriebsdauer aufweisen. Insgesamt wurden Daten von 17 bestehenden Anlagen ausgewertet.

Um die Ergebnisse der verschiedenen Anlagen vergleichbar zu machen, war es erforderlich, die für die einzelnen Anlagen ermittelten absoluten Kosten und Nutzen zu normieren. Bei Streckenbeeinflussungsanlagen (SBA) und temporärer Seitenstreifenfreigabe (TSF) liegt es nahe, für eine Normierung die Kosten auf die fahrtrichtungsbezogene Länge (in km) zu beziehen. Für Netzbeeinflussungsanlagen (NBA) wird ein besonderer Kennwert in Abhängigkeit von der Anzahl der Wegweisketten in den Zuläufen und von der Länge der beeinflussten Strecke entwickelt, der als Normierungsbasis dient. Bei Zuflussregelungsanlagen (ZFR) liegt es nahe, zur Normierung die Kosten auf die Stückzahl zu beziehen.

Die Berechnung der Nutzen erfolgt auf der Basis bereits in anderen Forschungsvorhaben und im Rahmen der Arbeitskreise der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) entwickelten Methoden und Modelle. Es wurden nur Nutzen während der Betriebsphase ermittelt; in den anderen Lebensphasen entstehende – teilweise auch negative – Nutzen sind marginal und vernachlässigbar, wie die Befragung der Straßenbauverwaltungen ergab.

Im nächsten Schritt wurden Lifecycle-Tools entwickelt, mit deren Hilfe alle Kosten und Nutzen berechnet werden können, die im Laufe eines Lebenszyklus einer VBA anfallen. Die neuen Lifecycle-Tools wurden für die Anlagentypen NBA, SBA, TSF und ZFR erstellt und umfassen jeweils Excel-Tools zur

- Erfassung der Eingangsdaten,
- Nutzenberechnung durch Reisezeitgewinn aufgrund Verbesserung Verkehrsfluss,
- Nutzenberechnung durch Reisezeitgewinn aufgrund Reduzierung Unfälle,

- Nutzenberechnung durch Erhöhung Verkehrssicherheit,
- Nutzenberechnung bezüglich Schadstoffreduzierung und
- Darstellung der Ergebnisdaten.

Diese Tools wurden an drei Anlagen unterschiedlichen Typs exemplarisch angewendet. Als Ergebnis der Anwendung der Bewertungstools werden die Kosten und Nutzen der einzelnen Lebensphasen zusammengetragen und darstellt.

### 3 Untersuchungsergebnisse

#### 3.1 Ermittlung der Kostenkomponenten und der Erfahrungen mit VBA

Zur Erhebung der Kosten und der Erfahrungen mit VBA wurden die Straßenbauverwaltungen der Länder befragt. Die Erhebung umfasste 21 verschiedene Anlagen aus neun Länderverwaltungen.

gen. Je Fragebogen wurden durchschnittlich 117 Informationen abgefragt. Insgesamt wurden somit 2 457 Informationen angefragt. Die Rücklaufquote der Fragebögen betrug 81 % (17 von 21). In den rückgesendeten Bögen wurden im Schnitt 62 % der Informationen angegeben. Bezogen auf die 21 versandten Fragebögen wurden im Durchschnitt 50 % der angefragten Informationen beantwortet.

Besonderen Wert bei der Erhebung der Kosten wurde auf die Entwicklung der Kosten während der Betriebsphase gelegt. Insgesamt wurden die Kosten für die Anlagentypen NBA, SBA, TSF und ZFR zusammengestellt. Daten über Richtungswechselbetrieb und Knotenbeeinflussungsanlagen mit variabler Fahrstreifenzuordnung konnten nicht erhoben werden.

Die Zusammenstellung der mittleren, gerundeten normierten Kosten kann folgender Tabelle entnommen werden:

