

**Forschungs- und Entwicklungsvorhaben**

***"Weiterentwicklung und Eichung  
der Instrumente zur kostenorientierten  
Optimierung der öffentlichen und  
industriellen Abwasserbeseitigung  
am Beispiel einer Kommune in NRW"***

**KURZBERICHT****Mai 2005**

**Forschungs- und  
Entwicklungsvorhaben:**

„Weiterentwicklung und Eichung der Instrumente zur kostenorientierten Optimierung der öffentlichen und industriellen Abwasserbeseitigung am Beispiel einer Kommune in NRW“

**Auftraggeber:**

Ministerium für Umwelt und Naturschutz,  
Landwirtschaft und Verbraucherschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV)  
Schwannstraße 3  
40476 Düsseldorf

**Auftragnehmer:**

Fachhochschule Köln  
Claudiusstraße 1  
50678 Köln  
Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Rainer Feldhaus

**mit den  
Kooperationspartnern:**

IWB Gemeinnütziges Institut Wasser und Boden e.V.  
Bonn – Sankt Augustin – Siegen  
Oelgartenstraße 18  
53757 Sankt Augustin  
Projektleitung: Dr.-Ing. Jörg Strunkheide  
Bearbeitung: Dipl.-Ing. Mario Seibert  
Dipl.-Ing. Marcus Rasel

**und dem**

Ruhrverband  
Kronprinzenstraße 37  
45128 Essen  
Technische Variantenplanung für die  
Teileinzugsgebiete einer Kommune in NRW  
Projektleitung: Dipl.-Ing. Peter Lemmel  
Bearbeitung: Dipl.-Ing. Klaus Lenkewitz  
Dipl.-Ing. Andreas Böhnen

**Projektbegleitung:**

Abwasserinitiative Südwestfalen

Sankt Augustin:

Mai 2005

---

Dr.-Ing. Jörg Strunkheide  
(Vorsitzender und Geschäftsführer des IWB)

# Vorwort

Im Rahmen des im Februar 2002 abgeschlossenen Projektes

*„Handlungsmöglichkeiten zur kostenorientierten Optimierung  
der öffentlichen und industriellen Abwasserbeseitigung  
unter Berücksichtigung der geltenden Umweltstandards“*

wurden durch eine Analyse vorhandener sowie fiktiver Wirksysteme aus Abwasserproduzenten und Abwasserbeseitigungspflichtigen erste Schritte in Richtung eines ganzheitlichen Analyse- und Planungsinstruments unternommen, dessen Methoden und Handlungsempfehlungen es hier an Praxisbeispielen zu eichen und weiterzuentwickeln galt.

In Kooperation mit der Fachhochschule Köln, unter Leitung von Professor Dr.-Ing. Rainer Feldhaus, sowie dem Ruhrverband konnte im Rahmen des aktuellen Projektes

*„Weiterentwicklung und Eichung der Instrumente  
zur kostenorientierten Optimierung der öffentlichen und industriellen Abwasserbeseitigung  
am Beispiel einer Kommune in NRW“*

eine Lösung auf der Grundlage von praxisnahen Fallbeispielen gemeinschaftlich erarbeitet werden.

Die detaillierten Ergebnisse wurden mit dem Abschlussbericht vom Mai 2005 übergeben. Der vorliegende Kurzbericht fasst die wesentlichen Aussagen dieses Berichtes zusammen.

Der Abschlussbericht sowie die Kurzfassung wurden vom IWB Institut Wasser und Boden e.V. in Sankt Augustin unter Leitung von Dr.-Ing. Jörg Strunkheide erstellt. Ferner wurde das im Bericht vorgestellte Berechnungsmodul zusammen mit einem Anwendungsleitfaden hier entwickelt.

Begleitet wurde das Projekt durch den Beirat der Abwasserinitiative Südwestfalen.

Allen Projektbeteiligten sowie den teilnehmenden Kommunen und Industriebetrieben sei an dieser Stelle für ihre Unterstützung gedankt.

Das Forschungsvorhaben wurde vom Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen finanziell gefördert.

Sankt Augustin, im Mai 2005

Dr.-Ing. Jörg Strunkheide  
(IWB Sankt Augustin)

