



## **Konzeptpapier**

*Energieeffizienz rechnet sich*

# **Referenzmodell Lebenszykluskosten**

**Erarbeitung eines Referenzmodells zum Vergleich von energieeffizienten Investitionsprojekten mit nicht oder minder energieeffizienten Investitionsprojekten einschließlich eines korrespondierenden Berechnungstools**

# Inhaltsverzeichnis

<b>INHALTSVERZEICHNIS</b> .....	<b>I</b>
<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>II</b>
<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>1</b>
<b>1. AUFTRAG UND AUFTRAGSDURCHFÜHRUNG</b> .....	<b>2</b>
<b>2. PROBLEMSTELLUNG UND ERFORDERNISSE</b> .....	<b>3</b>
<b>3. ZIELSTELLUNG</b> .....	<b>6</b>
3.1. ANFORDERUNGSPROFIL.....	6
3.1.1. ALLGEMEINE ZIELSTELLUNG.....	6
3.1.2. SPEZIFISCHE ANFORDERUNGEN AN DAS REFERENZMODELL.....	7
3.2. AUSGANGSSITUATION .....	8
3.3. VORGEHENSWEISE .....	11
<b>4. DARLEGUNG DES KONZEPTEDES REFERENZMODELLS</b> .....	<b>13</b>
4.1. PRÄMISSEN DES REFERENZMODELLS .....	13
4.2. GRUNDSÄTZLICHER AUFBAU DES REFERENZMODELLS.....	14
<b>5. REFERENZBEISPIEL KLÄRANLAGE</b> .....	<b>20</b>
5.1. FUNKTION KLÄRANLAGE.....	20
5.1.1. GENERELLE FUNKTIONSWEISE .....	20
5.1.2. ANSATZPUNKTE ZUR STEIGERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ.....	21
5.2. KOSTENTREIBER KLÄRANLAGE .....	23
5.2.1. IDENTIFIKATION DER KOSTENTREIBER UND KOSTENVERTEILUNG .....	23
5.2.2. KOSTENKATEGORIEN DES REFERENZMODELLS FÜR DIE ANWENDUNG IM BEREICH ABWASSER.....	24
5.3. KENNZAHLEN ZUM VERGLEICH VON ANLAGEN .....	25
5.4. BESCHREIBUNG DER BEISPIELRECHUNG .....	26
5.4.1. BESCHREIBUNG DES VERWENDETEN EXCEL-BERECHNUNGSTOOLS .....	26
5.4.2. DARSTELLUNG DER BEISPIELRECHUNG.....	27
5.4.3. INTERPRETATION DES REFERENZMODELLS UND DER BEISPIELRECHUNG.....	31
<b>6. ÜBERTRAGBARKEIT – ANWENDUNGSBREITE ZUR ABBILDUNG VON ENERGIEEFFIZIENZ</b> .....	<b>32</b>
<b>7. FAZIT</b> .....	<b>33</b>

## Abkürzungsverzeichnis

AfA	Absetzung für Abnutzungen; Abschreibung
BHKW	Blockheizkraftwerk
dena	Deutsche Energie-Agentur GmbH
DATEV	DATEV eG; auch: Rechnungslegungssoftware
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EU	Europäische Union
EUR	Euro
EW.a	Einwohneräquivalent
KPI	Key Performance Indicator
kWh	Kilowattstunde
LED	light-emitting diode
Netzkm	Netzkilometer
NH <sub>4</sub>	Ammonium
t	Periode
TCO	Total Costs of Ownership
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.
ZVEI	Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V.

## Zusammenfassung

Energieeffizienz sowie die Reduktion von Treibhausgasemission ist ein zentrales gesellschaftliches Thema, dem es sich aus technischer, wirtschaftlicher und ökologischer Perspektive zu stellen gilt.

Sowohl die Europäische Union (EU) als auch die Bundesregierung haben klare Zielwerte in Hinblick auf Energieverbrauch und Treibhausgasemission festgelegt sowie Technology Roadmaps und Maßnahmenpläne aufgestellt. Diese umzusetzen erfordert eine gemeinsame Anstrengung von Staat, Wirtschaft und Gesellschaft. Überdies sind Anreizmechanismen zu implementieren, welche die angestrebte Entwicklung unterstützen. Anreizmechanismen meinen hier nicht nur die staatliche Förderung von energieeffizienten Technologien und Verhalten sondern auch Instrumente, welche durch das Aufzeigen ökonomischer Vorteile von Energieeffizienz das Verhalten der relevanten Akteure beeinflussen.

Die Industrie kann zur Steigerung der Energieeffizienz

- durch das Angebot von energieeffizienten Komponenten und Automatisierungslösungen, die das Zusammenspiel komplexer Anlagen optimieren und damit vorhandenes Energieeinsparpotenzial heben, sowie
- durch die Nachfrage nach entsprechenden Lösungen beitragen.

Auf der Nachfrageseite ist die Aufmerksamkeit für das Thema Energieeffizienz durch die Erzeugung von Transparenz in Hinblick auf die spezifischen Energieverbräuche sowie die Darlegung der betriebswirtschaftlichen Vorteile von Energieeinsparungen zu generieren.

Die Betrachtung der Gegenwart zeigt, dass aktuell noch Hürden bestehen, innovative energieeffiziente Technologien großtechnisch umzusetzen. Grund hierfür sind u.a. die in ausgewählten Industrien langen Investitionszyklen, welche zu sehr konservativen Investitionsentscheidungen führen. Um die Vorteile der zur Verfügung stehenden Technologien vollumfänglich darstellen zu können, muss Energieeffizienz messbar und betriebswirtschaftlich bewertbar werden. Auch über die Garantie von Betriebskostensparnissen durch energieeffiziente Lösungen ist an geeigneten Stellen nachzudenken.

In der Folge ist es erforderlich bei anstehenden Investitionsentscheidungen nicht nur die anfänglichen Investitionskosten zu betrachten, sondern auch die zukünftigen Betriebskosten als auch Deinstallationskosten abzubilden. Über die Betrachtung der Lebenszykluskosten kann erfasst werden, welcher ökonomischer Vorteil in Zukunft generiert wird und dieser ins Beziehung zu den Investitionskosten gesetzt werden.

In diesem Zusammenhang übernimmt der Staat Vorbildfunktion in Hinblick auf die Förderung energieeffizienter Entscheidungen. Diese kann der Staat neben der direkten Forschungsförderung für Hochschulen, Forschungsinstitutionen und Unternehmen, die sich mit Technologien zur Energieeffizienzsteigerung befassen, durch die verbindliche Berücksichtigung von „Energie-Lebenszykluskosten“ bei Anfragen und Angeboten im öffentlichen Auftragswesen wahrnehmen.

Für die Anwendung im öffentlichen Auftragswesen bedarf es eines generischen Lebenszykluskostenmodells, das Investitions-, Betriebs- und Deinstallationsphase vereint. Auch ist es essentiell, dass ein entsprechendes Modell über eine hohe Anwendungsbreite verfügt und mit angemessenem Aufwand auf den Einzelfall übertragen werden kann. Ferner ist besondere Aufmerksamkeit der Abbildung des Aspektes Energieeffizienz zu widmen. Zum einen ist die Energieeffizienz im Kontext des Gesamtvorhabens abzubilden und zum anderen muss eine separate Betrachtung mittels von ausgewählten Kennzahlen sowie der spezifischen Energiekosten ermöglicht werden.

Gegenstand des vorliegenden Berichtes ist vor diesem Hintergrund die Dokumentation des gemeinsam mit der Arbeitsgruppe TCO des ZVEI entwickelten Konzeptes eines Referenzmodells zu Betrachtung von Lebenszykluskosten. Anhand eines ausgewählten Referenzbeispiels wird aufgezeigt,

- wie das Referenzmodell auf den Anwendungsfall „Kläranlage“ übertragen werden kann und
- welche konkreten Energieeinsparungspotentiale bei Kläranlagen im Grundsatz bestehen sowie
- welche Maßnahmen der Automatisierungstechnik im speziellen bestehen bzw. genutzt werden können.

Zusammenfassend wurde mit dem vorliegenden Referenzmodell ein wirksames Instrument entwickelt, welches helfen kann, über die Anwendung des Lebenszykluskostenansatzes den Energieeffizienzgedanken im öffentlichen Auftragswesen stärker zu implementieren. Auf der Grundlage des vorliegenden Entwurfes ist es das Ziel des ZVEI eine Diskussion mit den relevanten Akteuren anzustoßen, um das Referenzmodell gemeinsam weiterzuentwickeln und zu verankern.

# 1. Auftrag und Auftragsdurchführung

Der

ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.  
Lyoner Straße 9  
60528 Frankfurt

(im Folgenden: Auftraggeber)

vertreten durch Herrn Dr. Klaus Mittelbach (Vorsitzender der Geschäftsführung des ZVEI) hat uns am 21. Oktober 2010 mit der Erstellung eines Konzeptpapiers und dem Entwurf eines Referenzmodells zum Vergleich von energieeffizienten und minder energieeffizienten Anlagen beauftragt.

Für die Durchführung des Auftrags und unsere Verantwortlichkeit, auch gegenüber Dritten, wurde vereinbart, unsere Leistung unter den in den Allgemeinen Auftragsbedingungen für Wirtschaftsprüfer und Wirtschaftsprüfungsgesellschaften vom 1. Januar 2002 genannten Voraussetzungen zu erbringen.

Die Überlassung des Konzeptpapiers und des Referenzmodell an andere Personen als unsere Auftraggeber erfolgt nur unter der Voraussetzung des Einverständnisses des Empfängers, dass die erwähnten Allgemeinen Auftragsbedingungen und die für die Begrenzung unserer Verantwortlichkeit maßgebliche Haftungsvereinbarung im Verhältnis zum Empfänger Anwendung finden, soweit sich besondere Rechtsbeziehungen durch die Überlassung der Stellungnahme ergeben.

Soweit rechtlich zulässig, überträgt der Auftragnehmer die Eigentumsrechte für jedes urheberrechtlich geschützte oder einem sonstigen Schutzrecht schutzfähige Projektergebnis, das von ihm allein oder gemeinsam mit einer anderen Person im Zusammenhang mit seiner Tätigkeit für den Auftraggeber erstellt wurde zum Zeitpunkt seiner Entstehung. Weiterhin überträgt er das ausschließliche Nutzungs- und Verwertungsrecht an den spezifisch für den Auftraggeber erstellten Projektergebnissen an den Auftraggeber. In Hinblick auf die in die Projektergebnisse durch den Auftragnehmer eingebrachten Konzepte, Know-how, Methoden, Techniken, Prozesse und Fachwissen erhält der Auftraggeber ein nicht – ausschließliches Nutzungsrecht. Ein eingeschränktes, nicht-übertragbares und nicht-ausschließliches Nutzungsrecht an den finalen Projektergebnisse, gemäß Angebot des Auftragnehmers vom 28. September 2010 (im Folgenden genannt Projektergebnisse), kann auf Dritte übertragen werden, soweit sich der Auftraggeber die Projektergebnisse zu eigen macht und eine Nennung oder ein Verweis auf die Erstellung der Projektergebnisse durch den Auftragnehmer unterbleibt. Soll eine Nennung oder ein Verweis auf Deloitte als Urheber der Projektergebnisse gegenüber Dritten oder öffentlich erfolgen, so bedarf dies der vorherigen schriftlichen Zustimmung von Deloitte.

Deloitte hat das Referenzmodell in enger Abstimmung mit dem Auftraggeber auf Basis der Auftragsvereinbarung vom 28. September 2010 sowie Diskussionen und Präzisierungen im Projektverlauf entwickelt. Von Seiten des ZVEI war die Arbeitsgruppe "Total Cost of Ownership (TCO)" des Fachbereichs Messtechnik und Prozessautomatisierung mit der Umsetzung betraut. Das gerechnete Beispiel stützt sich auf die Annahmen des Referenzmodells. Die in der Beispielrechnung enthaltenen Daten stammen aus verschiedenen Quellen, aus denen ein realitätsnahes, jedoch fiktives Beispielszenario abgeleitet wurde. Grundlage für die Beispielanlage bilden im Internet freizugängliche Haushaltspläne und Kennzahlen für die Kläranlage in Katlenburg. Auf dieser Basis wurde das Beispielszenario definiert und fiktiv um Automatisierungslösungen aus den Häusern Siemens, Festo und Endress + Hauser ergänzt. Für weitere Details vgl. Sie bitte Abschnitt 5.4 des vorliegenden Berichts.

Das für die Beispielrechnung verwendete Excel-Tool ist nur von Anwendern mit ausreichender Kenntnis, sowohl der Lebenszykluskostenanalyse als auch von Microsoft® Excel und des Konzeptes des Referenzmodells zu verwenden.

Das Berechnungsmodell und die einzelnen Berechnungsabschnitte, aus denen das Berechnungsmodell zusammengesetzt ist, wurden nicht in Hinblick auf mögliche Interessen Dritter erstellt. Das Berechnungsmodell und Auszüge daraus sind grundsätzlich streng vertraulich zu behandeln. Eine Weiterleitung an Dritte bedarf unserer schriftlichen Zustimmung.

## 2. Problemstellung und Erfordernisse

### Leitgedanken

Das Thema Energieeffizienz steht im Zentrum einer Vielzahl bedeutender gesellschaftlicher, ökologischer, technologischer und wirtschaftlicher Überlegungen. Auch wenn das aus der Reduktion des Energieverbrauchs zu generierende Potenzial im Grundsatz unbestritten ist, bestehen in der Praxis Hürden, welche die Umsetzung bestehender Ansätze verlangsamen. Entsprechend sind neben effektiven Anreizmechanismen Instrumente erforderlich, die den Nutzen von Energieeffizienz transparent machen und somit in Investitionsentscheidungen einbezogen werden können. Vor dieser Herausforderung steht auch das öffentliche Auftragswesen, welches Instrumente benötigt, um den Rahmen, den das Vergaberecht an dieser Stelle steckt, ausschöpfen zu können.

### Kontext

Energieeffizienz sowie die Reduktion von Treibhausgasemissionen ist ein zentrales gesellschaftliches Thema, dem es sich aus technischer, wirtschaftlicher und ökologischer Perspektive zu stellen gilt. Der politische Handlungsrahmen wird dabei sowohl vom Bund als auch von der Europäischen Union gesteckt. So legt der Bund in seinem Energiekonzept klare Zielwerte für die Zukunft fest. Der Primärenergieverbrauch soll bis zum Jahr 2020 um 20% und bis 2050 um 50% im Vergleich zu 2008 sinken.<sup>1</sup> Auch die Europäische Union verfolgt in ihren Langzeit-Strategien die Steigerung der Energieeffizienz und die Reduktion der Treibhausgasemissionen. Einerseits werden die Ziele zunehmend mittels rechtsverbindlicher Regelungen implementiert (bspw. mittels der Energieeffizienzrichtlinie<sup>2</sup>) und andererseits konkrete Ziele und Maßnahmen formuliert, in denen die Strategien entsprechend Eingang finden. Laut „Aktionsplan für Energieeffizienz 2007 – 2012“ der EU soll bis 2020 eine Einsparung des Energieverbrauchs von 20% erreicht worden sein. Zur Zielerreichung sieht der Aktionsplan explizit den Einsatz von energieeffizienten Techniken vor.<sup>3</sup>

Der Industrie mangelt es nicht an Innovationspotenzial für energieeffiziente Komponenten und Anlagen. Über die Betrachtung von Einzelkomponenten hinaus bietet die Automatisierung zusätzliches Potenzial zur Ausschöpfung von Energieeinsparpotenzialen. Durch die Steuerung eines effizienten Zusammenspiels einzelner Komponenten können signifikante Energieeinsparungen, welche in die Reduktion von Betriebskosten und Treibhausgasemission münden, generiert werden. Laut Berechnungen des ZVEI könnte die Automatisierungstechnik allein in den deutschen Prozess- und Fertigungsindustrien ein weiteres Energieeinsparpotenzial von 10 bis 25 % generieren.<sup>4</sup>

Hieraus folgt, dass die Eigenschaft der Energieeffizienz zunehmend ein entscheidender Wettbewerbsvorteil ist. Auch kann der Mehrwert in Form von zukünftigen Betriebskostensparnissen eingepreist werden. Entsprechend spiegelt sich die Innovationshöhe einer Technologie regelmäßig in den Investitionskosten wider. Folglich würde ein Vergleich von anfallenden Investitionskosten zum Zeitpunkt der Investitionsentscheidung zu kurz springen, da in der Zukunft erwartete Betriebskosteneinsparungen nicht einkalkuliert werden. Im Ergebnis würde eine u.U. unwirtschaftliche Entscheidung stehen.

Das hier verwendete Konzept von Energieeffizienz umfasst auf der Nachfrageseite die eingesparte, d.h. nicht verbrauchte Energie, und auf der Angebotsseite, die nicht erzeugte – weil nicht benötigte – Einheit Energie. Im Rahmen des vorliegenden Berichts wird fast ausschließlich die elektrische Energie betrachtet. Das dargestellte Konzept kann aber auch auf andere Energieformen übertragen werden.

Innerhalb des Lebenszykluskostenmodells spiegelt sich die eingesparte elektrische Energie in der Betriebskostensparnis wider. Auf diese Weise wird Energieeffizienz betriebswirtschaftlich bewertet und in die Investitionsentscheidung einbezogen.

Gerade in Anbetracht der in der Langfristperspektive erwarteten steigenden Energiepreise können energieeffiziente Anlagen aufgrund der erwarteten Betriebskostensparnis die kostengünstigere Investition darstellen (Betrachtung der Lebenszykluskosten), auch wenn die erforderlichen Investitionskosten die eines minder effizienteren Vergleichsvorhabens übersteigen. Eine Anlage, die heute schon

<sup>1</sup>Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.) Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung (28.09.2010), S. 5

<sup>2</sup>Richtlinie 2006/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006 über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen und zur Aufhebung der Richtlinie 93/76/EWG des Rates

<sup>3</sup>Aktionsplan für Energieeffizienz (2007-2012). Aufgerufen am 19.01.2011 von [http://europa.eu/legislation\\_summaries/energy/energy\\_efficiency/l27064\\_de.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/energy/energy_efficiency/l27064_de.htm)

<sup>4</sup>ZVEI (Hrsg.) Mit Hightech für Umwelt- und Klimaschutz – Automation: Wir machen's energieeffizient, S. 4

energieeffizient und somit kostenschonend in Betrieb ist, wird ihr Einsparpotenzial proportional zum Anstieg der Energiepreise, in der Zukunft weiter ausbauen können.