Phase	Kosten	NBA	SBA	TSF	ZFR
Planung	Personalkosten Straßenverwaltung	30 €/NBA-Kennwert	1 400 €/km	1 400 €/km	3 000 €/Stk
	Personalkosten externe Planer	260 €/NBA-Kennwert	2 500 €/km	2 500 €/km	3 800 €/Stk
	Summe Planung	290 €/NBA-Kennwert	3 900 €/km	3 900 €/km	6 800 €/Stk
Bau	Personalkosten Straßenverwaltung	20 €/NBA-Kennwert	1 900 €/km	1 900 €/km	2 400 €/Stk
	Personalkosten externe Planer	220 €/NBA-Kennwert	4 400 €/km	4 400 €/km	800 €/Stk
	Investitionskosten	11 000 €/NBA-Kennwert	160 000 €/km	140 000 €/km	100 000 €/Stk
	Summe Bau	11 240 €/NBA-Kennwert	166 300 €/km	146 300 €/km	103 200 €/Stk
Betrieb	Energiekosten	30 €/NBA-Kennwert*a	1 200 €/km*a	800 €/km*a	400 €/Stk*a
	Instandhaltungskosten	100 €/NBA-Kennwert*a	4 800 €/km*a	2 200 €/km*a	500 €/Stk*a
	Personalkosten Straßenverwaltung	25 €/NBA-Kennwert*a	450 €/km*a	5 800 €/km*a	700 €/Stk*a
	Personalkosten externe Planer	0 €/NBA-Kennwert*a	30 €/km*a	0 €/km*a	180 €/Stk*a
	Summe Betrieb+	155 €/NBA-Kennwert*a	6 480 €/km*a	8 800 €/km*a	1 780 €/Stk*a
Rückbau	Personalkosten Straßenverwaltung	10 €/NBA-Kennwert	900 €/km	1 000 €/km	700 €/Stk
	Kosten für Abbau und Entsorgung	300 €/NBA-Kennwert	14 000 €/km	8 000 €/km	6 600 €/Stk
	Summe Rückbau	310 €/NBA-Kennwert	14 900 €/km	9 000 €/km	7 300 €/Stk

Nach den Investitionskosten, die bei allen Anlagentypen den größten Anteil darstellen, summieren sich in der Regel die Instandhaltungskosten im Laufe der Betriebsphase zu dem zweitgrößten Block auf. Ausnahme bilden die TSF, hier summieren sich die Personalkosten der Straßenbauverwaltung in der Betriebsphase zur zweitgrößten Kosten tranche auf. Die Personalkosten bei den anderen Anlagentypen sind dagegen relativ gering, da diese Systeme vollautomatisch laufen. Bei TSF ist dagegen ein großer Personalaufwand erforderlich, da vor Einschaltung die Seitenstreifen aus Sicherheitsgründen auf Hindernisfreiheit überprüft werden müssen.

Die mittlere Dauer des Lebenszyklus von NBA beträgt 16,5 Jahre, wovon durchschnittlich 13,3 Jahre auf die Betriebsphase entfallen. Dieser Wert für die Betriebsdauer ergibt sich aus der Tatsache, dass die Mehrzahl der betrachteten NBA bereits aufgrund neuer Anzeige konzepte (dWiSta) erneuert wurde und

eine Erneuerung den Beginn eines neuen Lebenszyklus darstellt.

Bei SBA beträgt die mittlere Dauer des Lebenszyklus 20,6 Jahre. Die Betriebsphase dauert im Mittel davon 17,3 Jahre. Bei den SBA ist diese Betriebsdauer bereits als Grenzwert anzusehen. Die Mehrzahl der Anlagen wurde oder wird derzeit erneuert.

Keine der TFS hat bisher ihren Lebenszyklus abgeschlossen. Obwohl es sich bei TSF um Übergangslösungen handelt, die nur zur Überbrückung eines Leistungsfähigkeitsengpasses eingesetzt werden bis entsprechende Mittel zum Ausbau der Straße zur Verfügung stehen, könnten die untersuchten Anlagen noch auf unabsehbare Zeit in Betrieb bleiben. Die Betriebsphase umfasst im Mittel bisher 7,0 Jahre; sie ist noch nicht ausgeschöpft. Theoretisch kann davon ausgegangen

werden, dass der Lebenszyklus von TSF dem von SBA entsprechen könnte.

Bei ZFR beträgt die mittlere Dauer des Lebenszyklus der untersuchten Anlagen 13,4 Jahre. Die Betriebsphase dauert im Mittel davon 11,5 Jahre. Der recht niedrige Wert für die Betriebsdauer liegt darin begründet, dass diese Anlagen i. d. R. noch nicht länger in Betrieb sind. Eine der Anlagen ist bereits 15 Jahre in Betrieb, von den beiden anderen Anlagen wurde eine bereits abgebaut und die andere wird in absehbarer Zeit abgebaut, weil sie nicht mehr benötigt werden. Die Betriebsdauer ist jedoch nach 11,5 Jahren noch nicht ausgeschöpft. Es kann davon ausgegangen werden, dass der Lebenszyklus von ZFR dem von SBA entsprechen könnte.