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b><i>Veranlassung und Zielsetzung</i></b> _____	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b><i>Ausgangssituation</i></b> _____	<b>1</b>
<b>1.2</b>	<b><i>Abgrenzung und Zielsetzung des (Nachfolge-)Projektes</i></b> _____	<b>2</b>
<b>2</b>	<b><i>Definition der verwendeten Bezeichnungen</i></b> _____	<b>4</b>
<b>3</b>	<b><i>Entwickelte Methodik im ersten Projekt</i></b> _____	<b>6</b>
<b>4</b>	<b><i>Anwendung der Handlungsinstrumente auf die Problemstellung der Kommune 5</i></b> _____	<b>12</b>
<b>5</b>	<b><i>Ergebnisse der Untersuchung in den Projektabschnitten A und B</i></b> _____	<b>14</b>
<b>5.1</b>	<b><i>Variantenbetrachtung getrennt nach den Projektabschnitten A und B</i></b> _____	<b>14</b>
<b>5.2</b>	<b><i>Darstellung und Beurteilung der Fallbeispiele im Vergleich von Projektabschnitt A und B und Interpretation im Hinblick auf den rechenmodellgestützten Anwendungsleitfaden</i></b> _____	<b>15</b>
5.2.1	<i>Vergleichende Betrachtung</i> _____	15
5.2.2	<i>Interpretation der Ergebnisse der Fallbeispieluntersuchung im Hinblick auf den rechenmodellgestützten Anwendungsleitfaden</i> _____	15
<b>6</b>	<b><i>Ausblick</i></b> _____	<b>18</b>

## Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 3.1:	SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DES WIRKSYSTEMS AUS ABWASSERPRODUZENTEN (SEKTOR I), ABWASSERABLEITER (SEKTOR II) UND ABWASSERBEHANDLER (SEKTOR III) .....	7
ABBILDUNG 3.2:	SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER FIXEN, QUASI-FIXEN UND VARIABLEN KOSTEN .....	8
ABBILDUNG 3.3:	SCHEMATISCHE DARSTELLUNG EINER SPRUNGFUNKTION.....	9
ABBILDUNG 3.4:	SCHEMATISCHE DARSTELLUNG EINER KOSTENFUNKTION MIT KNICK .....	9

## Verzeichnis der wichtigsten Abkürzungen

Abkürzung	Erläuterung
$X_i$	Einflussgröße $i$
$X_{Qi}$	industrielle Abwassermenge [ $m^3/a$ ]
$X_E$	angeschlossene Einwohner [EW]
$X_{Ared}$	abflusswirksame Fläche [ $m^2$ ]
$K^I(X_i)$	Jahreskosten im Sektor I (Abwassererzeuger) als Funktion von $X_i$ [€/a]
$K^{II}(X_i)$	Jahreskosten im Sektor II (Abwasserableiter) als Funktion von $X_i$ [€/a]
$K^{III}(X_i)$	Jahreskosten im Sektor III (Abwasserbehandler) als Funktion von $X_i$ [€/a]
$K_{ges.}(X_i)$	Gesamtkosten ( $K^I(X_i) + K^{II}(X_i) + K^{III}(X_i)$ ) als Funktion von $X_i$ [€/a]
$\Delta K$	Kostensprung [€/a]
FK	Fixkosten [€/a]
VK	variable Kosten [€/a]
SW	Schmutzwasser
RW	Regenwasser
A	Ausgangszustand
S	Schwellenwert
FKP	Fixkostenpauschale bei der Kostenumlage [€/a]
VKG	variable Kostenanteile bei der Kostenumlage [€/a]
VG	spezifische variable Gebühr [€/m <sup>3</sup> ]

# 1 VERANLASSUNG UND ZIELSETZUNG

## 1.1 AUSGANGSSITUATION

Im Rahmen des F&E-Vorhabens „Handlungsmöglichkeiten zur kostenorientierten Optimierung der öffentlichen und industriellen Abwasserbeseitigung unter Berücksichtigung der geltenden Umweltstandards“ (Berichtslegung Februar 2002) wurden die Wirkmechanismen und Interdependenzen unterschiedlicher Systeme aus Abwasserproduzenten, Abwasserableitern und Abwasserbehandlern untersucht. Ziel war es, ein ganzheitliches Analyse- und Planungsinstrument zur Abstimmung der denkbaren technischen Maßnahmen zu entwickeln, um die Abwasserkosten zu senken. Hierzu gehören:

- Die Aufteilung der Zahllasten in fixe, quasi-fixe und variable Kosten für jeden Sektor (Abwasserproduzenten – Sektor I, Abwasserableiter – Sektor II, Abwasserbehandler – Sektor III)
- Ermittlung der Einflussgrößen und deren systematische Veränderung im eindimensional betrachteten Variationsraum
- Ableitung linearer, sektoral getrennter Kostenfunktionen zur Darstellung der Systemreaktionen bei Veränderung der Einflussgrößen
- Ermittlung der Rückwirkungen (Gebühren, Umlage) aus der monetären Belastungsänderung, getrennt nach Sektoren
- Addition der getrennten Kostenfunktion zur Ermittlung des Gesamtkostenoptimums/-minimums
- Theoretische Überlagerung der Einflüsse in einer mehrdimensionalen Betrachtung zur Ermittlung des zeitlichen Einflusses auf das Wirksystem
- Ableitung von Handlungsempfehlungen.