### **Problemstellung**

In diesem Kontext werden Lebenszykluskostenmodelle, welche die Kosten über die Installations-, Betriebs- und Deinstallationsphase abbilden, in ausgewählten Industrien und Anwendungsbereichen in die Entscheidungsprozesse einbezogen. Der öffentliche Bereich sollte hierbei eine Vorbildfunktion einnehmen. Auch im öffentlichen Sektor besteht der Anspruch, stets die wirtschaftlichere Investitionsentscheidung zu treffen. Den hierfür erforderlichen Handlungsrahmen eröffnet das Vergaberecht. Es bedarf jedoch praktikabler Instrumente, die den Eingang von Kriterien wie Energieeffizienz, Umweltschutzwirkung und Betriebskosten transparent in die Herleitung des günstigsten Angebots einbinden.

Entsprechend der Einschätzung des ZVEI besteht ggw. in der Praxis großes Potenzial für die noch stärkere Berücksichtigung vorgenannter Kriterien in der Vergabeentscheidung. Es ist sicherzustellen, dass die Vergabeentscheidung transparent und reversionssicher hergeleitet wird. Das Kriterium Energieeffizienz stellt die Vergabestelle jedoch vor besondere Herausforderungen, da es eine Vielzahl von Berechnungsmöglichkeiten gibt. Auch das Heranziehen von Umweltzertifikaten kann das bestehende Problem nur unzureichend lösen, da – im Vergaberecht vorgeschrieben – stets auch das Beibringen von vergleichbaren Zertifikaten zugelassen werden muss und insofern wiederum die Wertungsmöglichkeit reduziert wird. Es resultiert eine aus gesamtwirtschaftlicher Sicht verbesserungsfähige Betrachtung der Kriterien Energieeffizienz und Umweltschutzwirkung bei der Vergabeentscheidung.

Der ZVEI sieht die Begründung dafür in dem Fehlen eines anerkannten Instruments bzw. eines Standard- oder Referenzmodells, das einheitliche Vorgaben für die Berechnung von Energieeffizienz unterbreitet und hat demzufolge die Erarbeitung des vorliegenden Konzeptes initiiert. Ein solches Instrument muss insbesondere dem Anforderungsprofil der Vergabestellen genügen. Hier spielt vor allem die Praktikabilität des Instruments eine entscheidende Rolle. Dies beinhaltet, dass das Instrument transparent und handhabbar ist und die für die Berechnung notwendigen Daten mit verhältnismäßig geringem Aufwand zu erlangen sind.

Der Begriff Daten umfasst zum einen betriebswirtschaftliche Kosten sowie technische Informationen zu den gewählten Kennzahlen wie bspw. dem Energieverbrauch aber auch Informationen zur Kostenentwicklung ex post und ex ante.

Im Ergebnis dient das Modell als Erkenntnismaßstab für den Zusammenhang zwischen Investitionsentscheidung und Kosten über dem gesamten Lebenszyklus. Aufgrund der zu treffenden Annahmen und den zur Verfügung stehenden Daten für die Ermittlung der Lebenszykluskosten, kann es nicht das Ziel sein, mittels eines entsprechenden Modells einen Kennwert zu ermitteln, der die „tatsächlichen Kosten“ beziffert. Vielmehr kann ein solches Standard- oder Referenzmodell ein monetär bewertetes Vergabekriterium herleiten, welches zusammen mit weiteren Kriterien als Bestandteil der Vergabematrix die Vergabeentscheidung begründet. Entsprechend ist das Standard- oder Referenzmodell durch Interpretationshilfen sowie die Ermittlung von Kennzahlen zu komplettieren.

Überdies kann ein solches Modell neben seiner Funktion als Entscheidungshilfe für energieeffiziente Planungsentscheidungen sensibilisieren. In dem Zusammenhang muss erwähnt werden, dass auch der Betrieb der späteren Anlage Teil der Planungsphase ist und stärker in Betracht gezogen werden sollte. Wird das Beispiel einer Kläranlage betrachtet, so zeigt sich, dass Grundsatzentscheidungen zum Aufbau und Struktur und damit auch bereits für den Betrieb einer Kläranlage schon in der Planungsphase getroffen werden. In dieser Phase besteht das höchste Potenzial für Energieeinsparung. Insofern ist es von Bedeutung, dass bereits zu diesem Zeitpunkt das Thema Energieeffizienz in das Kalkül aufgenommen wird.

Des Weiteren ist das Referenzmodell zwingend anwendungsunabhängig zu gestalten, da eine Adaption und damit Anwendung in verschiedenen Industrien und Anwendungsfällen grundsätzlich möglich sein muss. Auch sind bestehende Ansätze einzubeziehen bzw. deren Übertragbarkeit sicherzustellen. Diese Offenheit des Modells ist die Grundvoraussetzung für seine Durchsetzung als veritabler Standard.

### **Zu adressierende Herausforderungen**

Die Aussagekraft eines jeden Modells kann nur so gut sein, wie die verwendete Datenbasis<sup>5</sup>. Entsprechend ist zunächst für einen jeden Anwendungsfall zu ermitteln, welche Daten für die Ermittlung der

---

<sup>5</sup> Der Begriff Daten umfasst zum einen betriebswirtschaftliche Kosten sowie technische Informationen zu den gewählten Kennzahlen wie bspw. dem Energieverbrauch aber auch Informationen zur Kostenentwicklung ex post und ex ante.

Lebenszykluskosten und insbesondere in welcher Güte diese vorliegen. In diesem Zusammenhang muss sichergestellt sein, dass die erforderlichen Daten (mit verhältnismäßigem Aufwand) ermittelbar und nachvollziehbar sind.

So hat sich im Rahmen des untersuchten Beispiels „Kläranlage“ gezeigt, dass u.a. Energiekosten und Instandhaltungskosten mit höchst unterschiedlichen Genauigkeitsgraden erfasst werden. Beispielsweise ist es nicht in jedem Fall möglich, die Instandhaltungskosten separat zu erfassen. Auch fehlt oftmals die Datenbasis, um zuverlässige Aussagen über die zukünftige Entwicklung von Kostenpositionen zu machen (bspw. Instandhaltungskosten).

Ebenfalls hat sich gezeigt, und dies dürfte nicht spezifisch für das Beispiel „Kläranlage“ sein, dass die Energiekosten für einzelne Prozessschritte und Komponenten nur selten erfasst werden und vielmehr „lediglich“ der Gesamtenergieverbrauch gemessen wird. Grund hierfür ist der noch geringe Grad an Einsatz von Energiemanagementsystemen.<sup>6</sup>

An dieser Stelle sind logische Annahmen zu treffen und durch die Vergabestelle vorzugeben. Da die Anbieter mit identischen Annahmen arbeiten müssen, kann das Fehlen verlässlicher Prognosen wie bspw. der Entwicklung der Instandhaltungskosten als auch des Energiepreises in diesem Kontext vernachlässigt werden, da sie den Auswahlprozess nicht verfälschen.

Wohl aber muss bei der Interpretation der Ergebnisse des Modells immer die Qualität der verwendeten Datenbasis einbezogen werden.

Für die Erarbeitung des Modells an sich, leitet sich der Anspruch ab, dass von einer realistisch verfügbaren Datenlage ausgegangen werden muss. Ferner wurde durch die verantwortliche Arbeitsgruppe innerhalb des ZVEI die Entscheidung getroffen, dass das Modell die begrenzte Datenverfügbarkeit antizipieren muss und insofern der Praktikabilität gegenüber der Aussagekraft Vorrang einzuräumen ist.

An die Diskussion der zur Verfügung stehenden Datenqualität schließt sich die Frage an, welche Daten bzw. Kosten in das Modell einzubeziehen sind. Bei der Betrachtung des Themas Energieeffizienz drängen sich die Fragen der Einbeziehung von gesamtwirtschaftlichen Kosten und die Internalisierung externer Effekte auf. Denkbar wäre bspw. CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten geknüpft an den Energieverbrauch einer Investitionsalternative einzubeziehen. Entsprechend würde die energieeffiziente Investition über die Betriebskostensparnis hinaus profitieren, da durch die Alternativenanlage CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten zu entrichten wären. Um das Referenzmodell in einem ersten Schritt so einfach wie möglich zu halten, wurde hiervon zunächst Abstand genommen. Dieser Ansatz sollte jedoch Gegenstand der folgenden breiten Diskussion des Modells sein.

Abschließend wird darauf hingewiesen, dass Grundvoraussetzung und damit Modellannahme ist, dass die Funktionalität (bspw. Einhaltung von Abwasserwerten) des Investitionsobjektes zu jedem Zeitpunkt gewährleistet wird und hier kein „Trade-off“ zwischen Energieeffizienz und Funktion bestehen darf.

---

<sup>6</sup> Def. Energiemanagementsystemen

## 3. Zielstellung

### Leitgedanken

Der ZVEI hat sich zum Ziel gesetzt, ein Angebot in Form eines Referenzmodells zu unterbreiten, welches die Einbeziehung von Energieeffizienzkriterien im Rahmen von Vergabeprozessen ermöglicht. Kern der Betrachtung ist zunächst die Automatisierungstechnik, da hier durch technologische Innovationen – welche durch korrespondierende Investitionskosten zu vergüten sind – Betriebskostensparnisse generiert werden können. Insofern ist es für die vom ZVEI vertretenen Unternehmen essentiell, dass dieser Mehrwert im Vergabeprozess berücksichtigt wird. Das vorliegende Modell ist jedoch nicht begrenzt auf die Automatisierungstechnik, sondern übertragbar auf weitere Industrien und kompatibel mit bestehenden Ansätzen.

### 3.1. Anforderungsprofil

#### 3.1.1. Allgemeine Zielstellung

Vor dem Hintergrund der beschriebenen Problemstellung galt es ein Konzept eines Lebenszyklusmodells zu erarbeiten, welches in einem ersten Schritt auf die Automatisierungstechnik angewendet werden kann.

Es wird seitens des ZVEI angestrebt, mittels des vorliegenden Konzeptes eines Referenzmodells, eine Diskussion zur festen Verankerung des Lebenszykluskostengedankens, welcher neben den Anschaffungskosten auch die Betriebskosten und somit insbesondere die Energieeffizienz einer Investitionsalternative berücksichtigt, im öffentlichen Auftragswesen anzustoßen. Es wird beabsichtigt, die Vergabestelle anzuregen, verfügbare Technologien zu betrachten bzw. Alternativen sowie betriebswirtschaftliche Benefits energieeffizienter Technologien ins Kalkül einzubeziehen. Durch den Einbezug der Betriebskosten in die Investitionsentscheidung wird der Marktdurchdringung energieeffizienter Lösungen Vorschub geleistet. Aufgrund der reinen Kostenbetrachtung wird keine Technologieevaluierung vorgenommen. Das Modell ist somit objektiv.

Obwohl das Vergaberecht Lebenszykluskostenmethoden zur Kalkulation bereits seit Jahren zulassen und der Ansatz bekannt ist, könnten diese noch wesentlich stärker eingesetzt werden. Daher ist ein möglichst breit akzeptiertes Referenzmodell mit klaren Anweisungen und Argumentationsbaukasten notwendig, um die zuständigen Beschaffungsstellen von dessen Nutzen zu überzeugen. Klares Ziel ist somit auch, das Referenzmodell im Austausch mit den entsprechenden Verbänden, Ministerien/Staatlichen Organisationen, Städten/Gemeinden und weiteren Anwendern und Interessenten zu diskutieren und weiterzuentwickeln.

Aus diesem Grund wird zunächst ein Referenzmodell zum Vergleich von energieeffizienten Investitionsprojekten mit nicht oder minder energieeffizienten Investitionsprojekten erarbeitet. Dabei bezieht sich der Begriff der Investition zunächst auf Prozesstechnik und Messtechnik im engeren Sinne. Hintergrund ist die Überlegung, dass mittels Prozesstechnik, Automatisierung und geeigneter Messtechnik, energieeffiziente Gesamtlösungen geschaffen werden können, deren volks- und betriebswirtschaftliche Einsparpotenziale über die Summe der einzelnen Teilkomponenten der Gesamtlösung hinausgeht.

Der vorliegende Angang betrachtet die spezielle Anwendung des Referenzmodells im Vergabekontext. Weitere Anwendungsfelder darüber hinaus sind das Steuerrecht (bspw. Energie- und Stromsteuer) und das Beihilferecht sowie weitere Regelungsbereiche, die an das Kriterium Energieeffizienz anknüpfen. Insbesondere im Hinblick auf die Energie- und Stromsteuer sei angemerkt, dass sich Energieeffizienz nicht nur durch die Reduktion der Betriebskosten (Energiekosten) sondern auch die unmittelbare Reduktion der Position „Steuern und Abgaben“ „rechnet“.

Entsprechend gilt es, eine einheitliche Kalkulationsmethode herzuleiten und zu bewerten sowie zudem offene Punkte zu adressieren und Entscheidungsfaktoren transparent darzulegen. Das Referenzmodell soll auf einer Kalkulationsmethode basieren, die den Vergleich alternativer Lösungen anhand von Kosten über den Gesamtlebenszyklus ermöglicht. Die Kalkulationsmethode sowie die dafür erforderlichen Parameter und Werte sind derart zu wählen, dass einerseits den verschiedenen Interessen, die an ein derartiges Referenzmodell geknüpft werden, wie z.B. die Anreizwirkung für Investitionen in energieeffiziente Gesamtlösungen, aber auch der Praktikabilität soweit wie möglich Rechnung getragen wird. Andererseits ist eine größtmögliche Transparenz der Kalkulationsmethode sicherzustellen, um somit nachvollziehbare und sachgerechte Alternativenvergleiche zu ermöglichen.

Der Betrachtungsfokus liegt dabei zunächst auf ausgewählten, bedeutenden Anwendungsindustrien bzw. -feldern der Prozesssteuerung, der Prozessautomatisierung und der Messtechnik wie die chemische und die pharmazeutische Industrie, der Wasser- und Abwassersektor und die Verfahrenstechnik als solche. Allerdings wird von Beginn an die Übertragbarkeit des Modells – soweit wie möglich – angestrebt.

Als Referenzbeispiel für die spezifische Ausgestaltung des Konzeptes soll der Bereich Wasser/Abwasser herangezogen werden. Aus diesem Grund ist das in einem ersten Arbeitsschritt im Grundsatz entwickelte Modell für den Gebrauch bei Kläranlagen zu spezifizieren. Dabei sind verschiedene potentielle Nutzer und Stakeholder zu adressieren. Für die Anwendung im Rahmen des gewählten Anwendungsfalls Öffentliche Wasser/Abwasseranlagen sind dies:

- Als direkter Nutzer das Bau- bzw. Wasseramt, welches im Auftrag der Stadt, Gemeinde oder Kommune den Vergabeprozess für die Kläranlage durchführt
  - Als indirekter Nutzer jegliche Art von späteren Betreibern der Anlage (wie Stadt, Gemeinde oder Kommune oder weitere Varianten der öffentlichen, privatwirtschaftlichen oder kombinierten Organisation). Hierbei ist möglichst darauf hinzuwirken, Energieeffizienz als Auswahlkriterium im Vergabeprozess zu implementieren, um grundsätzliche energieeffiziente Investitionsentscheidungen zu treffen
  - Als indirekter Nutzer das Planungsbüro, welches die Anlage plant. Dabei ist darauf zu achten, dass das Modell in den grundsätzlichen Planungsprozess einbezogen wird (auf Wunsch des Betreibers); Ziel dabei ist, dass die Grundstruktur der Kläranlage, welche maßgeblich die Energieeffizienz beeinflusst, bereits energieeffizient angelegt wird.
- Zudem tritt das Planungsbüro auch als privatwirtschaftlicher Vertreter auf – einer weiteren potentiellen Nutzergruppe des Referenzmodells, welche zu einem späteren Zeitpunkt adressiert werden könnte. Hierzu wäre jedoch wahrscheinlich eine weitere Detaillierung des Referenzmodells vorzunehmen, welches in Kapitel 4 dargestellt ist.

### **3.1.2. Spezifische Anforderungen an das Referenzmodell**

Spezifische Anforderungen an das Referenzmodell werden zunächst in Hinsicht auf die zu berechnenden Technologien und Prozesse sowie die Kostenbetrachtung gestellt. So soll vom klassischen Ansatz der Lebenszykluskosten, welcher die Phasen Installation, Betrieb und Deinstallation umfasst, ausgegangen werden. Der Schwerpunkt der Betrachtung muss dabei auf den Betriebsmitteln oder Komponenten liegen, die Energieeffizienz ermöglichen. Da insbesondere Betriebskosteneinsparungen durch Energieeffizienz herausgestellt werden sollen, sind Kennzahlen zu ermitteln und zu prüfen, wie diese finanziell bewertet werden können. Allerdings müssen Kosteneinsparungen im Zuge von Energieeffizienzmaßnahmen stets im Gesamtkontext betrachtet werden. So ist es möglich, dass energieeffizientere Komponenten bspw. einen höheren Betreuungsaufwand durch das Fachpersonal bzw. höhere Qualifikationen erfordern, weshalb neben sinkenden Energiekosten ggf. steigende Personalkosten mit einzubeziehen sind. Aus diesem Grund bietet sich ein Ansatz an, welcher die gesamten Kosten der Anlage in Relation zu einer Vergleichsanlage stellt. Dies unterstützt die Wahl eines Lebenszykluskostenmodells. Die Anforderung an das Referenzmodell in diesem Zusammenhang ist die Energieeffizienz als wesentliche Entscheidungshilfe herauszustellen. Der durch die Energieeffizienz generierte Benefit ist transparent zu machen.