Bei den Befragungen der Betreiber hinsichtlich der Lebensdauer von einzelnen VBA-Komponenten wurde immer wieder auf die Komplexität des Systems und die daraus entstehenden Abhängigkeiten – auch auf die Lebensdauer – hingewiesen. Die Bestimmung der Lebensdauer einer VBA ist natürlich von den Lebensdauern der einzelnen Komponenten abhängig. Viele dieser Komponenten sind i. d. R. austauschbar und beeinträchtigen die Lebensdauer der Gesamtanlage durch ihren Ausfall nicht, sondern werden einfach gegen gleichwertige Bauteile getauscht. Unter ungünstigen Umständen kann aber ein defektes Bauteil dazu führen, dass erhebliche Teile der Anlage ausgetauscht werden müssen.

Ein wirtschaftliches Aus für eine Anlage hängt allerdings oft auch von Zufallsereignissen ab. Hierzu gehört z. B. der Ausfall von Teilen, die nicht mehr ersetzt werden können, weil technisches Know-how über das Funktionieren dieses Teils beim Hersteller oder beim Betreiber nicht mehr vorhanden sind. Ein anderer Grund kann sein, dass spezielle Bauteile nicht mehr zur Verfügung stehen, weil zwischenzeitlich die Fertigung eingestellt wurde oder der Hersteller Konkurs gegangen ist.

Üblicherweise wird im Zuge der Ausschreibung einer VBA ein 6- oder 10-jähriger Wartungsvertrag mit ausgeschrieben, der nach Inbetriebnahme der Anlage beauftragt wird. Der Vertrag verlängert sich nach Ablauf i. d. R. automatisch um ein Jahr. Preis- und Lohnleitung sind in der Regel bereits zu Beginn vereinbart. Der Bund stellt dem Betreiber der Anlage jährlich Mittel zur Verfügung, mit deren Hilfe die Instandhaltungskosten gedeckt werden sollen. Nach Ablauf der Vertragsdauer besteht von beiden Seiten die Möglichkeit, den Wartungsvertrag zu kündigen. Dies wird immer öfter seitens der Hersteller wahrgenommen. Ebenso sind neue Preisverhandlungen über Nachträge erforderlich, wenn der AN nach Ablauf der Vertragsdauer die Ersatzteilgarantie aufkündigt oder erklärt, dass einzelne Komponenten nicht mehr lieferbar sind.

Es besteht jedoch in der Regel kein Wettbewerb, da als Wartungsfirma meist nur die Herstellerfirma infrage kommt. Dies führt i. d. R. zu höheren Wartungskosten. Längere Wartungsverträge wären wünschenswert, sind aber aus vertraglicher Sicht bedenklich. Der veränderte, höhere Preis für die jährlichen Wartungskosten ist aber oft nicht mehr durch die jährlichen Zuwendungen des Bundes gedeckt. Wenn keine Einigung erzielt werden kann, erfolgt keine Verlängerung des Wartungsvertrages. Dann wird die Wartung ggf. als Regieleistung beauftragt.

Bei einzelnen Verträgen mit Laufzeiten größer zwölf Jahren gab es in der Vergangenheit zum Teil Schwierigkeiten bei der Ersatzteilbeschaffung. Am ehesten sind Lieferschwierigkeiten bei Hardwarekomponenten und/oder EAK-Steuermodulen über zwölf Jahre (bezogen auf die Inbetriebnahme) zu erwarten. Insgesamt ergab sich, dass Wartungsverträge durch stillschweigende Verlängerungen etwa 17 Jahre laufen, bevor sie von einer Seite gekündigt wurden. Es kommen sogar Spitzenwerte von bis zu 24 Jahren Laufzeit vor.