Die Ergebnisse waren aus der Analyse praktischer Fallbeispiele ermittelt worden. Erweitert wurden sie durch theoretische Planspiele, in denen die beteiligten Unternehmen fiktiv in andere Kommunen verlagert wurden.

## **1.2 ABGRENZUNG UND ZIELSETZUNG DES (NACHFOLGE-)PROJEKTES**

Diese, aus der theoretischen Analyse stammenden Handlungsabläufe und -instrumente galt es nun in dem vorliegenden Projekt an praktischen Problemstellungen zu eichen und weiterzuentwickeln.

### **Projektbericht**

Als Mitglied der Abwasserinitiative Südwestfalen hatte sich die Kommune 5 bereiterklärt, an der Eichtung und Weiterentwicklung der Instrumente zur ganzheitlichen Kostenoptimierung mitzuwirken.

Das Gebiet der Kommune mit seinen rund 67 km<sup>2</sup> weist topografisch bedingt neben dem Kerngebiet weitläufige Ortsteile und Streusiedlungen auf, die zum Teil an Ortsteilkläranlagen angeschlossen sind, oder in denen die Abwasserreinigung über kleine Kläranlagen und Kleinkläranlagen erfolgt. Der Kommune obliegt im Rahmen der Abwasserbeseitigung der Betrieb des Kanalisationsnetzes. Dieses umfasst eine Länge von ca. 100 km und ist als Misch- und Trennsystem verlegt. Die Abwasserreinigung erfolgt durch den Abwasserverband. Für die Kläranlagen, die rechtlich bedingt nicht in die Zuständigkeit des Abwasserverbandes fallen, existieren Überwachungsverträge.

Im Rahmen der Gebietsentwicklungsplanung stand nun die Entscheidung an, die dezentralen Entwässerungsstrukturen beizubehalten oder, wie auch letztlich erfolgt, die Abwässer im Rahmen des Zuleitungsausbaus zur Zentralkläranlage durch den Abwasserverband dorthin überzuleiten. Dies hatte im betrachteten Gebiet zu partiellen Umplanungen der Anschlüsse und zur Aufgabe vorhandener Kläranlagen und Betriebspunkte geführt, die zum Zeitpunkt der Projektarbeit zum Teil bereits realisiert waren. Dennoch bietet das Projekt durch eine nachträgliche Betrachtung der Varianten die Möglichkeit des Nachweises für die Kommune 5, dass der Anschluss an die zentrale Kläranlage 1 eine wasserwirtschaftlich und ökonomisch sinnvolle Maßnahme in der integralen Betrachtungsweise unter Einbeziehung von Bevölkerungs-, Industrie- und Gewässerschutzbelangen darstellt.

Der vorliegende Bericht beinhaltet im Wesentlichen die Ergebnisse dieser Untersuchung. Der Anwendungsleitfaden (s.u.) wurde separat erarbeitet und wird in dieser Kurzfassung nur skizziert.

### **Anwendungsleitfaden**

Darüber hinaus hat sich im Verlauf des ersten Projektes ergeben, dass die linearen Zusammenhänge einschließlich der Schwelleneinflüsse zwar erkannt wurden, dass es aber in der praktischen Anwendung zweckmäßig ist, die Handhabbarkeit dieser Instrumente für DV-gestützte Darstellungen zu verbessern und den Umgang durch außenstehende Beteiligte zu erleichtern. Die zusätzlichen Erkenntnisse aus dieser Untersuchung wurden zu diesem Zweck gemeinsam mit den Handlungsinstrumenten des vorangegangenen Vorhabens (Fixkosten, variable Kosten, lineare Kostenfunktionen, Kostensprünge etc.) von einem Windows basierten Tabellenkalkulationsprogramm (MS Excel) auf eine Windows



basierte Datenbankanwendung (MS Access) überführt und wesentlich erweitert. Die Entwicklung dieses Modells inkl. des zugehörigen Anwendungsleitfadens bilden den Hauptteil der Projektarbeit.

Der rechenmodellgestützte Anwendungsleitfaden soll dem Anwender als Handlungsmodell dienen, ähnlich gestellte wasserwirtschaftliche Problemstellungen mit Hilfe der entwickelten Instrumente zu lösen. Es hat daher zwei Komponenten:

1. **Verfahrensanweisungen:**

Führung des Anwenders durch das Rechenmodell (Separat durchzuführende Erhebungen bzw. Berechnungen – bezogen auf den jeweiligen Schritt innerhalb des Rechenmodells etc.)

2. **Das Rechenmodell SIHKMA :**

(Systemintegriertes Kosten- und Handlungmodell der Abwasserbeseitigung) –  
Aufbau des Rechenmodells, Eingabemasken, (Zwischen-) Ergebnisse etc.