Abgeleitet aus der allgemeinen Zielstellung unter Kapitel 3.1.1 lassen sich für das Konzept eines Lebenszykluskostenmodells mehrere Anforderungen formulieren, welche in der nachstehenden Abbildung dargestellt sind. Dabei müssen diese stets parallel eingehalten werden, bzw. - wo erforderlich - in Teilen gegeneinander abgewogen werden.

So ist stets die Anreizverträglichkeit des Modells zu gewährleisten, wonach energieeffiziente Anlagen nicht benachteiligt werden. Allerdings muss in dem Zusammenhang auch sichergestellt werden, dass das Referenzmodell bei der Darstellung der Lebenszykluskosten objektive Ergebnisse liefert. In dem Zusammenhang ist für die Akzeptanz bei den Vergabestellen die Transparenz des Konzeptes ein wichtiger Faktor. Die öffentlichen Auftraggeber müssen das Referenzmodell sowohl analysieren als auch nachvollziehen können. Ist dies nicht gegeben, kann nicht von einer Implementierung des Ansatzes ausgegangen werden. Wichtig hierfür ist auch die Wirtschaftlichkeit des Referenzmodells. So ist stets das Kosten-Nutzen-Verhältnis der Informationsverarbeitung in Betracht zu ziehen. Zu umfangreiche Datenerlangung und -verarbeitung erschwert ebenfalls die Implementierung des Konzeptes eines Lebenszykluskostenmodells.

Abbildung 1: Zu beachtende Anforderungen an die Erstellung des Modells



Neben den zu bedienenden Anforderungsdimensionen ist ein Lebenszykluskostenmodell - wie bereits angesprochen - daraufhin auszurichten, dass verschiedene Datenqualitäten verarbeitet werden können. In diesem Zusammenhang muss

- zwischen ermittelbaren und wünschenswerten Datengruppen abgewogen werden,
- die Skalierbarkeit des Konzeptes beachtet werden,
- beim Vergleich von verschiedenen Investitionsalternativen die Vergleichbarkeit der Datenqualität sichergestellt werden sowie überlegt werden,
- welche Informationen für verschiedene Datenlevel als Interpretationshilfe herangezogen werden können.

Da die Daten für die Kostenrechnung zum großen Teil von den Anbietern eingegeben werden, muss von der beurteilenden Stelle berücksichtigt werden, dass die Daten unterschiedlicher Anbieter im Vergabeprozess von verschiedener Qualität und einem unterschiedlichem Detaillierungsgrad sein können. Liegen an dieser Stelle qualitativ niedrigwertige Daten vor, so muss ein weiteres Entscheidungskriterium herangezogen werden, welches den Vergleich der Angebote unterstützt. Aus diesem Grund müssen zunächst realistische Annahmen über die spätere Datenqualität getroffen werden, um das Modell daraufhin auszurichten. In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass außerhalb des Modells stehende Grundannahmen wie bspw. der Energiepreis oder die Diskontierungssätze als identisch vorausgesetzt werden müssen.

Da bereits mehrere alternative Lebenszykluskostenmodelle oder vergleichbare Konzepte verfügbar sind (siehe Kapitel 3.2), wird als weitere Anforderung an das Referenzmodell gestellt, bestehende Ansätze zu integrieren.

Aufgrund der verschiedenen Stakeholder soll das Konzept eines Lebenszyklusmodells unterschiedliche Teilbereiche für verschiedene Adressaten beinhalten. Aus diesem Grund wird das Referenzmodell modular aufgebaut, so dass eine weitere Detaillierung oder eine Übertragbarkeit auf andere Anwendungsfelder stets möglich ist. Darüber hinaus sollen den verschiedenen Nutzern unterschiedliche Eingabemöglichkeiten gewährt werden. So ist der Teilbereich durch die ausschreibende Stelle zu befüllen (bspw. Diskontierungssätze, Energiepreise, etc.). Die Kostendaten hingegen sind durch den Anbieter einzutragen. Darüber hinaus ist ein Teilbereich des Modells stets unveränderlich.

### 3.2. Ausgangssituation

Es existiert bereits eine Vielzahl von industrie-, anwendungs- oder unternehmensspezifischen Modellen zur Berechnung der Lebenszykluskosten. Ein allgemeingültiger Ansatz, welcher im Vergabeprozess implementiert werden kann, existiert bis dato nicht. Bevor das Konzept des erarbeiteten Referenzmodells erörtert wird, soll an dieser Stelle eine kurze Analyse einer Auswahl bestehenden Ansätze und Vorarbeiten vorgenommen werden.

Betrachtet werden

- das Modell der DWA zur Kosten-Leistungsrechnung bei Abwasseranlagen,
- das von der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena) entwickelte Modell zur Berechnung von Lebenszykluskosten von Druckluftsystemen<sup>7</sup> und
- das Prognosemodell für die Lebenszykluskosten von Maschinen und Anlagen des VDMA<sup>8</sup>.

Alle Darstellungen enthalten die Motivation für die Entwicklung eines Modells, eine kurze Charakterisierung des Ansatzes, Angaben zum Umgang mit Daten sowie wesentliche Annahmen.

### Modell der DWA – Kosten-Leistungsrechnung bei Abwasseranlagen

Abgeleitet aus der eigenen Studie „Identifizierte Kostentreiber bei Kläranlagen“ hat auch die DWA ein Modell einer betrieblichen Kostenrechnung erstellt, welches explizit auf den Betrieb von Abwasserreinigungsanlagen unter Anwendung von Kennzahlen eingeht. Wie aus der nachfolgenden Abbildung hervorgeht, wird dabei nach Investitions- und Kapitalkosten sowie Betriebskosten unterschieden. Eine weitere Unterscheidung findet nach verschiedenen Kostenstellen statt, welche verschiedene Kostenarten beinhalten können. Darüber hinaus können die Kosten auf Kostenträger zusammengefasst werden, soweit hierfür pro Kostenträger valide Daten vorliegen.

Abbildung 2: Kosten-Leistungsrechnung bei Abwasserreinigungsanlagen



Quelle: DWA-M 803 – Kostenstrukturen in der Abwassertechnik; S.12

### Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) – Lebenszykluskosten von Druckluftsystemen

Die Erzeugung von Druckluft ist durch die Menge an notwendiger Energie ein kostenintensiver Prozess. Bei Druckluftsystemen ist das Einsparpotenzial durch den Einsatz energieeffizienter Technologien daher besonders hoch.<sup>9</sup>

Im Modell für die Ermittlung von Lebenszykluskosten von Druckluftsystemen der dena werden als Lebenszykluskosten „alle direkt oder indirekt durch eine Investitionsentscheidung beeinflussten Kosten über die gesamte Lebensdauer der Anlage“ verstanden.<sup>10</sup> Im Gegensatz zum Modell des VDMA wird bei der Berechnung der Lebenszykluskosten ein Diskontierungsfaktor, das heißt ein fiktiver Zins-

<sup>7</sup> Infoblätter Druckluftsysteme: Lebenszykluskosten von Druckluftsystemen, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), S. 2

<sup>8</sup> VDMA 34160 : 2006-06

<sup>9</sup> Infoblätter Druckluftsysteme: Lebenszykluskosten von Druckluftsystemen, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), S. 2

satz, bei der Berechnung mit einbezogen. Der Diskontierungsfaktor wird unter Beachtung der Höhe des Zinssatzes und dem Zeitpunkt der Zahlung bei der Berechnung auf alle aufsummierten Kosten angewendet. Im Modell der dena sind die zu summierenden Posten nicht unterteilt nach zeitlichen Kostenphasen (wie im Modell des VDMA), sondern nach thematischen Kostengruppen, welche indirekt die klassischen Phasen eines Lebenszykluskostenmodells abbilden.

In dem Lebenszykluskostenkonzept der dena werden zehn Kostengruppen vorgeschlagen. Eine weitere Detaillierung findet in dem vorliegenden Infoblatt nicht statt. Angemerkt werden muss hierbei, dass es sich bei den vorgeschlagenen Punkten um Kostengruppen handelt, welche sich für die Analyse von Druckluftsystemen eignen. Es kann allerdings davon ausgegangen werden, dass auf dieser Detaillierungsstufe eine Übertragung weitere Anwendungsfelder ohne weitgehende Änderungen vorgenommen werden kann. Die vorgeschlagenen Kostengruppen sind:

- Anschaffungs- und Investitionskosten
- Installationskosten
- Energiekosten
- Instandhaltungskosten
- Bedienkosten
- Produktivitätskosten
- Qualitätskosten
- Produktionsausfall- bzw. Stillstandkosten
- Umweltkosten
- Außerbetriebnahmekosten

Im Modell der dena werden keine Angaben über die Art und Weise der Ermittlung der verwendeten Kostendaten gemacht.

### **VDMA - Prognosemodell für die Lebenszykluskosten von Maschinen und Anlagen**

Die Mitglieder des VDMA sahen sich in Verkaufsgesprächen immer öfter mit Fragen zu den Lebenszykluskosten konfrontiert, woraufhin der VDMA ein Berechnungsmodell erstellt hat, welches es für die Kunden ermöglichen soll, die Lebenszykluskosten von Maschinen und Anlagen bei der Kaufentscheidung mit einfließen zu lassen. Das Modell findet daher bei privatwirtschaftlichen Entscheidungen Anwendung.<sup>11</sup>

Gemäß der Definition des VDMA sind Lebenszykluskosten die „Summe aller zum bestimmungsgemäßen Gebrauch einer geeignet ausgelegten Maschine oder Anlage erforderlichen Aufwendungen von der Anschaffung bis zur Entsorgung“.<sup>12</sup>

Das Modell stellt den Anspruch der Adaptierbarkeit auf verschiedene Anlagen und Maschinen. Eine zentrale Annahme ist die Vergleichbarkeit von Prognosen. Dies beinhaltet, dass die Anlagen und Maschinen einen vergleichbaren Output haben müssen und die Berechnung der Lebenszykluskosten unter den gleichen Rahmenbedingungen vorgenommen werden müssen. Hierbei ist wichtig zu vermerken, dass die Rahmenbedingungen als die jeweils zu erfüllenden Mindestbedingungen (z.B. mindeste Verfügbarkeit) definiert sind. Die Daten zu den Mindestbedingungen werden dabei direkt vom Betreiber der Anlage oder der Maschinen vorgegeben.

Die eigentliche Berechnung ist unterteilt in drei Kostenphasen. Nach dem Ansatz des VDMA wird dabei zwischen den Entstehungskosten, den Betriebskosten über den Betrachtungszeitraum sowie den Verwertungskosten unterschieden. Insofern entspricht der Aufbau einem klassischen Lebenszykluskostenmodell. In einem weiteren Schritt werden die Kosten nach dem Modell des VDMA unter den einzelnen Phasen in den nachfolgend dargestellten Kostenkategorien subsummiert, welche ihrerseits ebenfalls einzelne Kostenkategorien enthalten:

- Entstehungskosten
  - Beschaffungskosten
  - Infrastrukturkosten
  - Sonstige Entstehungskosten
- Betriebskosten über den Betrachtungszeitraum
  - Wartung und Inspektion
  - Geplante Instandsetzung
  - Ungeplante Instandsetzung
  - Raumkosten

---

<sup>11</sup> VDMA 34160 : 2006-6, S. 2

<sup>12</sup> VDMA 34160 : 2006-6, S. 2

- Materialkosten und Rohstoffe
- Energiekosten
- Hilfs- und Betriebsstoffe
- Entsorgungskosten
- Personalkosten
- Werkzeugkosten
- Rüstkosten
- Lagerkosten
- Sonstige Betriebskosten
- Verwertungskosten
  - Rückbau
  - Restwert
  - Sonstige Verwertungskosten

Je nach Notwendigkeit können in den verschiedenen Blöcken Kostenkategorien hinzugefügt werden. Durch die Summierung der einzelnen Kostenphasen, entsprechend den vorgegebenen Kostenkategorien, werden die Lebenszykluskosten ermittelt.<sup>13</sup> Dabei werden Preiseffekte entstehend durch Finanzierung oder Kapitalkosten nicht berücksichtigt. Überdies werden die Kosten, welche in Zukunft anfallen, nicht abgezinst.

Die Vielzahl von bestehenden Ansätzen zeigt, dass sowohl ein Interesse als auch ein Bedarf an Modellen zur Berechnung der Lebenszykluskosten besteht. Die Spezifität der jeweiligen Modelle demonstriert einerseits den individuellen Bedarf in den Industrien, Anwendungsfeldern und Unternehmen, sie verhindert aber, dass die Modelle übertragen werden können und somit eine Breitenwirksamkeit entfalten können. Ein Referenzmodell muss folglich zwar spezifisch genug sein, um den Anwendungsfall abdecken zu können, jedoch in seiner Struktur offen genug gestaltet sein, um in vielen Anwendungsfeldern als handhabbar empfunden zu werden.

### **3.3. Vorgehensweise**

Zur Erarbeitung des Entwurfes des Konzeptes eines Referenzmodells zum Vergleich von energieeffizienten mit minder energieeffizienten Anlagen standen Deloitte und die Arbeitsgruppe "Total Cost of Ownership (TCO)" des ZVEI Fachbereich Messtechnik und Prozessautomatisierung in einem stetigen Diskurs. In diesem Rahmen wurden sowohl die Anforderungen an das Referenzmodell als auch die Vorgehensweise bei der Erstellung desselben gemeinsam definiert. Darüber hinaus dienten die Mitglieder der Arbeitsgruppe TCO Deloitte als wichtige Ansprechpartner bei der Erlangung von Informationen in Hinblick auf Anforderungen

- an das Referenzmodell zu Berechnung von Lebenszykluskosten,
- resultierend aus dem Vergaberecht und
- der Adressaten (Praxisbezug)

sowie Kenntnisse zum gewählten Anwendungsbeispiel „Kläranlage“ zur Verfügung.

Nachstehende Schritte wurden bei der Erstellung des Referenzmodells und Konzeptpapiers durchgeführt:

- Analyse der politischer Rahmenbedingungen
  - Strategien der EU und des Bundes zum Thema Energieeffizienz
  - Positionspapiere von Industrieverbänden zum Thema Energieeffizienz
- Führen strukturierter Interviews mit Anwendern und Entscheidern aus folgenden Bereichen
  - Vergaberecht
  - Instandhaltung von Kläranlagen
  - Kläranlagenbetreiber
  - Externe Berater von Kläranlagenbetreibern
  - Industrieverbände
  - Planungs- und Ingenieurbüros für Kläranlagen
- Berücksichtigung der Anforderungen des öffentlichen Auftragswesens
  - Sichtung öffentlicher Ausschreibungen in Hinblick auf die Angabe des Entscheidungskriteriums Energieeffizienz
  - Analyse öffentlicher Ausschreibungen in Hinblick auf die Verfahrensbeteiligten und die Entscheider
  - Untersuchung von Praxisfällen: Anfechtung der Vergabeentscheidung

<sup>13</sup> Für eine genaue Darstellung der einzelnen Posten vgl. VDMA 34160 : 2006-06, S. 5-14

- Analyse bestehender alternativer Lebenszykluskostenmodelle
  - VDMA Einheitsblatt 34160
  - Ansatz der dena – Lebenszykluskosten von Druckluftsystemen
  - Modell der DWA – Kosten-Leistungsrechnung bei Abwasseranlagen
- Prüfung anderer Anwendungsbereiche zur Validierung der Übertragbarkeit am Beispiel einer Biogasanlage
- Entwurf der Referenzmodells und Spiegelung der verschiedenen Zwischenstände mit der Arbeitsgruppe TCO des ZVEI-Fachbereichs Messtechnik und Prozessautomatisierung
- Test des Referenzmodells anhand von Beispieldaten

Die Erarbeitung des Referenzmodells erfolgte in mehreren Schritten. Dabei wurden bei der Erstellung des Modells verschiedene bestehende Ansätze – so bspw. das Einheitsblatt 34160 des VDMA – beachtet, um die spätere Implementierung durch die Zustimmung einer breiten Gruppe zu dem Referenzmodell zu unterstützen. Die verschiedenen Arbeitsstände wurden fortlaufend mit der Arbeitsgruppe TCO des ZVEI-Fachbereichs Messtechnik und Prozessautomatisierung gespiegelt. Darüber hinaus konnten parallel in den Interviews grundlegende Ideen des Konzeptes eines Lebenszyklusmodells mit externen Gesprächspartnern diskutiert werden. All die in den vorausgegangenen Schritten erlangten Informationen flossen daraufhin in das Konzeptpapier ein, welches in Kombination mit dem Konzept des Referenzmodells und des erstellten Berechnungstools das Ergebnis der Arbeiten darstellt.

## 4. Darlegung des Konzeptes des Referenzmodells

### Leitgedanken

Dem Grundgedanken der Übertragbarkeit folgend ist das vorliegende Konzept eines Lebenszykluskostenmodells anwendungsunabhängig aufgebaut. Kern des Konzeptes ist der Aufbau anhand von Kostenkategorien aus der betriebswirtschaftlichen Rechnungslegung. Überdies werden Prämissen aufgestellt, die das Grundgerüst des Modellentwurfs bilden.