Insgesamt ist bei der Betrachtung des Lebenszyklus einer VBA zu konstatieren, dass sich die Lebensdauern der Einzelteile sehr unterschiedlich und abweichend von dem Lebenszyklus der Gesamt-VBA verhalten. Es kristallisierte sich heraus, dass von einer Betriebsdauer des Gesamtsystems von ca. 15 bis 20 Jahren ausgegangen werden kann. Dagegen gibt es eine Vielzahl von Einzelkomponenten, deren Lebensdauer wesentlich kürzer ist: angefangen von Bauteilen in Rechnern, die teilweise Lebenszyklen von 3 bis 5 Jahren ausweisen, bis hin zu den Wechselverkehrszeichen, die je nach Technologie unter optimalen Bedingungen bis zu 20 Jahre im Einsatz bleiben können und somit auch – in Einzelfällen – die Lebensdauer der Gesamt-VBA erreichen können.

Die Verkehrszeichenbrücken sind die einzige VBA-Komponente (außer dem Tiefbau und der Verkabelung), die in den meisten Fällen die Lebenszeit einer VBA überdauern. Unter Bezugnahme auf die Ergebnisse der Befragung der Straßenbauverwaltungen der Länder hinsichtlich der bestehenden Anlagen und der Ergebnisse der Expertengespräche wird vorgeschlagen, von folgenden Erwartungsdauern für die Betriebsphase auszugehen:

- von 10 Jahren bei TSF
- von 12 Jahren bei NBA
- von 18 Jahren bei SBA und ZFR.

Diese gewählten Betriebsdauern begründen sich wie folgt:

- Beim Einsatz einer TSF handelt es sich um eine Übergangslösung, um einen Leistungsfähigkeitsengpass für die Zeitdauer zu überbrücken, bis entsprechende Mittel zu dem Ausbau der Straße zur Verfügung stehen. Aus diesem Grund besteht der Anspruch, dass eine TSF sich bereits innerhalb von zehn Jahren amortisieren sollte.
- Bei NBA steht die Lebensdauer der Wechselwegweiser bzw. dWiSta-Tafeln im Vordergrund; die Verkehrsdatenerhebung (bisher meistens Induktionsschleifen) muss in Zuge des Lebenszyklus der Gesamtanlage i. d. R. mehrfach erneuert werden. Hier erscheint die obere Grenze der Lebensdauer der dWiSta-Tafeln (die heute in NBA am häufigsten eingesetzt werden) als ausschlaggebend für die Betriebsdauer der Gesamtanlage.
- Bei SBA und ZFR stellt jede einzelne Komponente eher einen kleinen Baustein zu der Gesamtanlage dar; sofern dieser ausfällt, wird er ersetzt, solange dies aus Gründen der Ersatzteilbevorratung möglich ist. Hier erscheinen Betriebsdauern von 18 Jahren durchaus

realistisch, insbesondere wenn man die Betriebsdauern der ausgewerteten Anlagen betrachtet.

### 3.2 Ermittlung der Nutzenkomponenten

Es werden die folgenden Nutzenkomponenten zur Zielerreichung für alle VBA-Typen und deren Lebens- bzw. Betriebsphasen herangezogen:

- 1 Nutzen aus Reduktion der Unfallzahl und -schwere
- 2 Nutzen aus Reisezeitersparnis
- 3 Nutzen aus Ersparnis von Fahrzeugbetriebskosten (außer Kraftstoff)
- 4 Nutzen aus Kraftstoffersparnis
- 5 Nutzen aus Reduktion der Luftschadstoffemissionen
- 6 Nutzen aus Reduktion der Klimagasemissionen

Mit den Publikationen FGSV (2007), Busch et al. (2009) und Arnold (2001) liegen Verfahren zur Ermittlung der Nutzenkomponenten 1 und 2 bei allen Anlagentypen vor (bei NBA zusätzlich auch für die Nutzenkomponenten 3 und 4, bei TSF zusätzlich für die Nutzenkomponente 4). Da diese Verfahren den aktuellen Wissensstand wiedergeben, sind sie die Grundlage der weiteren Arbeiten. Für die Nutzenkomponenten 4 bis 6 wird für die Anlagentypen NBA und SBA das Verfahren nach HBEFA verwendet. Da ZFR nur sehr kleinräumig wirksam sind, wird davon ausgegangen, dass die Ersparnis von Kraftstoffkosten und die Reduktion von Luftschadstoff- und Klimagasemissionen vernachlässigbar sind.