### 4.1. Prämissen des Referenzmodells

Gegenstand des Kapitels ist die Aufstellung von Prämissen, welche zum ordnungsgemäßen Einsatz des Referenzmodells stets erfüllt sein müssen:

- **Grundkenntnis beim Anwender ist vorhanden**  
Bei den Adressaten und den späteren Nutzern des Referenzmodells müssen Grundkenntnisse im technischen Umgang mit dem Modell sowie mit Kostenkategorien der betriebswirtschaftlichen Rechnungslegung vorhanden sein. Überdies muss bekannt sein, wie sich die betrachtete Anlage bzw. der Prozess in betriebswirtschaftlichen Kennzahlen widerspiegelt. Die im Referenzmodell enthaltene Auswertung der Kostendaten dient dabei in der Entscheidungsfindung als ein Entscheidungskriterium unter mehreren. Der ausschreibenden Stelle werden überdies Instrumente an die Hand gegeben, um das ermittelte Ergebnis zu interpretieren. Diese sind zum einen Möglichkeiten der Sensitivitätsanalyse sowie die Ausgabe von Kennzahlen.
- **Die einheitlichen Annahmen für das Referenzmodell werden von der Vergabestelle vorgegeben**  
Ein ordnungsgemäßer Vergleich verschiedener Angebote erfordert einheitliche Annahmen für das Referenzmodell. So müssen alle Anbieter durch die Vergabestelle auf einheitliche Annahmen verpflichtet werden, damit die Vergleichbarkeit der Angebote sichergestellt ist. Dies betrifft insbesondere die Energiekosten sowie den anzuwendenden Diskontierungssatz. Auch sind Annahmen über die zukünftige Entwicklung von Kostenpositionen wie bspw. Energiepreise, Personalkosten oder die Entwicklung von Instandhaltungskosten zu machen. Dies setzt voraus, dass die Kenntnis über die Entwicklung dieser Kosten in dem Betrachtungszeitraum bei der vergebenden Stelle vorhanden ist. Gewisse Kostenelemente bedingen jedoch eine detailliertere Datenbasis und Auswertung, um eine verlässliche Aussage für die zukünftige Entwicklung tätigen zu können. Hierbei ist zu hinterfragen, inwieweit dies von der ausschreibenden Stelle geleistet werden kann.
- **Gleiche Informationslage für die Beteiligten des Bieterprozesses/ Transparenz**  
Voraussetzung, damit die Bieter ein ordnungsgemäßes Angebot abgeben können, ist eine gleiche Informationslage für die Beteiligten des Bieterprozesses. So müssen den Anbietern ggf. auch Rahmendaten der weiteren Komponenten, welche in die spezifische Anlage integriert werden sollen, zur Verfügung gestellt werden, damit sie für ihre Komponente die ordnungsgemäßen Annahmen über bspw. die Betriebskosten treffen können.
- **Die in das Referenzmodell einzugebenden Daten sind ermittelbar**  
Aufgrund der oftmals langfristigen Nutzungsdauer vieler auszuwertender Anlagen und Komponenten erstreckt sich der Betrachtungszeitraum in dem Referenzmodell oftmals über viele Perioden. Zur Gewährleistung eines verlässlichen Vergleichs mehrerer Angebote müssen auch für die letzten Perioden verlässliche Daten für die Kostenrechnung bereitstehen. Dies ist in der Realität oftmals nicht der Fall. So liegen bspw. bei den Kläranlagenbetreibern oftmals keine Kenntnisse über den zukünftigen Verlauf von Instandhaltungskosten vor. An dieser Stelle muss mit Prognosen gearbeitet oder anderweitige Annahmen getroffen werden, welche eine Bewertung im Rahmen des Referenzmodells erlauben. Allerdings ist eine Nutzung von prognostizierten oder anderweitig angenommenen Daten im Rahmen des Vergleichs transparent zu machen und muss auch in die Auswertung mit einbezogen werden. Im Rahmen der Auswertung können so bspw. Sensitivitätsanalysen durchgeführt werden, anhand derer bestimmt werden kann, welchen Einfluss eine Änderung der Daten auf das Ergebnis hat.
- **Datenverlässlichkeit der Anbieter**  
Die von den Anbietern im Rahmen des Ausschreibungsprozess gemachten Angaben, insbesondere diejenigen, welche sich auf die Kosten des Projektes auswirken, müssen verlässlich sein. Eine besondere Herausforderung stellen dabei die Betriebskosten dar. Diese können insbesondere bei langfristigen Projekten in einem besonderen Maß die Lebenszykluskosten der Anlage oder Komponente beeinflussen. In diesem Fall stellt sich ein Spannungsverhältnis zwischen der geforderten Datenverlässlichkeit der Anbieter und der vorliegenden Informati-

onslage dar. So ist es für den Anbieter einer komplexen Komponente, welche in ein noch sehr viel komplexeres Gesamtsystem integriert werden soll, schwierig, die Betriebskosten für die Komponente unter der Beachtung des Zusammenspiels mit den weiteren in der Gesamtanlage integrierten Komponenten zu ermitteln. Die ausschreibende Stelle jedoch benötigt für einen ordnungsgemäßen Vergleich der verschiedenen Angebote verlässliche Daten der Anbieter. Eine Möglichkeit dies sicherzustellen ist die Implementierung einer Garantiefunktion in das Vertragswerk, welche die Betriebskosten für die Komponente (in einer gewissen Bandbreite) festlegt. Wird von diesen in der Praxis (nach oben) abgewichen, können Vertragsstrafen vereinbart werden, welche unter bestimmten Voraussetzungen greifen.

- **Ausschließliche Betrachtung von Auszahlungen**

Das Referenzmodell und insbesondere auch die für das Referenzbeispiel Kläranlagen spezifizierte Variante sind ausschließlich auf die Berechnung von Auszahlungen ausgelegt. Einzahlungen werden im Modell nicht betrachtet. Dies liegt darin begründet, dass der vorliegende Ansatz zunächst für den Einsatz im öffentlichen Auftragswesen verwendet werden soll. Da hiermit nur verschiedene Angebote für die gleiche Anlage verglichen werden sollen, kann davon ausgegangen werden, dass die Einzahlungen in annähernd gleicher Höhe anfallen werden. Um das Modell nicht zu komplex werden zu lassen, wurde deshalb entschieden, Einzahlungen im Rahmen des Referenzmodells nicht abzubilden.

## 4.2. Grundsätzlicher Aufbau des Referenzmodells

### Technische Modellerläuterung

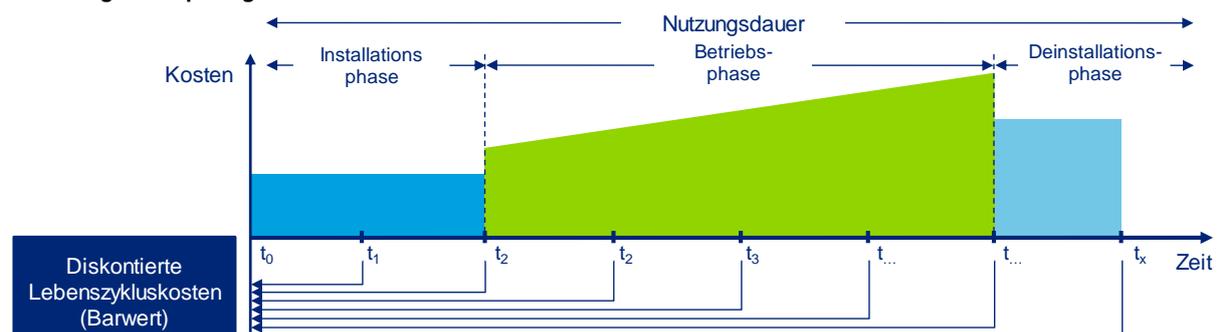
#### Grundlagen des Lebenszykluskostenansatzes

Die Lebenszykluskostenanalyse betrachtet die Gesamtheit aller anfänglichen und zukünftigen Kosten eines Investitionsprojektes. Einfache Analysen, wie die ausschließliche Betrachtung von Investitionskosten, ignorieren sowohl zukünftig anfallende Kosten als auch die Nutzungsdauer der verschiedenen Alternativen. Solche vereinfachten Betrachtungen sollten nur benutzt werden, wenn die Kosten der Betriebs- und Deinstallationsphase der Alternativinvestitionen identisch sind. Andernfalls kann die (teilweise) Außerachtlassung zukünftig anfallender Kosten zu ineffizienten und unwirtschaftlichen Investitionsentscheidungen führen. Dies ist insbesondere der für die diskutierten energieeffizienten Anlagen der Fall, welche oftmals eine höhere Investition bei geringeren Betriebskosten bedeuten – wenn auch nicht zwingend. In der Lebenszykluskostenanalyse werden alle Kosten zum jeweiligen Periodenende ( $t_1, t_2, \dots, t_x$ ) aggregiert und zum Zeitpunkt der Investition ( $t_0$ ) diskontiert, um die Vergleichbarkeit bei unterschiedlichem zeitlichen Anfall zu gewährleisten. Sobald höhere Anfangsinvestitionen (bei mindestens gleichbleibendem technischem Niveau im Gegensatz zur Alternativinvestition) zu einer Reduktion von zukünftig anfallenden Kosten führen, reicht die Höhe der Anfangsinvestition als Basis für die Entscheidungsfindung nicht aus. Insbesondere bei langfristigen Projekten übersteigt oft die Summe der Betriebs- und Instandhaltungskosten den anfänglichen Investitionsbedarf um ein Vielfaches. Durch eine schnelle Amortisation ist die Investition jedoch auch bei kurzen Investitionszyklen sinnvoll. Im Technologiebereich können höhere Anfangsinvestitionen sowohl die Betriebs- und Instandhaltungskosten, als auch die Deinstallations- und Entsorgungskosten bedeutend senken.

#### Dreiphasiger Aufbau

Als Anforderung an das Referenzmodell wurde gestellt, auf eine Vielzahl von Industrien und Anwendungsfällen übertragbar und wenig komplex ausgestaltet zu sein. Aus diesem Grund wurde ein anwendungsunabhängiger Aufbau des Referenzmodells gewählt. Dabei betrachtet das Referenzmodell alle Lebenszyklusphasen des Projektes. Der Grundaufbau des Ansatzes sieht eine Einteilung in die drei Phasen Installation, Betrieb und Deinstallation vor.

Abbildung 3: Dreiphasiger Aufbau des Modells



Quelle: Deloitte

Dabei werden der Installationsphase alle Kosten zugeteilt, die anfallen, um das Investitionsprojekt in einen betriebsbereiten Zustand zu versetzen. Die Betriebsphase umfasst die Kosten, die anfallen um das Investitionsprojekt zu nutzen und in einem funktionsfähigen Zustand zu erhalten. In der Deinstallationsphase werden die Kosten angeführt, die anfallen, um das Investitionsprojekt nach Ende des Betriebs zurückzuführen. Nunmehr besteht die Herausforderung in der Identifikation und Strukturierung von Kostenkategorien. Für die spezifische Anwendung können die Kostenkategorien ausgehend von der Kostenkalkulation der ausgeschriebenen Anlage identifiziert werden. Allerdings besteht hierdurch nur eine begrenzte Übertragbarkeit des Ansatzes.

### *Kostenstruktur*

Aufgrund verschiedener Kostentreiber und Kostenelemente in den verschiedenen Industrien und Anwendungsfällen muss ein Lebenszykluskostenmodell zur spezifischen Anwendung in dem jeweiligen Anwendungsfall jedoch stets individuell angepasst und modifiziert werden.

Um den Ansatz dennoch übertragbar zu gestalten, wurde ein Grundmodell konzipiert, welches für die verschiedenen Branchen spezifisch angepasst werden kann. Ausgegangen wurde dabei von Kostenkategorien aus der betriebswirtschaftlichen Rechnungslegung. Die Spezifizierung kann damit über einen einheitlichen Kontenrahmen (wie DATEV o.ä.) erfolgen, welcher sicherstellt, dass stets eine Vergleichbarkeit gegeben ist.

Die Entscheidung für das Konzept des Referenzmodells Kostenkategorien im Gegensatz zu einer Aufteilung nach Kostenstellen zu wählen, ist dabei Resultat aus den Interviews, welche mit Betreibern, externen Beratern, Ingenieurbüros und Abwasserverbänden geführt wurden. Aus diesen Gesprächen ergab sich, dass bei Kläranlagen eine Ausgabe der Kosten nach Kostenstellen nicht üblich ist, da die Daten im Regelfall nicht auf eine Kostenstelle, welche einen Prozessschritt abbildet, genau ermittelt werden können. Diese Problematik ist auch für weitere Industrien und Anwendungsfelder zu erwarten. In diesem Zusammenhang ist ebenfalls anzumerken, dass die Kostenkategorien sowohl direkte als auch indirekte Kosten abbilden können.

Auch ermöglicht die Wahl der Strukturierung anhand von Kostenkategorien – wie später in weiterem Detail aufgezeigt wird – die flexible Abbildung beliebiger Kostentreiber.

Diesem Ansatz folgend wurden für das Grundmodell sechs Hauptkostenkategorien aus der betriebswirtschaftlichen Rechnungslegung gewählt, unter welche alle anderen (Sub-)Kostenkategorien subsummiert werden können. In der Abbildung 4 sind die Kostenkategorien dargestellt, welche als Grundlage für das Modell herangezogen werden. Die dargestellten Kostenkategorien können im spezifischen Anwendungsfall je nach Notwendigkeit weiter detailliert oder ergänzt werden. Dies heißt konkret, dass auch Kostenkategorien wie bspw. Energie- und Stromsteuern bei einem entsprechenden Szenario eingearbeitet werden können. Die detaillierten Kostenkategorien fallen dabei nicht zwingend in jeder Projektphase an, sodass bei der Berechnung die in der jeweiligen Phase nicht anfallenden Kostenkategorien ausgeblendet werden können. Dabei ist stets zu beachten, welche Daten für welche Phase vorliegen und welche von besonderer Bedeutung für die jeweilige Phase sind.

Innerhalb verschiedener Kostentreiber wie bspw. der Instandhaltung können mehrere Kostenkategorien subsummiert werden. In der Praxis zeigt sich, dass sich in verschiedenen Anwendungsfällen Instandhaltungskosten unterschiedlich zusammensetzen und nicht immer als separate Kostengruppe spezifisch erfasst werden. Im Rahmen des vorliegenden Konzeptes werden die Instandhaltungskosten in die jeweiligen Kostenkategorien: Personalkosten, Materialkosten und Fremdleistungen zerlegt und können somit abgebildet, wenn auch nicht separat ausgewertet, werden. Denkbar ist jedoch die Einführung spezifischer Kennzahlen, die dann wiederum eine Auswertung ermöglichen.

Ein weiteres Beispiel wäre die Abbildung einer erhaltenen öffentlichen Förderung bspw. in Form eines zinsverbilligten Darlehens oder eines nicht rückzahlbaren Zuschusses. Die Vergünstigung des Zinssatzes stellt eine Förderung dar, welche in die Lebenszyklusanalyse einfließen muss. Entsprechend der vorgegebenen Kostenkategorien würden sich die Finanzierungskosten reduzieren. Über diesen Effekt kann das zinsverbilligte Darlehen abgebildet werden. Hingegen könnte ein nicht rückzahlbarer Zuschuss über die Reduktion der Anschaffungskosten und damit der Investitionskosten einbezogen werden.

Es sollte allerdings stets darauf geachtet werden, dass bei der Spezifizierung nicht von der grundsätzlichen Systematik der Kostenkategorien abgewichen wird, um zu vermeiden, dass Kosten mehrfach erfasst werden.

Abbildung 4: Kostenkategorien für den grundsätzlichen Aufbau des Modells

Kostenkategorien	Personal	Material	Bezogene Leistungen	Anlagen	Finanzierung	Steuern & Abgaben
	Löhne- und Gehälter	Energiekosten	Gutachten & Beratung	Grundstück	Zinsen	Umsatzsteuer
	Sozialversicherungsabgaben	Rohstoffe	Schulungskosten (extern)	Infrastruktur	Gebühren	Gewerbesteuer
	Schulungskosten (intern)	Hilfsstoffe	Kosten Projektgesellschaft	Technische Anlagen und Maschinen	Bearbeitungsentgelte	Körperschaftsteuer
	Sonstige	Betriebsstoffe	Versicherungen	Betriebs- und Geschäftsausstattung	Sonstige	Energie- und Stromsteuer
		Abfälle	(externe) Ersatzleistungen für Ausfälle	Immaterielles Vermögen und Finanzanlagen		Kompensationszahlungen für Ausfälle
			Sonstige	Sonstige		Sonstige

Quelle: Deloitte

Die oben aufgeführten (Sub-)Kostenkategorien umfassen sowohl direkte als auch indirekte Kosten.

#### Nutzungsdauer

Die Ermittlung der betriebsgewöhnlichen Nutzungsdauer sollte sich auf Erfahrungswerte des Anbieters und die Abschreibungstabelle für allgemein verwendbare Anlagegüter („AfA-Tabelle“) des Bundesministeriums für Finanzen stützen. Um zwei Projekte vergleichen zu können müssen die Nutzungsdauern der Projekte identisch sein. Auf diese Weise können auch Reinvestitionen im Rahmen der Nutzungsdauer mit einbezogen werden. Diese sind in geeigneten Kostenkategorien in Betriebsphasen abzubilden

#### Diskontierungssatz

Um eine Vergleichbarkeit herzustellen, werden die anfallenden Kosten auf den Barwert zum Zeitpunkt der Investitionsentscheidung diskontiert. Dabei wird durch den Diskontierungszinssatz die relative Wertschätzung zeitlich unterschiedlich anfallender Zahlungsströme bestimmt. Hierdurch können unterschiedlich anfallende Zahlungsströme verschiedener Projekte vergleichbar gemacht werden.

Generell stellt der Diskontierungszinssatz dabei den möglichen Zins einer alternativen Wertanlage dar, welche über den gleichen Zeitraum festgelegt ist. Aus diesem Grund wird der Diskontierungszinssatz aus der Zinsstrukturkurve oder dem durchschnittlichen Zinssatz abgeleitet. Darüber hinaus können zur Wahl des Diskontierungszinssatzes folgende weitere alternative theoretische Ansätze herangezogen werden:

- Besitzverhältnisse (öffentlich vs. privat)
- Risiken und deren Verteilung
- Alternativen

Nachstehende Tabelle zeigt Möglichkeiten der Ermittlung des Diskontierungszinssatzes auf:

Abbildung 5: Ermittlung Diskontierungszinssatz

<b>Ministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Basiert auf Rendite 10-jähriger Bundeswertpapiere</li> <li>• Risikoloser Zins: 2,8% (Bundesbank, Stand: 24.11.2010)</li> <li>• Ggf. sind Anpassungen (z.B. Risikoaufschlag) vorzunehmen</li> </ul>	<b>Min. 2,8%</b> (nominal)
<b>U.S. Department of Commerce</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Basiert auf den 30-jährigen Vorhersagen der Energiepreisentwicklung durch das U.S. Department of Energy</li> <li>• Gültig für Projekte im Zusammenhang mit Energieeffizienz, erneuerbaren Energien und Gewässerschutz</li> </ul>	<b>4,0%</b> (nominal)
<b>Leitfaden der australischen Regierung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Basiert auf risikolosem Zins (2,8%) zzgl. Risikoaufschlag</li> <li>• Risikoaufschlag (3,0%) abhängig vom Asset Beta des Investitionsprojekts (0,5 für Abwasseranlagen) und Marktrisikoprämie (6,0%)</li> <li>• Risikoaufschlag angepasst um Anteil, den der private Sektor trägt (z.B. 50% → 3,0% x 50% = 1,5%), abhängig vom Betreibermodell</li> </ul>	<b>4,3%</b> (nominal)
<b>U.S. Whitehouse Office of Management and Budget</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Basiert auf Prämisse, dass Regierungsinvestitionen private Investitionen ersetzen, deshalb privater Diskontierungszinssatz</li> <li>• Diskontierungszins entspricht der marginalen Vorsteuerrendite privater Investitionen der letzten Jahre</li> </ul>	<b>Min. 7,0%</b> (real)

Quelle: Deloitte

Zusammenfassend ist abzuwägen wie hoch der Aufschlag auf eine risikolose Wertanlage gewählt wird, um Risikofaktoren abzudecken.

Im Berechnungstool für das Referenzbeispiel „Kläranlage“ ist zunächst ein Diskontierungssatz von drei Prozent voreingetragen. Dieser leitet sich aus dem Abgleich von durch staatliche Akteure verwandten Diskontierungszinssätze ab. Entsprechend wurde die Empfehlung des Ministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung zugrundegelegt und ein Risikoaufschlag von 0,2% angenommen.

Der voreingetragene Wert versteht sich jedoch als Vorschlag und kann von der Vergabestelle jederzeit geändert werden.

Im Hinblick auf die Bewertung der Projektalternativen ist zu beachten, dass für alle Alternativen der gleiche Diskontierungszinssatz gewählt wird. Auch kann der Diskontierungszinssatz das Ergebnis der Lebenszykluskostenanalyse beeinflussen, weshalb im Rahmen des Modells eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt wird. Diese deckt auf, inwieweit das Modell von der Wahl des Diskontierungszinssatzes beeinflusst wird.

#### Kennzahlen

Abgeleitet aus dem Referenzmodell können Kennzahlen gebildet werden, welche helfen Einzelcharakteristika nochmals separat zu bewerten. Zum einen hilft dies der Interpretation der durch das Referenzmodell aufbereiteten Daten. Zum anderen können die Kennzahlen als Entscheidungshilfe bei gleichwertigen Projekten herangezogen werden. Zur Bildung der Kennzahlen zur Abbildung der Energieeffizienz aus dem Referenzmodell heraus muss allerdings die Kalkulation der Energiekosten im Referenzmodell hinterlegt werden.

Am Beispiel einer Kläranlage sind denkbare Faktoren für die Wirtschaftlichkeit der spezifische Gesamtaufwand der Abwasserbeseitigung [EUR/EW], der spezifische Aufwand der Abwasserableitung [EUR/Netzkilometer], der spezifische Aufwand der Abwasserbehandlung [EUR/EW] oder der spezifische Betriebsaufwand (exkl. Kapitalkosten) [EUR/EW].

Auch Kennzahlen für Energieeffizienz können aus dem Referenzmodell abgeleitet werden. Hierbei könnte der spezifische Energieverbrauch des Gesamtsystems, der Energieverbrauch separiert nach Energieträgern, Systemkomponenten, Prozessen, etc. oder der Energieverbrauch pro versorgtem Einwohner [kWh/(EW.a)] betrachtet werden. Eine automatische Berechnung dieser Kennzahlen aus den Daten des späteren Lebenszykluskostenmodells ist im Rahmen der Auswertung zu implementieren und je nach spezifischer Anwendung auszugestalten.

#### Auswertung

Die Auswertung des Referenzmodells erfolgt anhand der ermittelten Barwerte oder Annuitäten, anhand der die wirtschaftlichen Alternativen ausgewählt werden können. Darüber hinaus muss jeder Anwender diskutieren, inwieweit er bei sich stark annähernden Lebenszykluskosten weitere Faktoren wie die Energieeffizienz des zu wählenden Projektes mit einbezieht.

### **Kritische Würdigung des Ansatzes**

Zur späteren Implementierung des Konzeptes eines Lebenszykluskostenmodells ist es wichtig, dass zunächst die Akzeptanz für dieses geschaffen wird. In diesem Zusammenhang könnte das Referenzmodell insbesondere von Verbänden, welche über eigens entwickelte Modelle verfügen, kritisch beurteilt werden. Auch die Anwender, welche mit bereits vorliegenden Modellen arbeiten, könnten dem Referenzmodell skeptisch gegenüberstehen. In diesem Zusammenhang muss verdeutlicht werden, dass das Referenzmodell auf bereits bestehende Modelle aufbaut und diese mit einbezieht. Dies wurde im Rahmen des vorliegenden Referenzmodells getan. So lässt sich der Ansatz des VDMA Einheitsblattes 34160 aufgrund des vergleichbaren Aufbaus in das vorliegende Referenzmodell integrieren. In mit Vertretern des VDMA geführten Gesprächen zeigten sich diese dem Ansatz des ZVEI aufgeschlossen. So können die Kostenkategorien der bestehenden Ansätze, wie dem des VDMA in die Subkostenkategorien des vorliegenden Ansatzes integriert werden.

In diesem Zusammenhang ist jedoch erwähnenswert, dass in einer Anzahl von Industrie- und Versorgungs- bzw. Entsorgungsbereichen – so auch im Bereich von Kläranlagen – ein Lebenszykluskostenmodell oftmals gar nicht zur Anwendung kommt, weshalb auch mit keinem bestehenden Ansatz konkurriert wird.

An das o.g. Argument anschließend kann erwähnt werden, dass bei den öffentlichen Vergabestellen im Regelfall großes Interesse an einer stärkeren Kenntnis von Lebenszykluskostenansätzen vorliegt. Dem soll durch den generischen und sehr einfach gehaltenen Aufbau des Referenzmodells Rechnung getragen werden. Insofern gilt es die Erwartungshaltung dahingehend zu schärfen, dass das vorliegende Referenzmodell nur ein Entscheidungskriterium bilden sollte, welches durch weitere Vergabekriterien zu ergänzen ist. Insofern können die Anforderungen an den „absolut“ ermittelten Betrag der Investitionskosten reduziert werden. Auch ist wichtig in die kritische Würdigung einzubeziehen, dass das Modell für eine Vergleichsbetrachtung und nicht für eine Absolutbetrachtung herangezogen wird.

Trotz der generischen Natur des erarbeiteten Konzeptes ist für eine spezifische Anwendung die Detaillierung des Referenzmodells erforderlich, welche mit einem gewissen Aufwand einhergeht. Dies ist allerdings durchaus erwünscht, denn der Sensibilisierungsfunktion wird hierdurch Rechnung getragen. Für die Detaillierung des Referenzmodells ist die Auseinandersetzung mit den Kostentreibern und potenziellen Einsparungspotenzialen zwingend erforderlich. In der Folge wird eine bewusste Auseinandersetzung mit dem Thema Energieeffizienz induziert. Jedoch muss hierbei stets das Kosten-Nutzen-Verhältnis beachtet werden. So kann eine Spezifizierung des Referenzmodells für nur einen Anwendungsfall unrentabel sein. Es sollte darauf geachtet werden, dass das Referenzmodell stets für mehrere Anwendungsfälle spezifiziert wird.

Im Rahmen der Spezifizierung können die Vergabestellen gewisse Kosten vorgeben, so bspw. Energiekosten oder Instandhaltungskurven.<sup>14</sup> Hierzu ist allerdings ein vertieftes Wissen bei der ausschreibenden Stelle erforderlich, welches nicht generell vorausgesetzt werden kann, da die Ermittlung dieser Daten zunächst einen intensiven Rechercheaufwand erfordert. In diesem Zusammenhang muss auch bei der Komplexität der spezifischen Ausgestaltung des Ansatzes stets das Kosten-Nutzen-Verhältnis der durch die zusätzliche Detaillierung zu erlangenden Informationen beachtet werden. In diesem Zusammenhang ist ein bestehendes Referenzmodell, welches spezifisch für eine Branche ausgestaltet ist, von hoher Wichtigkeit.

Die in das Referenzmodell einzugebenden Daten können teilweise mit einer höheren Unsicherheit behaftet sein. Vor allem ist dies bei Investitionsprojekten der Fall, welche über eine Vielzahl an Perioden genutzt werden. Auch für kurze Zeithorizonte können Unsicherheiten bestehen, weil erforderliche Kosten bislang nicht ermittelt wurden oder die betreffende Komponente neu entwickelt wurde.

Ebenso hängt die tatsächliche Energieersparnis, welche mittels der Investitionsentscheidung zugunsten einer neuen Komponente angestrebt wird, oftmals von einer Vielzahl von Faktoren ab, die außerhalb der Komponente selbst liegen. Entsprechend besteht das Risiko, dass die angestrebte Kostensparnis nicht vollständig realisiert werden kann, was die Verwendung eines Risikofaktors implizieren würde (bspw. Annahme, dass nur 90% der theoretisch möglichen Effizienzsteigerung erreicht werden). Um den Modellentwurf nicht zu komplex zu gestalten, wurde auf die Integration eines entsprechenden Faktors zunächst verzichtet.

In diesem Kontext ist auch die Messbarkeit der Energieeffizienz zu berücksichtigen. Zwar sind die energieeffizienten Komponenten bereits entwickelt, es mangelt allerdings am Einsatz von Energiemanagementsystemen, die es ermöglichen, die Energieeffizienz der einzelnen Komponenten transparent bzw. messbar zu machen. Gerade bei der Sanierung von Anlagen ist es wichtig, die Einsparpotenziale der einzelnen Komponenten ermitteln zu können. Das Referenzmodell soll die Möglichkeit geben,

---

<sup>14</sup> Im Berechnungsmodell können die Energiekosten von den Vergabestellen hinterlegt werden, sodass die Anbieter lediglich den Energieverbrauch ihrer Komponenten eingeben müssen. Die Instandhaltungskosten werden im Modell vernachlässigt.

auch bei der Sanierung oder dem Umbau einzelner Komponenten einer Anlage energiebewusste Investitionsentscheidungen zu treffen. Der Einsatz von Energiemanagementsystemen ist daher dringend erforderlich. Bis dahin muss mit Hilfe von umfangreichen Prognose- und Datenmodellen gearbeitet werden, anhand derer die Entwicklung der Kosten antizipiert werden kann. Aus den geführten Interviews mit Betreibern von Kläranlagen und Verbänden kann jedoch geschlossen werden, dass erwartet wird, dass sich Energiemanagementsysteme zunehmend durchsetzen. So wird die Implementierung von Energiemanagementsystemen bei vom Umweltbundesamt geförderten Projekten gefordert. Diese Entwicklung könnte durch die Implementierung des Konzeptes eines Lebenszyklusmodells weiter verstärkt werden.

Abschließend ist anzumerken, dass das Referenzmodell als Monitoringinstrument genutzt werden kann, indem nach der Investitionsentscheidung und deren Umsetzung ein Plan-Ist Abgleich durchgeführt wird. Auf diesem Wege könnten Erkenntnisse gesammelt werden, die in zukünftige Investitionsentscheidungen einfließen. In diesem Zusammenhang wäre auch zu diskutieren, welche Folgen Abweichungen bei den Betriebskosten von der Planungsphase im Ausschreibungsverfahren haben könnten.

## 5. Referenzbeispiel Kläranlage

### Leitgedanken

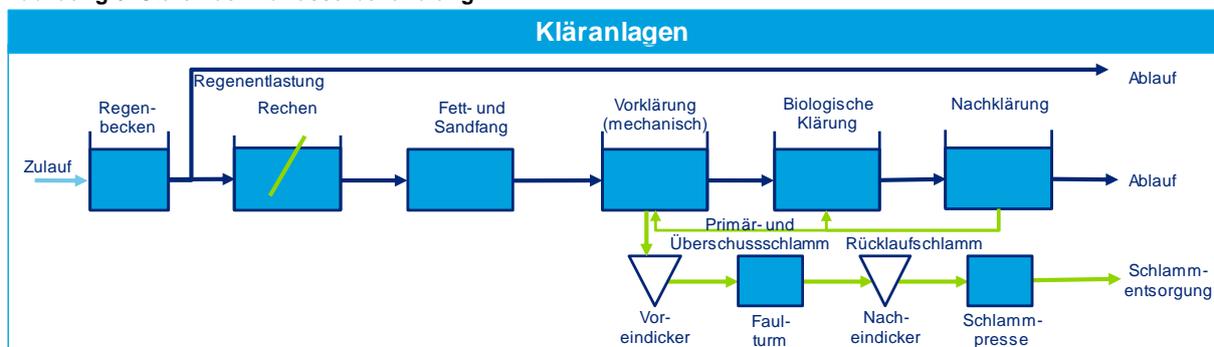
Zur Spezifizierung des grundsätzlichen Referenzmodells auf den Anwendungsfall einer Kläranlage sind die Kostentreiber der Kläranlage identifiziert und in Kostenkategorien überführt worden. Überdies wurde das vorliegende Konzept eines Referenzmodells mittels einer Beispielrechnung getestet.

### 5.1. Funktion Kläranlage

#### 5.1.1. Generelle Funktionsweise

Die Hauptaufgabe einer Kläranlage besteht darin, aus dem Wasser ungelöste Bestandteile wie Fett, Sand und Faserstoffe sowie gelöste Stoffe wie Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphat mittels mechanischer, chemischer und biologischer Verfahren zu entfernen. Dabei muss grundsätzlich alles was der Kläranlage aus dem Kanalnetz zufließt, abgeleitet, aufgefangen und behandelt werden. Dabei muss stets beachtet werden, dass es weder zu Rückstauereignissen im Kanalnetz kommt, noch dass gesetzlich festgelegte Grenzwerte für den Ablauf der Kläranlage überschritten werden.

Abbildung 6: Stufen der Abwasserbehandlung



Quelle: Deloitte

Die Abbildung gibt einen schematischen Überblick über die verschiedenen Stufen der Abwasserbehandlung, auf welche im Folgenden eingegangen werden soll. Im Kanal bzw. im Zulaubereich der Kläranlage sind Regenbecken angeordnet, die der Zwischenspeicherung von Abwasser insbesondere bei Regenereignissen dienen.

Nach dem zentralen Hebewerk der Kläranlage wird das Wasser in die erste Reinigungsstufe, die mechanische Vorreinigung, eingeleitet. Die mechanische Vorreinigung umfasst die Stationen Rechen, Fett- und Sandfang sowie die Vorklärung. Dabei werden zum Schutz der Maschinen und Pumpen in der Rechenstation Grob- und Feinstoffe wie Blätter und Hygieneartikel aus dem Wasser gesiebt. In der darauffolgenden Stufe, dem Sand- und Fettfang werden die gröberen Sände über Sedimentation und Fette per Flotation abgeschieden. Das aufgeschwemmte Fett wird dabei mit Räumern und der abgelagerte Sand von Abzügen am Boden entfernt. In der letzten mechanischen Reinigungsstufe, der Vorklärung, wird das Abwasser soweit beruhigt, dass sich auch sehr feine Partikel absetzen. Der sich absetzende Schlamm wird der Schlammbehandlung zugeführt.

Die darauf folgende biologische Klärung stellt die zweite und dritte Reinigungsstufe dar. Dabei werden in den sog. Belebungsbecken sowohl die Kohlenstoffverbindungen als auch Stickstoff und Phosphor aus dem Wasser durch biologischen Abbau entfernt. Da die Bakterien Sauerstoff benötigen ist eine stetige Belüftung des Beckens notwendig. Vor Einleitung des gereinigten Wassers in den Vorfluter muss in der Nachklärung der „belebte Schlamm“ vom Wasser getrennt werden. Der über Sedimentation abgetrennte Schlamm wird dem Prozess wieder teilweise wieder zugeführt; überschüssiger Schlamm geht in die Schlammbehandlung. Die Biologie stellt aufgrund der notwendigen Belüftung den energieintensivsten Prozessschritt einer Kläranlage dar.

Im Rahmen der Schlammbehandlung werden der Überschussschlamm aus der biologischen Reinigung sowie der als Primärschlamm aus der Vorklärung abgezogene Schlamm zusammen behandelt und entsorgt. Häufig wird aus den Schlämmen Faulgas erzeugt, welches in einem BHKW entsprechend verstromt wird und so den Primärenergiebedarf der Kläranlage deutlich verringern kann. Darüber hinaus verringert sich die zu entsorgende Schlammmenge, da während der Faulgaserzeugung bis zu 50% des organischen Materials abgebaut werden. Der noch verbleibende Schlamm muss per Nacheindicker und Schlammpresse entwässert werden und wird entsorgt.

### 5.1.2. Ansatzpunkte zur Steigerung der Energieeffizienz

Wesentliche Einflussgrößen in Bezug auf die Energieeffizienz werden schon bei der Planung und dem Bau der Kläranlage festgelegt. Hierunter fallen das Verfahrenskonzept, Bauwerksgrößen, die Aggregate und die Leitungsführung. Eine Steigerung der Energieeffizienz im Betriebsablauf ist daher nur eingeschränkt möglich. Aus diesem Grund müssen schon im Planungsprozess Energieeffizienz und damit verbunden die Betriebskosten starke Beachtung finden. Dabei stellen die Energiekosten im späteren Anlagenbetrieb nach Gesprächen mit verschiedenen Betreibern durchschnittlich 10 bis 20 Prozent der Betriebskosten dar. Größte Energieverbraucher sind dabei die Belüftung (biologische Reinigung) mit einem Anteil von ca. 50 bis 60 Prozent der Energiekosten sowie die Pumpen.