Es werden ausschließlich die Nutzen in der Betriebsphase ermittelt. In den letzten Monaten der Betriebsphase "Bau" befindet sich das System im "Offenen Probetrieb". Hier kann bereits ein Nutzen auftreten, sofern die Anlage schnell gut funktioniert. Dieser Nutzen ist allerdings schwer quantifizierbar, da er von Anlage zu Anlage stark schwankt. Dies und die Tatsache, dass es sich beim "Offenen Probetrieb" um eine nur kurze Zeitdauer im Lebenszyklus der Anlage handelt, sind die Gründe, diesen Nutzen zu vernachlässigen. Von der Berücksichtigung eventueller negativer Nutzen in der Bau- und Rückbauphase durch die Bautätigkeiten wurde abgesehen, da die befragten Straßenbauverwaltungen der Länder versichert haben, dass die Baumaßnahmen i. d. R. nachts durchgeführt werden und es normalerweise zu keinen nennenswerten Störungen im Verkehrsablauf kommt.

Es kommt jedoch im Zuge der Betriebsphase vereinzelt zu Ausfällen der Anlage, was natürlich auch zu dem Ausfall des Nutzens führt. Bei Anlagen mit rechtsverbindlichen Anzeigen kann im Schnitt von etwa maximal 0,5 % in der Betriebszeit ausgegangen werden. In fortgeschrittenem Alter der Anlage werden sich die Ausfälle verstärken und gegen Ende der Betriebsphase häufen – insbesondere wenn der Wartungsvertrag ausgelaufen ist. Um diesen Effekt zu berechnen, wurde eine Funktion generiert, mit deren Hilfe ein dreistufiger Alterungsprozess der Anlage abgebildet werden kann und die die Nutzenminderung der Anlage realitätsnah nachbildet.

Die Berechnung der Nutzen erfolgt auf der Basis bereits in anderen Forschungsvorhaben und im Rahmen der Arbeitskrei-

se der FGSV entwickelten Methoden und Modelle. Im Rahmen des Forschungsvorhabens "Begleitforschung und Ergänzung des Merkblatts 'Ermittlung der Wirksamkeit von Verkehrsbeeinflussungsanlagen'" wurden von der Technischen Universität München (TUM) Excel-Tools entwickelt, mit deren Hilfe für einzelne Anlagentypen eine Wirkungsschätzung vorgenommen werden kann. Einige der Verfahren zur Wirksamkeitsberechnung setzen auf den Vorgaben des Merkblatts "Ermittlung der Wirksamkeit von Verkehrsbeeinflussungsanlagen" auf. Für die Wirksamkeitsberechnung von TSF wurde das 2002 von SSP Consult entwickelte AVP-Programm zugrunde gelegt, das auf dem Verfahren von Arnold aufsetzt.

### 3.3 Erstellung der Lifecycle-Tools

Im Rahmen der Erstellung der Lifecycle-Tools erfolgte die Einbindung der vorhandenen Tools zur Nutzenberechnung. Durch die Erstellung neuer Tools nach dem Verfahren des HBEFA zur Nutzenberechnung aufgrund von Kraftstoffersparnis und Reduktion von Luftschadstoff- und Klimagasemissionen wird die Nutzenberechnung komplettiert. Die Berechnung der Kosten im Laufe des Lebenszyklus und die Berechnung der Nutzen-Kosten-Verhältnisse erfolgt ebenso in den Lifecycle-Tools.

Alle vorhandenen Tools benötigen sehr spezifische Daten als Eingabe, mit deren Hilfe die Geometrie der Anlage und die Verkehrssituation in der Anlage beschrieben werden. Mit diesen Daten werden die jährlichen Nutzen der Anlage während des Betriebs errechnet. Die oben ermittelten normierten Kostensätze dienen als Datenbasis für diese Bewertungstools, mit deren Hilfe eine Gesamtbewertung für eine der vier Anlagentypen (NBA, SBA, TSF und ZFR) über die einzelnen Lebensphasen erstellt werden kann.

Die neu entwickelten Lifecycle-Tools wurden an drei Musteranlagen getestet. Dabei wurden die herkömmliche Art der Nutzen-Kosten-Analyse (NKA) angewandt sowie die Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus. Es zeigte sich, dass die Nutzen-Kosten-Verhältnisse (NKV) bei allen Anlagentypen bei der Betrachtung des Lebenszyklus ein höheres NKV aufweisen als beim bisherigen Ansatz gemäß Muster-RE-Entwurf.