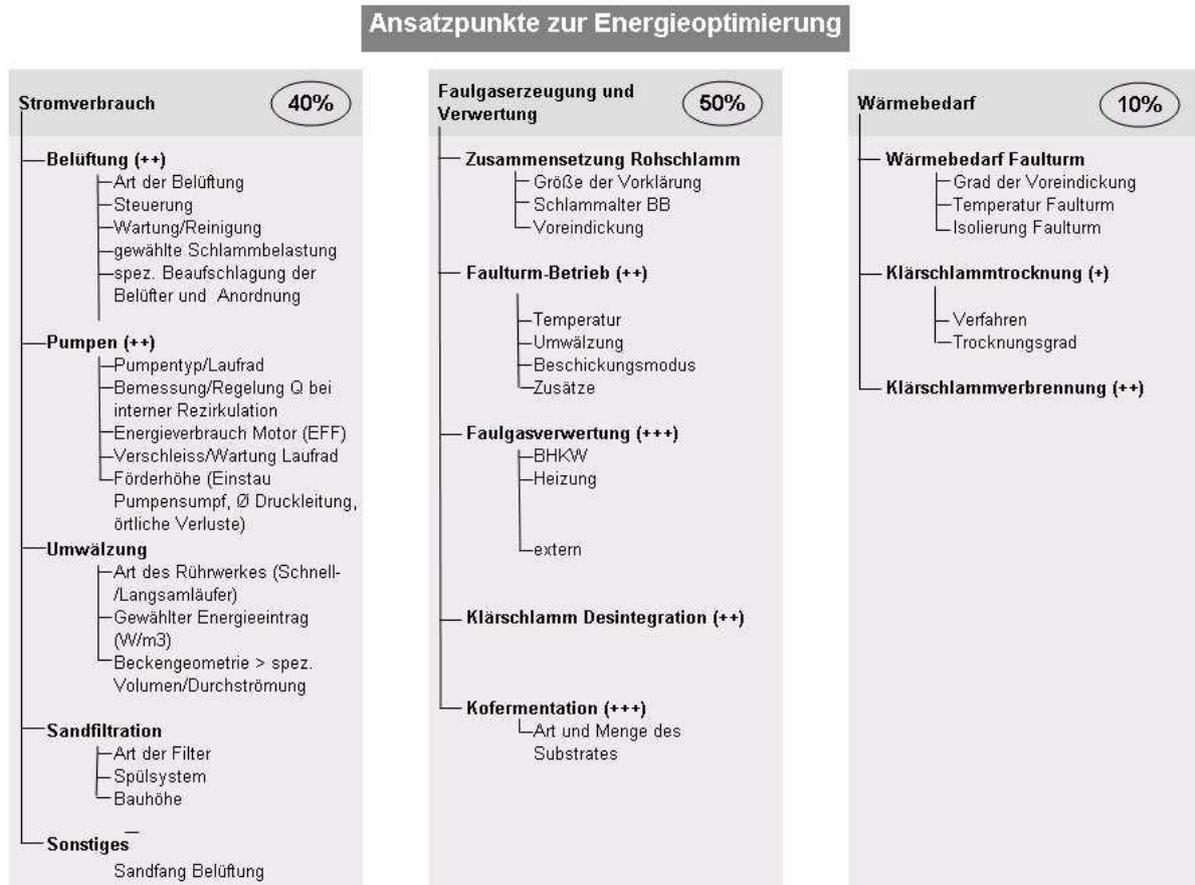
Ansatzpunkte für die Steigerung der Energieeffizienz bei der Belüftung sind die Auswahl, Beaufschlagung und Anordnung der Belüfterelemente sowie die Art der Belüftungsregelung. Hier könnte eine NH<sub>4</sub>-Regelung oder eine Kaskadenregelung in Frage kommen. Im Hinblick auf die Steigerung der Energieeffizienz beim Betrieb der Pumpen können effiziente Laufräder und regelmäßige Wartung sowie die Verminderung von Kreislauführungen, Ausfällen und örtlichen Druckverlusten genannt werden.

Denkbare generelle Optionen zur Steigerung der Energieeffizienz einer Kläranlage, welche sich bereits in Betrieb befindet sind:

- Steuerung des Belebungsbeckens über die Messung von Nährstoffparametern und Sauerstoff mit entsprechender Regelstrategie
- Ersatz konventioneller Motoren durch Energiesparmotoren (mit Drehzahlregelung, falls erforderlich)
- Kombination der Kläranlage mit einer Biogasanlage und Nutzung des Biogases (z.B. Gasmotor mit Kraft/Wärmekopplung)
- Ersatz konventioneller Beleuchtung durch LED Beleuchtung
- Nutzung von Abwärme über Wärmetauscher

Einen Überblick über die schon in der Planung aber auch teilweise in der Betriebsphase zu beeinflussenden Parameter im Hinblick auf die Energieeffizienz der Kläranlage gibt die Abbildung 7. Dabei ist prozentual der Anteil der jeweiligen Verbrauchssäule an den gesamten Energiekosten dargestellt. Die Einteilung (+/++/+++ ) zeigt eine qualitative Gewichtung der möglichen Energieoptimierung an.

Abbildung 7: Ansatzpunkte zur Energieoptimierung



Quelle: Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen, S.48, Umweltbundesamt

Als Checkliste für die Energieoptimierung auf Anlagen kann folgende Auflistung von Ansätzen, welche sich an den Hauptenergieverbrauchern orientiert, dienen<sup>15</sup>:

- Belüftung
  - Auswahl, Beaufschlagung und Anordnung der Belüfterelemente
  - Art der Belüftungsregelung (NH<sub>4</sub>-Regelung, Kaskaden)
- Rührwerke
  - Wahl von Langsamläufern mit bedarfsgerechter Leistung
  - Intervallbetrieb
- Pumpen
  - Effiziente Laufräder, regelmäßige Wartung
  - Verminderung von Kreislaufführung, Abstürzen und örtlichen Druckverlusten
- Faulgaserzeugung
  - Gute Durchmischung und gleichmäßige Beschickung
  - Voreindickung von Überschussschlamm mit Flockungsmittel
  - Kofermentation soweit möglich und Substrat verfügbar
- Faulgasverwertung
  - Wahl effizienter Motoren und vollständige Verstromung des Faulgases, künftig eventuell mit zusätzlichen ORC-Anlagen
- Sonstiges
  - Getrennte Zwischenspeicherung und/oder Behandlung von Konzentraten (Prozesswasser, Fäkalien, etc.), z.B. in stillgelegten Becken
  - Anpassung Schlammalter (TSBB) an tatsächlichen Bedarf im Jahrgang
  - Reduzierung Belüftung Sandfang

Insbesondere die Checkliste mit den zu regelnden Antrieben der verschiedenen Komponenten verdeutlicht, dass die Automatisierungstechnik ein wichtiger Ansatzpunkt zur Steigerung der Energieeffizienz ist. Diese hilft über eine intelligente Steuerung oder eine genauere Regelung der einzelnen Komponenten und Prozesse die Leistung jener dem tatsächlichen Bedarf anzupassen und somit eine zu stark Energie verbrauchende Fahrweise der Komponenten und Prozesse zu verhindern.

<sup>15</sup> Quelle: Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen, S.192, Umweltbundesamt

## 5.2. Kostentreiber Kläranlage

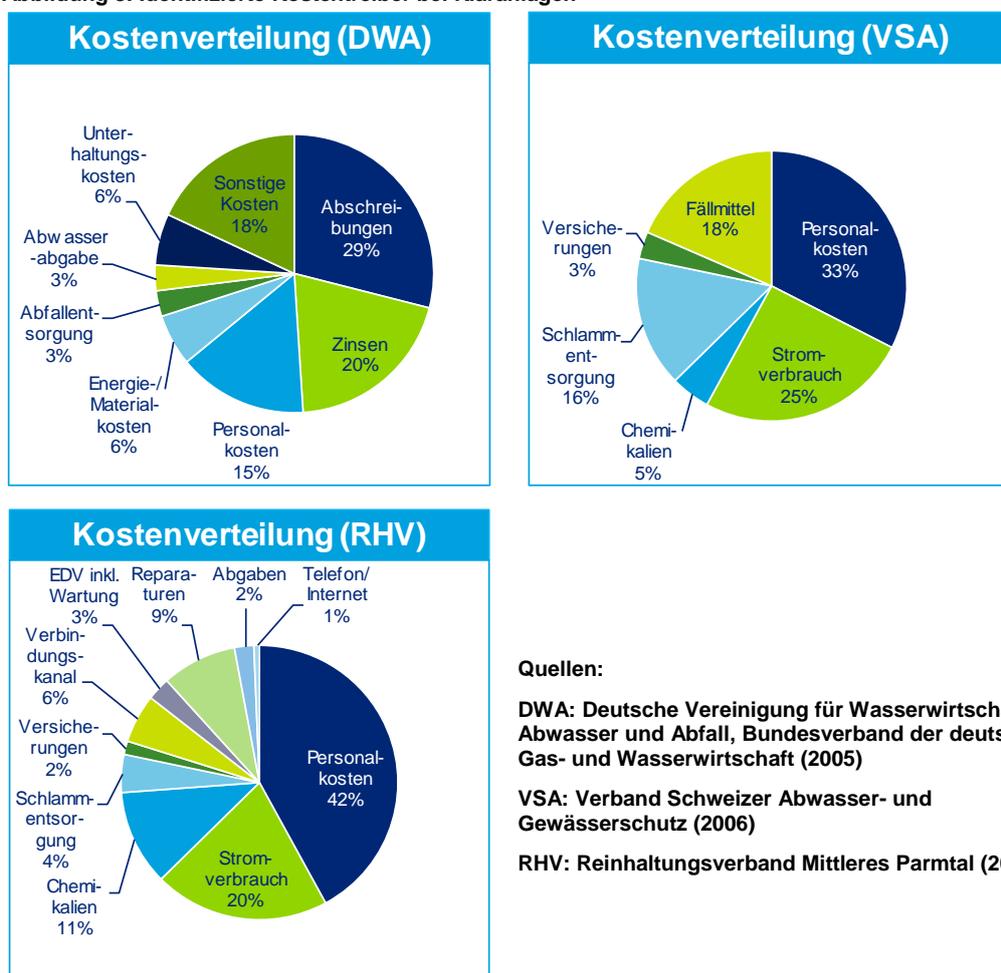
### 5.2.1. Identifikation der Kostentreiber und Kostenverteilung

Die Fokussierung des unter dem Kapitel 4.2 dargestellten generellen Referenzmodells auf eine spezifische Industrie bzw. einen spezifischen Anwendungsfall setzt zunächst eine einhergehende Analyse der Kostenstruktur voraus. Hierbei werden die Kostentreiber des Betrachtungsgegenstandes identifiziert, welche die Detaillierung des modularen Referenzmodells auf Kostenkategorien bestimmen. Dabei empfiehlt es sich, die Spezifizierung auf die Kostentreiber zu fokussieren. Aus diesen abgeleitet werden im Kapitel 5.2.2 die Kostenkategorien für das Referenzbeispiel bestimmt.

Für Kläranlagen kann dabei auf verschiedene Studien zur Identifizierung der Kostentreiber bzw. der Kostenverteilung zurückgegriffen werden. An den unter der

Abbildung 8 dargestellten Studienergebnissen zeigt sich eine große Varianz in den ermittelten Werten. Hieran wird ersichtlich, dass die verschiedenen Kläranlagen schwierig vergleichbar sind. Dies liegt zum einen an den sehr unterschiedlichen Größenklassen, welche im Bereich der Abwassertechnik vorherrschen. Zum anderen sind die spezifischen Rahmenbedingungen einer jeden Kläranlage für unterschiedliche Kostentreiber verantwortlich. Ein Beispiel ist der verschiedene Zulauf wie auch die Lage der Kläranlage (Tallagen begründen bspw. einen geringen Energieaufwand für den Pumpenbetrieb).

Abbildung 8: Identifizierte Kostentreiber bei Kläranlagen



#### Quellen:

**DWA:** Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (2005)

**VSA:** Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutz (2006)

**RHV:** Reinhaltungsverband Mittleres Parntal (2010)

Abgeleitet aus den unterschiedlichen Ergebnissen der verschiedenen Studien existieren ebenso verschiedene alternative Ansätze für Lebenszykluskostenmodelle, welche auch auf den Bereich Abwasser angewendet werden können. Dabei wurde der generelle Ansatz der Modelle der DWA, der dena und des VDMA bereits unter Kapitel 3.2 beschrieben. Jedoch wird in den Studien in der vorstehenden Abbildung auch ersichtlich, dass eine Gruppierung der Kostentreiber jeweils sehr individuell vorgenommen wird. Zu beachten bei der Interpretation der Kostenverteilung in der Betriebsphase ist allerdings, dass bei der Studie der DWA auch Zinsaufwendungen und Abschreibungen betrachtet wurden, welche in den Studien der VSA und RHV nicht mit einbezogen wurden.

In Verbindung mit den geführten Interviews ergibt sich aus den dargestellten Studien, dass eine Aufteilung nach Kostenstellen nicht sinnvoll erscheint, da diese im Abwasserbereich oftmals nicht genau ermittelbar sind. Die identifizierten Kostentreiber für das Referenzmodell werden unter Kapitel 5.2.2 dargestellt.

### **5.2.2. *Kostenkategorien des Referenzmodells für die Anwendung im Bereich Abwasser***

Abgeleitet aus den unter Kapitel 5.2.1 dargelegten Studien sowie den geführten Interviews konnten die für Kläranlagen wichtigen Kostenkategorien abgeleitet werden. Auf dieser Grundlage wurde das unter Kapitel 4.2 aufgeführte grundsätzliche Referenzmodell detailliert und an die spezifischen Anforderungen im Bereich Abwasser angepasst.

Hierbei konnten jeweils für die Installations-, Betriebs- und Deinstallationsphase ausgehend von den Kostenkategorien des grundsätzlichen Referenzmodells (dargestellt in Abbildung 4) typische Kostenkategorien identifiziert werden, welche nachfolgend dargestellt sind:

- **Personal**
  - Löhne und Gehälter  
In der Installationsphase insbesondere für Ingenieure und Arbeiter, in der Betriebsphase für Abwasseringenieure und Wartungstechniker, in der Deinstallationsphase für den Rückbau der Anlage
  - Sozialversicherungsabgaben
  - Schulungskosten (intern)  
Hauptsächlich in der Betriebsphase, insbesondere beim Austausch von Komponenten und der Installation neuer Verfahren oder Techniken
  - Sonstige  
Hierunter können vor allem in der Deinstallationsphase Kosten für Zeitarbeit fallen
- **Material**
  - Energiekosten  
Vor allem in der Betriebsphase zum Betrieb der Pumpen und Belüftungsbecken sowie der Rührwerke
  - Rohstoffe  
Vor allem Baumaterialien der Installationsphase
  - Hilfsstoffe  
Speziell Chemikalien und Fällmittel, welche in der Betriebsphase zum Einsatz kommen und in der Deinstallationsphase entsorgt werden müssen
  - Betriebsstoffe
  - Abfälle  
In der Betriebsphase fällt hierunter die Schlamm Entsorgung, in der Deinstallationsphase fallen Kosten für Baustoffe und andere Entsorgungskosten an
- **Bezogene Leistungen**
  - Gutachten und Beratung  
Hierunter fallen vor allem Konstruktion, Architektur und weitere Gutachten in der Installationsphase
  - Schulungskosten (extern)  
In der Installationsphase werden die Mitarbeiter auf ihren Einsatz zur Inbetriebnahme vorbereitet
  - Kosten Projektgesellschaft  
Fallen insbesondere in der Installationsphase an
  - Versicherungen  
Insbesondere Gewährleistungen in der Installationsphase und Versicherungen in der Betriebsphase in Hinsicht auf die Anlage und die Mitarbeiter
  - (externe) Ersatzleistungen für Ausfälle  
Fallen ggf. in der Betriebsphase bei einem Ausfall der Anlage an
  - Sonstige
- **Anlagen**
  - Grundstück  
In der Deinstallationsphase entstehen Kosten zur Grundstückswiederaufbereitung
  - Infrastruktur  
In der Installationsphase müssen Kanalsystem und -anschluss implementiert werden, in der Deinstallationsphase fallen Kosten für den Rückbau der Infrastruktur an

- Technische Anlagen und Maschinen  
Pumpwerk, Klärbecken, etc. werden in der Installationsphase erbracht, zudem müssen teilweise Komponenten während der Betriebsphase Instand gehalten und ersetzt werden
- Betriebs- und Geschäftsausstattung  
Ausstattung für die Verwaltung und Überwachung der Anlage
- Immaterielles Vermögen und Finanzanlagen
- Sonstige
- **Finanzierung**
  - Zinsen  
Anfall von Zinsen über den gesamten Lebenszyklus, insbesondere die Betriebsphase
  - Gebühren  
Insbesondere in der Installationsphase
  - Bearbeitungsentgelte  
Insbesondere in der Installationsphase
  - Sonstige
- **Steuern und Abgaben**
  - Umsatzsteuer
  - Gewerbesteuer
  - Körperschaftssteuer
  - Energie- und Stromsteuer
  - Kompensationszahlungen für Ausfälle
  - Abwasserabgabe  
Insbesondere in der Betriebsphase
  - Sonstige  
Entsorgungsgebühren für Sondermüll und ähnliches in der Deinstallationsphase

Aufgrund der hohen Varianz in der Ausgestaltung der Kläranlagen soll die vorstehende Auflistung allerdings nur als Beispiel verstanden werden. Die realen Kostenkategorien können von der aus-schreibenden Stelle für die spezifische Anlage je nach den vorherrschenden Gegebenheiten und Rahmenbedingungen angepasst werden.

Weiter ist anzumerken, dass die dargestellten Kostenkategorien für die Kläranlage keine abschließende Auflistung darstellen, sondern jederzeit durch weitere (Sub-) Kostenkategorien ergänzt werden können. Zudem ist vorgesehen, dass die jeweiligen Kostentreiber, welche den sechs Hauptkategorien Personal, Material, Bezogene Leistungen, Anlagen, Finanzierung sowie Steuerung und Abgaben zugeteilt sind, je nach Notwendigkeit für das Modell aktiviert oder deaktiviert werden können.

In diesem Zusammenhang ist der Vollständigkeit halber zu erwähnen, dass innerhalb der (Sub-) Kostenkategorien sowohl direkte als auch indirekte Kosten erfasst werden können.

### **5.3. Kennzahlen zum Vergleich von Anlagen**

#### **Energieeffiziente Entscheidungen treffen**

Das vorliegende Konzept des Referenzmodells zur Berechnung der Lebenszykluskosten bietet neben dem Vergleich der Wirtschaftlichkeit zweier Anlagen die Möglichkeit, Kennzahlen zu implementieren, welche als zusätzliche Entscheidungskriterien herangezogen werden können. Ferner können Kennzahlen zur Interpretation der Wirtschaftlichkeitsberechnung verwendet werden.

Vor dem Hintergrund, dass der Schwerpunkt des vorliegenden Projektes die Abbildung von Betriebskostenvorteilen aufgrund von Energieeffizienz ist, wurden im Rahmen des untersuchten Beispiels Energieeffizienzkriterien betrachtet.

Die Motivation, eine umweltverträgliche Entscheidung zu treffen, kann vielseitig sein. Zum einem erzeugen höhere Umweltbelastungen Folgekosten sowohl gesellschaftlich als auch für das Unternehmen selbst, beispielsweise durch staatlich auferlegten Umweltauflagen. Öffentliche Vergabestellen sehen sich natürlich auch mit einer sozialen Verantwortung konfrontiert, welche eine energieeffiziente Entscheidung verlangen kann. Diese Verantwortung wird durch Rahmenbedingungen und konkrete Zielvereinbarungen in der Energiepolitik untermauert. Auch Unternehmen berücksichtigen bei Investitionsentscheidungen vermehrt Aspekte der Energieeffizienz, da sich diese gleichfalls der Verantwortung stellen müssen (Corporate Social Responsibility). Als positiven Nebeneffekt kann eine energieeffiziente Entscheidung für ein Unternehmen ein wirksames Marketing Tool sein.

Weiterhin kann eine energieeffiziente Steuerung der Anlage die Folgen des Risikos steigender Strompreise (über die bei der Berechnung verwendeten Werte hinaus) minimieren. Zu bedenken ist auch, dass die sich aus der Energieeffizienz ergebenden Vorteile bei gesteigerter Auslastung der Anlage (z.B. in Zuzugsgebieten und Ballungsräumen) noch verstärken.

### Kennzahlen zur Messung der Energieeffizienz

Wichtig bei der Auswahl geeigneter Kennzahlen ist die Praktikabilität wie auch eine signifikante Aussagekraft der Kennzahlen. Entsprechend ist die Messbarkeit der Kennzahlen zu gewährleisten.

Innerhalb des Betriebs einer Kläranlage sind zwar eine Vielzahl von Komponenten oder Schnittstellen vorhanden an denen Energieeffizienz anhand von Kennzahlen gemessen werden kann, bisher allerdings fehlt es am konsequenten Einsatz zuverlässiger Energiemanagementsysteme, die an diesen Messpunkten zuverlässige Daten generieren können. Im Modell wurde der jährliche Verbrauch pro Einwohneräquivalent als praktikable und aussagekräftige Kennzahl identifiziert dessen Ermittlung auf messbaren Werten basiert (vgl. Tabelle).

Die Eingrenzung auf die Kennzahl kWh/(EW.a) soll allerdings nicht bedeuten, dass sofern in Zukunft zuverlässige Energiemanagementsysteme implementiert werden, keine weiteren Kennzahlen in das Modell integriert werden können. Voraussetzung ist allerdings immer, dass die Kennzahlen transparent und nachvollziehbar sind, um die Erfüllung der Praktikabilität wie auch die Aussagekraft der Kennzahlen und folglich die Qualität des Modells nicht zu gefährden.

### Aussagen der Kennzahl

Am konkreten Beispiel der Kläranlage ermöglicht die Kennzahl kWh/(EW.a) Aussagen über folgende Werte (Auszug):

Tabelle 1: Kennzahlen bei Wasser/ Abwasseranlagen

Kürzel	Wert	Berechnung	Formel
kWh/(EW.a)	Energieverbrauch pro versorgtem Einwohneräquivalent pro Jahr	[Stromverbrauch gesamt]/ [Einwohnerwert]	kWh/(EW.a)
$e_{ges}$	Spezifischer Stromverbrauch gesamt		$e_{ges} = \frac{E_{ges}}{EW_{CSB}}$
$e_{ext}$	Spezifischer externer Wärmebezug	[Stromverbrauch gesamt] – [Jahreseigenproduktion an Strom]	$e_{ext} = \frac{E_{therm}}{EW_{CSB}}$
$V_E$	Eigenversorgungsgrad Elektrizität		$V_E = \left(\frac{E_{KWK}}{E_{ges}}\right) * 100$

Quelle: Energieanalysen auf Abwasseranlagen – Vorstellung der Arbeiten der DWA-Arbeitsgruppe, S.7, DWA

Wie bereits ausgeführt können weitere Kennzahlen zur Evaluierung der Energieeffizienz in das Referenzmodell aufgenommen werden. Denkbar ist bspw. eine CO<sub>2</sub> Vermeidungskalkulation, bei der anhand des verwendeten Energiemixes der CO<sub>2</sub> Ausstoß berechnet wird. Darüber hinaus könnten auf dieser Grundlage – sofern gewollt – CO<sub>2</sub> Vermeidungskosten in das Referenzmodell Eingang finden (vgl. auch Kapitel 2, S.5).

## 5.4. Beschreibung der Beispielrechnung

### 5.4.1. Beschreibung des verwendeten Excel-Berechnungstools

Für die Beispielrechnung wurde das Konzept des Referenzmodells in ein Excel-Berechnungstool überführt. Neben einem Deckblatt ist es in Dateneingabeblätter, einem Berechnungsblatt, einem Blatt zur Auswertung und einem Blatt, in welchem Sensitivitätsanalysen durchgeführt werden, untergliedert.

Dabei sollen auf den Dateneingabeblättern die Anbieter wesentliche Angaben liefern und ggf. auch selbst eintragen. Hierbei ist für jede Investitionsalternative ein Eingabeblatt vorgesehen. In diesem werden zunächst die Dauern der Installations-, Betriebs- und Deinstallationsphase nach Jahren bzw. Perioden festgelegt. Der Anbieter hat daraufhin die Möglichkeit, die unter Kapitel 4.2 dargelegten Kostenkategorien zu aktivieren und für seine Eingaben zu nutzen. Für die aktivierten Kostenkategorien können in dem jeweiligen Jahr der Nutzungsdauer die Nettowerte der anfallenden Kosten eingetragen werden. Für die deaktivierten Kostenkategorien ist die Eingabe nicht möglich.

Zum Vergleich der alternativen Projekte wird von der ausschreibenden Stelle im Blatt Berechnungen der Diskontierungszinssatz festgelegt. Zudem kann hier festgelegt werden, wie viele Anlagen der jeweiligen Alternative vorgehalten werden müssen. Anhand dieser Informationen werden auf demselben Tabellenblatt die Barwerte und Annuitäten der Projekte ermittelt. Das Tabellenblatt Auswertung dient

dazu, die verschiedenen Projektalternativen vergleichbar zu machen. So wird hier eine unterschiedliche Projektdauer harmonisiert. Auch besteht hier die Möglichkeit sich die Lebenszykluskosten und Annuitäten pro versorgten Einwohner anzeigen zu lassen, sollten diese verschieden sein. Grafisch aufbereitet werden jeweils bei harmonisierter Projektlaufzeit die Lebenszykluskosten und die Lebenszykluskosten über einzelne Phasen sowie darüber hinaus die jährliche Annuität sowie der Barwert der Lebenszykluskosten für die verschiedenen Projektalternativen gegenübergestellt.

Zudem wird im Blatt Auswertung eine Sensitivitätsanalyse zu den Diskontierungssätzen und Kostenkategorien ausgegeben, in welcher die ausschreibende Stelle den Diskontierungszinssatz variieren sowie Kostenkategorien prozentual stärker gewichten kann. Die Auswirkung wird tabellarisch als auch grafisch anhand einer Break-Even Analyse dargestellt. Das Tabellenblatt Sensitivitäten dient in erster Linie der Berechnung dieser.

#### **5.4.2. Darstellung der Beispielrechnung**

##### **Disclaimer**

Deloitte hat das Modell in enger Abstimmung mit dem Mandant auf Basis der Auftragsvereinbarung vom 28. September 2010 sowie Diskussionen und Präzisierungen im Projektverlauf entwickelt, welche in dem Konzeptpapier (Stand 29. März 2011) festgehalten werden. Die im Modell enthaltenen Eingabedaten wurden gemeinsam mit dem Mandanten erarbeitet – teils aus vom Mandanten zur Verfügung gestellten Daten und teils aus gemeinsam mit dem Mandanten getroffenen Annahmen über vorliegende Daten, welche von Deloitte nicht überprüft worden sind – und stellen allein Beispielszenarien ohne Anspruch auf Allgemeingültigkeit dar.

Das Modell stellt eine nicht auditierte Version, sowie einen ungeprüften Zwischenstand dar.

Weder Deloitte, noch Deloitte Touche Tohmatsu Limited („DTTL“), noch eines der Mitgliedsunternehmen von DTTL oder eines der Tochterunternehmen der vorgenannten Gesellschaften (insgesamt das „Deloitte Netzwerk“) erbringen mittels der Veröffentlichung dieses Modells professionelle Beratungsleistungen an etwaige Verwender des Modells.

Das Modell stellt keinen Ersatz für entsprechende professionelle Beratungs- oder Dienstleistungen dar und soll auch nicht als Grundlage für geschäftliche Entscheidungen oder Handlung dienen. Bevor Entscheidungen getroffen oder Handlung vorgenommen werden, die Auswirkungen die finanzielle oder geschäftliche Auswirkungen haben könnte, sollten ein qualifizierter Berater aufgesucht werden. Keines der Mitgliedsunternehmen des Deloitte Netzwerks ist verantwortlich für Verluste jedweder Art, die irgendjemand durch die Verwendung dieses Modell erlitten hat.

Deloitte wird keine Beurteilung vornehmen, in wieweit die tatsächlich erzielten Ergebnisse mit den gemachten Vorhersagen auf Basis des Modells übereinstimmen werden.

Das Modell sollte nur von Anwendern mit ausreichender Kenntnis, sowohl der Lebenszykluskostenanalyse als auch von Microsoft® Excel und des Modells verwendet werden.

Das Modell und die einzelnen Berechnungsabschnitte, aus denen das Modell zusammengesetzt ist, wurden nicht in Hinblick auf einzelne Interessen oder Umstände der Verwender erstellt.

Gemäß der mit dem Mandanten vereinbarte Auftragsvereinbarung vom 28. September 2010 finden die Allgemeinen Auftragsbedingungen für Wirtschaftsprüfer- und Wirtschaftsprüfungsgesellschaften in der Fassung vom 1. Januar 2002 Anwendung. Die Haftung ist auf eine Gesamthaftungshöchstsumme von EUR 5.000.000 begrenzt.

Für den ZVEI gilt: Trotz sorgfältiger Recherche der Grunddaten und größter Sorgfalt bei der Erarbeitung des Modells übernimmt der ZVEI keine Haftung für die Ergebnisse des Berechnungsinstruments.

##### **Beschreibung der Beispielrechnung**

###### *Datenbasis*

Um das Referenzmodell an dem Beispiel einer Kläranlage mit möglichst realen Daten durchzurechnen wurde auf der Grundlage der im Internet frei zugänglichen Haushaltspläne des Abwasserverbandes Raum Katlenburg eine Referenzanlage konzeptioniert.<sup>16</sup> Es ist deutlich herauszustellen, dass das gerechnete Beispiel lediglich an die Anlage in Katlenburg angelehnt wurde, nicht jedoch diese Anlage

<sup>16</sup> Quelle: Abwasserverband Raum Katlenburg; <http://www.katlenburg-lindau.de/> [Stand: 22. Januar 2011]

exakt abbildet. Hierzu wurden die für den Abwasserverband real entstandenen Aufwendungen der Jahre 2002 bis 2008 zunächst in die Kostenkategorien des Referenzmodells überführt und daraufhin in das Berechnungsmodell eingegeben (vgl. Abbildung 8). Da bei einer Kläranlage von einer Nutzungsdauer von 20 Jahren ausgegangen werden kann, wurden für die fehlenden Jahre die Planzahlen für das Jahr 2009 für die nachfolgenden Jahre unter den folgenden Annahmen fortgeschrieben:

- Für die Löhne und Gehälter wurde eine durchschnittliche Steigerung von 3% pro Jahr angenommen
- Die Energiekosten wurden – abgeleitet aus der durchschnittlichen Entwicklung der Strompreise der letzten zehn Jahre in Deutschland<sup>17</sup> – um 5,7% pro Jahr erhöht
- Die Kostenkategorien Zinsen, Körperschaftssteuer und Sonstige Steuern und Abgaben wurden über die Jahre als konstant angenommen
- Alle übrigen Kostenkategorien wurden – angelehnt an die Inflationsrate über die vergangenen Jahre in Deutschland<sup>18</sup> – um 2% pro Jahr erhöht

Dabei ist allerdings nochmals anzumerken, dass die Daten der Anlage Katlenburg lediglich als Basis herangezogen wurden, um für das Referenzbeispiel ein Szenario zu entwickeln, welches als realitätsnah bezeichnet werden kann. Die aus der Beispielrechnung entnommenen Ergebnisse lassen sich nicht unmittelbar auf eine existierende Anlage übertragen. Hierzu wäre eine detaillierte Analyse auf der Grundlage der konkreten Daten der Anlage (Struktur, Technik, Kosten und Kennzahlen erforderlich).

Nachstehende Abbildung zeigt einen Ausschnitt aus dem Berechnungstool, welcher das Beispielszenario abbildet (Projekt 1).

Abbildung 9: Eingabe der Daten für das Investitionsprojekt

ZVEI Investitionsprojekt 1		Jahr der Nutzung					
daten		1	2	3	4	5	6
Phase		Installationsphase	Betriebsphase	Betriebsphase	Betriebsphase	Betriebsphase	Betriebsphase
<b>Allgemeine Prämissen</b>							
<b>Nummer des Investitionsprojekts</b>	1						
Name des Investitionsprojekts	Projekt von minderer Energieeffizienz						
Anbieter							
<b>Leistung je Anlage (TBD)</b>	100						
<b>Nutzungsdauer (Jahre)</b>	20						
Installationsphase (Jahre)	1						
Betriebsphase (Jahre)	19						
Deinstallationsphase (Jahre)	0						
<b>Kostentreiber</b>							
<b>Personal</b>	Kostentreiber aktivieren						
Löhne und Gehälter	Ja		149.000,0	153.000,0	154.600,0	118.000,0	117.000,0
Sozialversicherungsabgaben	Ja						
Schulungskosten (intern)	Ja						
Sonstige	Ja		600,0	700,0	600,0	700,0	600,0
<b>Personal gesamt</b>		-	<b>149.600,0</b>	<b>153.700,0</b>	<b>154.600,0</b>	<b>118.700,0</b>	<b>117.600,0</b>
<b>Material</b>							
Energiekosten	Ja		87.000,0	108.000,0	96.000,0	101.000,0	114.000,0
Rohstoffe	Ja						
Hilfsstoffe	Ja		15.000,0	13.000,0	15.000,0	17.000,0	13.000,0
Betriebsstoffe	Ja		26.000,0	35.000,0	24.000,0	26.000,0	26.000,0
Abfälle	Ja		71.000,0	80.000,0	76.000,0	67.000,0	60.000,0
<b>Material gesamt</b>		-	<b>199.000,0</b>	<b>236.000,0</b>	<b>211.000,0</b>	<b>211.000,0</b>	<b>213.000,0</b>
<b>Bezogene Leistungen</b>							
Gutachten und Beratung	Ja		23.000,0	19.000,0	31.000,0	16.000,0	19.000,0
Schulungskosten (extern)	Ja						
Kosten Projektgesellschaft	Ja						
Versicherungen	Ja		9.000,0	9.000,0	9.000,0	9.000,0	9.000,0
(externe) Ersatzleistungen für Ausfälle	Ja						
Sonstige	Ja		1.000,0	1.000,0	2.000,0	2.000,0	2.000,0
<b>Bezogene Leistungen gesamt</b>		-	<b>33.000,0</b>	<b>29.000,0</b>	<b>42.000,0</b>	<b>27.000,0</b>	<b>30.000,0</b>
<b>Anlagen</b>							
Grundstück	Ja						
Infrastruktur	Ja		19.000,0	30.000,0	25.000,0	11.000,0	11.000,0
Technische Anlagen und Maschinen	Ja	9.429.000,0	32.000,0	36.000,0	34.000,0	41.000,0	25.000,0
Betriebs- und Geschäftsausstattung	Ja		3.000,0	3.000,0	4.000,0	3.000,0	3.000,0
Immaterielles Vermögen und Finanzanlagen	Ja						
Sonstige	Ja						
<b>Anlagen gesamt</b>		<b>9.429.000,0</b>	<b>54.000,0</b>	<b>69.000,0</b>	<b>63.000,0</b>	<b>55.000,0</b>	<b>39.000,0</b>

Quelle: Deloitte

<sup>17</sup> Quelle: Statistisches Bundesamt Deutschland

<sup>18</sup> Quelle: Statistisches Bundesamt Deutschland

Zur Ermittlung der Investitionssumme wurde mangels weiterer Daten auf die Kosten des laufenden Betriebs zurückgegriffen. Daraus folgend wurde für die Annahme der Kosten in der Installationsphase, die aus der Bilanz und den Abschreibungsaufwendungen abgeleiteten bilanzierten Anlagewerte als Investitionssumme angenommen. Aufgrund des Mangels an weiteren Kostendaten, konnten über diese Werte hinaus keine Kosten für die Installationsphase angenommen werden.