Bei der Lebenszyklusbetrachtung werden die Investitionskosten über einen größeren Abschreibungszeitraum verteilt; somit sinken die jährlichen Kostenanteile. Außerdem liegen die jährlichen laufenden Betriebskosten bei allen Anlagentypen unter dem pauschalisierten Prozentsatz gemäß Muster-RE-Entwurf. Die restlichen Aufwendungen (wie Kosten für Planung, Bauüberwachung und Rückbau), die in der NKA gemäß Muster-RE-Entwurf nicht berücksichtigt werden, sind fast vernachlässigbar. Außerdem stehen all diesen Kosten deutlich höhere Nutzen gegenüber, da fast in allen Fällen mit längeren Betriebsdauern gerechnet werden kann und – bei NBA und SBA – noch ein zusätzlicher Nutzen aus der Schadstoffreduzierung hinzukommt.

Die Nutzenreduktion aufgrund von Ausfällen der Anlage schlägt grundsätzlich nicht stark ins Gewicht, wenn die Anlage nicht über die empfohlene Betriebsdauer hinaus betrieben wird.

Mit den neuen Lifecycle-Tools für VBA steht dem Anwender ein Instrumentarium zur Verfügung, mit dessen Hilfe er bei Vorliegen der erforderlichen Daten innerhalb weniger Minuten eine

Nutzen-Kosten-Abschätzung für den entsprechenden Anlagentyp vornehmen kann.

#### 4 Folgerungen für die Praxis

In der Vergangenheit wurden die Betriebsdauern grundsätzlich mit zehn Jahren angesetzt. Es zeigte sich, dass mit deutlich höheren Betriebsdauern der Anlagen gerechnet werden kann. Es wird empfohlen, in Zukunft bei NBA mit zwölf Jahren Betriebsdauer, bei SBA und bei ZFR durchaus mit 18 Jahren Betriebsdauer zu rechnen. Dadurch ergeben sich vor allem bei SBA und ZFR bessere Nutzen-Kosten-Verhältnisse.

Die Betriebskosten wurden in der Vergangenheit mangels detaillierterer Information gemäß RE-Entwurf mit 10 % der Investitionskosten ohne Tiefbaukosten grob abgeschätzt. Es zeigte sich, dass der bisher verwendete bei den NBA deutlich zu hoch liegt (ca. 3,3-facher Wert), während bei den SBA die Schätzung mit nur 20 % Abweichung in Anbetracht der nicht allzu großen Stichprobe mit den erhobenen Betriebskosten relativ gut übereinstimmt.

Die handliche Formel, die jährlichen Betriebskosten als 10 % der Investitionskosten ohne Tiefbau anzusetzen, kann für SBA und TSF beibehalten werden, für NBA und ZFR ist dieser Wert zu hoch. Hier läge man mit der Hälfte, also 5 %, deutlich näher an den realistischen Kosten und immer noch auf der sicheren Seite.

Bei den Planungs- und Bauüberwachungskosten von TSF, bei den Energiekosten für NBA, TSF und ZFR sowie bei der Instandhaltungskostenentwicklung der TSF und ZFR gibt es Unplausibilitäten; es wird empfohlen, diese Kostenarten noch einmal vertieft zu untersuchen. Dies gilt ebenso für die Lebenszyklen von Anlagen, die noch keinen ganzen Lebenszyklus vollendet haben, wie z. B. die TSF.

Grundsätzlich bietet es sich an, die Lifecycle-Tools für zukünftige Abschätzungen von Kosten und Nutzen von VBA einzusetzen. Es ergibt sich jedoch im Zusammenspiel der Lifecycle-Tools mit den Tools der TUM noch Optimierungsbedarf an den Tools der TUM, insbesondere unter dem Aspekt der Anwenderfreundlichkeit und der Vereinheitlichung von Verwendung von typisierten Ganglinien und Unfallkostensätzen.

Mit dem Verfahren wurde die grundsätzliche Machbarkeit der Lebenszyklusbetrachtung zur Ermittlung von Nutzen-Kosten-Verhältnissen bei VBA belegt. Für eine weitere Verwendung wurden Verbesserungsvorschläge der vorhandenen Bewertungsverfahren aufgezeigt. Mit den Lifecycle-Tools für VBA steht dem Anwender ein Instrumentarium zur Verfügung, mit dessen Hilfe er bei Vorliegen der erforderlichen Daten innerhalb weniger Minuten eine Nutzen-Kosten-Abschätzung für den entsprechenden Anlagentyp vornehmen kann.