Die Kosten der Betriebskostenphase wurden aus den zugänglichen Haushaltsplänen abgeleitet.

Aufgrund fehlender Datenlage konnte für die Projekte keine Kosten für eine etwaige Deinstallationsphase angesetzt werden. Aus diesem Grund wurden die Projekte ohne Deinstallationskosten geplant.

Da das Referenzmodell im Kontext des Vergleichs von verschiedenen Investitionsalternativen für dieselbe Anlage im Rahmen von Vergabeprozessen genutzt werden soll, wurden als Basis für das alternative Investitionsprojekt (Projekt 2) ebenfalls die gleichen Daten herangezogen.

Neben den eingegebenen Kostendaten wurde von einem Diskontierungszinssatz von drei Prozent ausgegangen. Dieser leitet sich aus dem Abgleich von durch staatliche Akteure verwandten Diskontierungszinssätze ab. Entsprechend wurde die Empfehlung des Ministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung zugrundegelegt und ein Risikoaufschlag von 0,2% angenommen.

Der voreingetragene Wert versteht sich jedoch als Vorschlag und kann von der Vergabestelle jederzeit geändert werden.

Verglichen werden sollen ein Investitionsvorhaben, welches eine existierenden Installation mit Rückschlagklappe betrachtet, keine Steuerung der Belüftung beinhaltet und Standard-Motoren für die Belüfter und Kompressoren vorhält (Projekt 1) mit einem Vorhaben, in welchem energieeffiziente Komponenten installiert sind (Projekt 2). Das energieeffiziente Projekt verfügt dabei über die folgenden Komponenten:

- Im Pumpensystem werden Schieber eingesetzt, die pneumatisch angetrieben werden und die Funktion der Rückschlagklappe übernehmen; zudem sind pneumatischen Antrieben vorgesehen (Festo)
- Für die Kompressoren und Walzenbelüfter werden Energiesparmotoren eingesetzt (Siemens)
- Für das Belebungsbecken wird eine ISE-basierende<sup>19</sup> Regelung installiert (Endress + Hauser)

Für die in Projekt 2 implementierten energieeffizienten Komponenten und Maßnahmen wurden auf der Grundlage der von Festo, Siemens und Endress+Hauser zur Verfügung gestellten Daten folgende Grundannahmen getroffen:

- Die Anlage versorgt 23.000 Einwohneräquivalente. Hieraus folgt ein spezifischer Gesamtenergieverbrauch der Kläranlage von 46 kWh/EW.a
- Aus der Annahme, dass der Anteil der Biologie ca. 55 % der Gesamtenergiekosten ausmacht, folgt ein "spezifischer Gesamtenergieverbrauch in der Belebung" von 25 kWh/EW.a
- Ziel ist die Reduzierung des spezifischen Stromverbrauches in der Belüftung von 25 kWh/EW.a auf 16,5 kWh/EW.a (Ermittelter Mittelwert der DWA für Kläranlagen der Größenklasse 4 (10.000 – 100.000 EW.a) bezogen auf den Verbrauch der Belebungsbecken)
- Es wird zunächst generell ein Strompreis von EUR 0,15 je Kilowattstunde angenommen; ab der Periode 11 steigt sich der angenommene Preis pro Jahr um 5,7%
- Für die Pumpen wird ein Energieverbrauch von durchschnittlich EUR 35.000 pro Jahr angenommen
- Die Jahresnutzungsdauer der Pumpen entspricht 8.760 Stunden
- Der Anteil der Getriebe am Gesamtenergieverbrauch entspricht 90%

Als Initialinvestitionen wurden angenommen:

- ISE-Regelung (insgesamt EUR 35.000):
  - Neue Messstellen für Sauerstoff, Ammonium und Nitrat inkl. Halterungen, Kabel, Inbetriebnahme für 2 Becken: EUR 20.000
  - Implementierung der Regelung in SPS: EUR 4.000
  - Steuereinheit / Softwarepaket : EUR 10.000
  - Montage: EUR 1.000
- Motoren / Kompressoren (insgesamt EUR 2.190). Angenommen wurden die Mehrkosten bei der Anschaffung, welche beim Austausch von Standard-Motoren IE1 gegen Energiesparmotoren IE2 entstehen. Diese betreffen:

---

<sup>19</sup> ISE: Ionenselektive Elektroden

- 4 installierte Antriebe für Walzenbelüfter, welche Mehrkosten von je EUR 380 gegenüber der Anschaffung von Standardmotoren bedeuten (Gesamtmehrkosten in Höhe von EUR 1.520)
- 2 installierte Antriebe für Kompressoren, welche Mehrkosten von je EUR 335 gegenüber der Anschaffung von Standardmotoren bedeuten (Gesamtmehrkosten in Höhe von EUR 670)
- Kosten für Pumpsysteme in Höhe von EUR 2.250

Zudem sind bei der ISE Regelung folgende Nachrüstungen über 20 Jahre notwendig (dargestellt unter den Technischen Anlagen und Maschinen):

- Ersatzteilkosten jährlich in Höhe von EUR 400
- Ein Sensorenwechsel alle 7 Jahre mit Kosten in Höhe von EUR 3.600
- Ein Transmitterwechsel alle 10 Jahre mit Kosten in Höhe von EUR 2.000

Hieraus ergeben sich die unter Ergebnis fortfolgend dargestellten Werte. Nicht geprüft wurde, ob die in der Praxis beobachtete Energieeinsparung auf der Referenzanlage, welche auf der Grundlage von Katlenburg erstellt wurde, tatsächlich auf die Referenzanlage übertragen werden kann. Es wurde hier lediglich mit Annahmen gearbeitet.

## Ergebnis

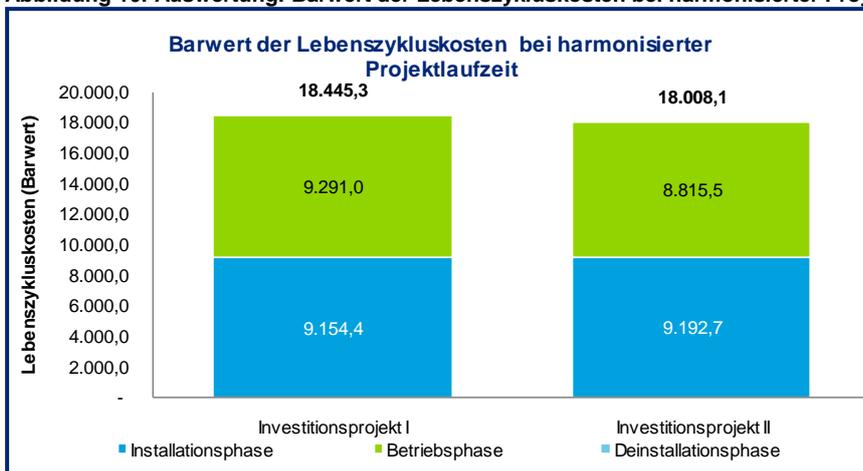
Im Rahmen der Berechnung und Auswertung werden anhand des Referenzmodells die Nettoausgaben der jeweiligen Perioden diskontiert. Als Ergebnis konnten folgende Barwerte und Annuitäten für das Gesamtprojekte sowie Barwerte für die Energiekosten ermittelt werden:

- Barwerte
  - Investitionsprojekt 1: EUR 18.445.344,80
  - Investitionsprojekt 2: EUR 18.009.229,20
- Annuitäten
  - Investitionsprojekt 1: EUR 1.239.816,90
  - Investitionsprojekt 2: EUR 1.210.503,10
- Energiekosten
  - Investitionsprojekt 1: EUR 2.214.416,10
  - Investitionsprojekt 2: EUR 1.722.344,10 (28,6% Energieeinsparung)

### 5.4.3. Interpretation des Referenzmodells und der Beispielrechnung

Im Tabellenblatt Auswertung lassen sich die verschiedenen Ergebnisse des Alternativenvergleichs analysieren. Hierbei werden nochmals die verschiedenen Barwerte und Annuitäten grafisch aufbereitet. In der nachfolgenden Abbildung sind die Barwerte der Investitionsprojekte gegenüber gestellt.

Abbildung 10: Auswertung: Barwert der Lebenszykluskosten bei harmonisierter Projektlaufzeit

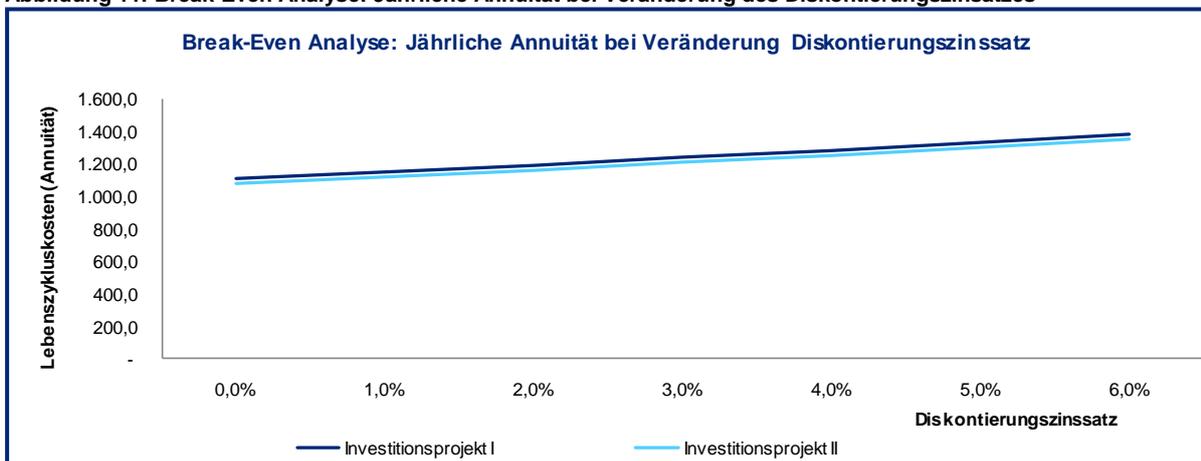


Quelle: Deloitte

Im Rahmen der Auswertung des Referenzmodells soll sich die Sensitivitätsanalyse zunächst auf die Sensitivierung der Diskontierungssätze und der Kostentreiber beschränken.

Eine Sensitivierung des Diskontierungszinssatzes ergab für das vorliegende Referenzbeispiel keine Abhängigkeit vom Zinssatz (siehe Abbildung 11). So ist festzuhalten, dass die energieeffiziente Variante (Projekt 2) bei den vorliegenden Daten trotz höherer Anschaffungskosten unabhängig vom Zinssatz die ökonomischere Alternative darstellt.

Abbildung 11: Break-Even Analyse: Jährliche Annuität bei Veränderung des Diskontierungszinssatzes



Quelle: Deloitte

## 6. Übertragbarkeit – Anwendungsbreite zur Abbildung von Energieeffizienz

Zur allgemeinen Steigerung der Akzeptanz des Referenzmodells und zum Anstoßen einer generellen Diskussion über die Implementierung des Lebenszykluskostenansatzes im Rahmen von Vergabeverfahren ist es notwendig, dass das entwickelte Referenzmodell eine möglichst breite Stakeholdergruppe adressiert. Aus diesem Grund ist zu reflektieren, ob das vorgeschlagene Konzept eines Referenzmodells auf alternative Anwendungsfälle und Industrien übertragen werden kann.

Die Übertragbarkeit ergibt sich dabei zunächst aus dem gewählten dreiphasigen Aufbau aus Installations-, Betriebs- und Deinstallationsphase, welcher sich auf jedes Investitionsprojekt übertragen lässt. Die Orientierung an den Kostenkategorien der betriebswirtschaftlichen Rechnungslegung ermöglicht es Akteuren aus jeder Branche, das Modell auf den eigenen Anwendungsfall zu übertragen.

Hierfür ist es jedoch erforderlich, die ausschlaggebenden Kostentreiber zu identifizieren und im Referenzmodell zu detaillieren. Allerdings kann durch die Zuteilung der jeweiligen Kostentreiber zu den bestehenden Kostenkategorien sehr kurzfristig eine Adaption des Referenzmodells erfolgen. Auch ist es nicht zwingend erforderlich, alle Kostenkategorien zu detaillieren, sondern lediglich jene, welche für die Investitionsentscheidung von besonderer Bedeutung sind.

So sollen nachfolgend kurz die für eine Biogasanlage wichtigen Kostenpositionen einigen Kostenkategorien des Referenzmodells zugeteilt werden:

- **Personal**
  - Löhne und Gehälter  
In der Betriebsphase Ingenieure und Wartungstechniker sowie landwirtschaftliche Mitarbeiter
- **Material**
  - Energiekosten  
Zum Betrieb der Betriebs- und Geschäftsausstattung
  - Rohstoffe  
Nachwachsende Rohstoffe
  - Hilfsstoffe  
Motoröl, Zündölkosten
- **Bezogene Leistungen**
  - Gutachten und Beratung  
Emissionsmessungen
  - Versicherungen  
Versicherungen in der Betriebsphase
- **Anlagen**
  - Infrastruktur  
Lagerfläche Nachwachsende Rohstoffe
  - Technische Anlagen und Maschinen  
Fermenter und Nachgärbehälter, BHKW
- **Finanzierung**
  - Zinsen
  - Gebühren
- **Steuern und Abgaben**
  - Gewerbesteuer
  - Körperschaftssteuer
  - Energie- und Stromsteuer

Allerdings ist hierbei anzumerken, dass es zum vollständigen Entwurf eines Referenzmodells einer detaillierten Analyse der Kostentreiber einer Biogasanlage bedarf und dass die hier angegebenen Positionen lediglich einen kurzen Überblick über die generellen Übertragungsmöglichkeiten des Grundmodells geben sollen.

Zudem kann das Referenzmodell zu einem späteren Zeitpunkt auch für privatwirtschaftliche Anwendungen in der Automatisierungstechnik oder für weitere Branchen spezifiziert werden. Es ist insgesamt keine Einschränkung des Anwendungsgebietes auf den öffentlichen Bereich ersichtlich, da das Referenzmodell offen und flexibel ausgestaltet ist. Auch dem Detaillierungsgrad sind keine Grenzen gesetzt.

## 7. Fazit

Der öffentlichen Hand kommt beim Vorantreiben des Themas Energieeffizienz eine Vorbildfunktion zu. Insofern ist es natürlich, dass auch die Verankerung des Ansatzes der Lebenszykluskosten im Interesse der öffentlichen Vergabestellen liegt.

Aus diesem Grund wird mit dem vorliegenden Konzeptpapier ein Angebot für ein mögliches Standard- bzw. Referenzmodell unterbreitet, welches die praktikable, transparente und reversionssichere Einbeziehung von Lebenszykluskosten in die Vergabeentscheidung ermöglicht. Auch wenn das vorliegende Konzept zunächst für den Bereich der Automatisierungstechnik entwickelt und in diesem Kontext anhand des Beispiels „Kläranlage“ getestet wurde, ist es aufgrund seines anwendungsunabhängigen Aufbaus auf andere Anwendungsfälle und Industrien übertragbar.

Dabei greift das Referenzmodell über den Ausweis der Energiekosten und der prozentualen Einsparung die Anforderung der Anreizverträglichkeit auf und setzt über die Ausgabe von Kennzahlen sowie über die Eingabemöglichkeit von verbrauchten Kilowattstunden einen Schwerpunkt auf die wirtschaftliche Abbildung von Energieeffizienz.

Aufgrund des Einbezugs von Betriebskosten in die Investitionsentscheidung wird ein wirksamer Hebel zur Verfügung gestellt, um neben anderen Kriterien auch die Kriterien Energieeffizienz und Umweltverträglichkeit in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einzubeziehen. In der Konsequenz ist das Vergabekriterium „Energieeffizienz“ kein „Sofffaktor“ mehr sondern wird quantifiziert. Somit wird der bereits aufgezeigten politischen Zielstellung Rechnung getragen, um zum einen die gesteckten Klimaschutzziele zu erreichen und zum anderen „grüne“ und innovative Technologien zu fördern, ohne jedoch von Außen auf den Vergabeprozess politisch einzuwirken. Insofern wird es ermöglicht, den bestehenden Spielraum, den das Vergaberecht bereits heute einräumt, auszunutzen.

Die hohe Transparenz des Modells – u.a. durch den Verzicht auf die Nutzung von Eingabemasken – stellt eine Nutzung im Vergaberecht sicher und schafft dadurch auch Akzeptanz bei den Vergabestellen. Über die Einbeziehung von bestehenden Modellen ist diese auch bei anderen Verbänden und weiteren Stakeholdern gegeben.

Zusammenfassend wurde mit dem vorliegenden Referenzmodell ein wirksames Instrument entwickelt, welches helfen kann über die Anwendung des Lebenszykluskostenansatzes den Energieeffizienzgedanken im öffentlichen Auftragswesen stärker zu implementieren. Auf der Grundlage des vorliegenden Entwurfes ist es das Ziel des ZVEI eine Diskussion mit den relevanten Akteuren anzustoßen, um das Referenzmodell gemeinsam weiterzuentwickeln und zu verankern.

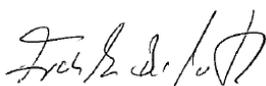
Im Ergebnis ihrer Arbeit hat die Arbeitsgruppe TCO des ZVEI zum einen aufgezeigt

- welche konkreten Energieeinsparungspotentiale bei Kläranlagen im Grundsatz bestehen und
- welche Maßnahmen der Automatisierungstechnik im speziellen bestehen bzw. genutzt werden können.

Zum anderen wurde das entwickelte Referenzmodell anhand eines konkreten Beispielfalls getestet, welches die Lebenszykluskosten ausweist und damit eine Gesamtbetrachtung des Investitionsvorhabens ermöglicht. Es wurde hierbei der wirtschaftliche Effekt von Energieeffizienz nicht nur für die Gesamtinvestition gespiegelt sondern auch das Einsparungspotential separat ausgeführt.

Hamburg, den 29. März 2011

**Deloitte & Touche GmbH**  
Wirtschaftsprüfungsgesellschaft



Frank Burkert



ppa. Kerstin Dreizner