## 2 DEFINITION DER VERWENDETEN BEZEICHNUNGEN

In der Fortführung des letzten Projektes wurden die anonymisierten Bezeichnungen, wie etwa Kommune 5, konsequent fortgesetzt. Daraus ergeben sich für einige der Gebiete oder Körperschaften Bezifferungen, etwa Kommune 5, ohne dass die Kommunen 1 bis 4 behandelt werden. In einem solchen Fall, wurde die nächst niedrigere Ziffer bereits im vorangegangenen Projekt vergeben. Die nachfolgenden Tabellen beinhalten eine Zusammenstellung der verwendeten Bezeichnungen in diesem Projekt. In der Projektzuordnung gilt folgende Kurzbezeichnung:

- **Projekt 1:** F&E-Vorhaben „Handlungsmöglichkeiten zur kostenorientierten Optimierung der öffentlichen und industriellen Abwasserbeseitigung unter Berücksichtigung der geltenden Umweltstandards“
- **Projekt 2:** F&E-Vorhaben „Weiterentwicklung und Eichung der Instrumente zur kostenorientierten Optimierung der öffentlichen und industriellen Abwasserbeseitigung am Beispiel einer Kommune in Nordrhein-Westfalen“

Organisation	Beschreibung	Projektzuordnung
Fleischverarbeitungs- Industrie 1 (Indirekteinleiter)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schlachtung und Fleischverarbeitung</li> <li>• Abwasseranfall: 215.000 m³/a</li> <li>• Jahreskosten der Abwasserbehandlung: ca. 0,6 Mio. €/a</li> </ul>	Projekt 1 / Projekt 2

Stadt / Gemeinde	Beschreibung	Projektzuordnung
Kommune 5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einwohnerzahl: 12.218</li> <li>• Gebührenmaßstab: gemeinsame Berechnung nach Frischwassermaßstab</li> <li>• verbandsgebunden</li> </ul>	Projekt 1 / Projekt 2
Kommune 10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• keine weitere Teilnahme am Projekt</li> </ul>	Projekt 1 / Projekt 2

<b>Kläranlage</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Projektzuordnung</b>
Kläranlage A.3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• behandelt nach dem Ausbau die Abwässer mehrerer Kommunen <sup>1)</sup></li> <li>• Ausbaugröße 90.000 EW</li> </ul>	Projekt 1 / Projekt 2
Kläranlage B.6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• behandelt die Abwässer der Teileinzugsgebiete 4 und 5 der Kommune 5</li> <li>• Ausbaugröße: 460 EW</li> </ul>	Projekt 2
Kläranlage B.7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• behandelt die Abwässer des Teileinzugsgebietes 6 der Kommune 5</li> <li>• Ausbaugröße: 200 EW</li> </ul>	Projekt 2
Kläranlage B.8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• behandelt die Abwässer des Teileinzugsgebietes 7 der Kommune 5</li> <li>• Ausbaugröße: 200 EW</li> </ul>	Projekt 2

<sup>1)</sup> Die Ortslagen A – D sind ausschließlich durch ihre Einwohnerzahl bekannt. Sie sind zur Erläuterung der Grundlast der Kläranlage A.3 notwendig. Für den weiteren Projektverlauf sind sie dennoch unmaßgeblich.

<b>Teileinzugsgebiet</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Projektzuordnung</b>
Teileinzugsgebiet 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kerngebiet der Kommune 5</li> <li>• Misch- und Trennkanalisation</li> <li>• 12.780 E</li> </ul>	Projekt 1 / Projekt 2
Teileinzugsgebiet 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Siedlungsgebiet im Außenbereich der Kommune 5</li> <li>• Trennkanalisation</li> <li>• 534 E</li> </ul>	Projekt 2
Teileinzugsgebiet 5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hotelbetrieb mit Umland</li> <li>• Trennkanalisation</li> <li>• 30 EGW</li> </ul>	Projekt 2
Teileinzugsgebiet 6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wohngebiet und Industriebetrieb</li> <li>• 112 E + 90 EGW</li> </ul>	Projekt 2
Teileinzugsgebiet 7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wohngebiet und Industriebetrieb</li> <li>• 109 E + 90 EGW</li> </ul>	Projekt 2

### 3 ENTWICKELTE METHODIK IM ERSTEN PROJEKT

#### Erfassung des Ausgangszustandes

Ausgangspunkt der Untersuchung war die Erfassung der vorhandenen abwassertechnischen Anlagen und die sich daraus ergebenden Kostenstrukturen des Ist-Zustandes. Hierbei wurde nach Kostenarten unterschieden in:

- **Fixkosten:**  
i.d.R. kalkulatorische Kosten, wie Aufwendungen für Abschreibung (AfA) und Zinsen
- **Variable Kosten:**  
Kosten, die beim Betrieb der Anlage entstehen.

Die variablen Kosten wurden weiter untergliedert in:

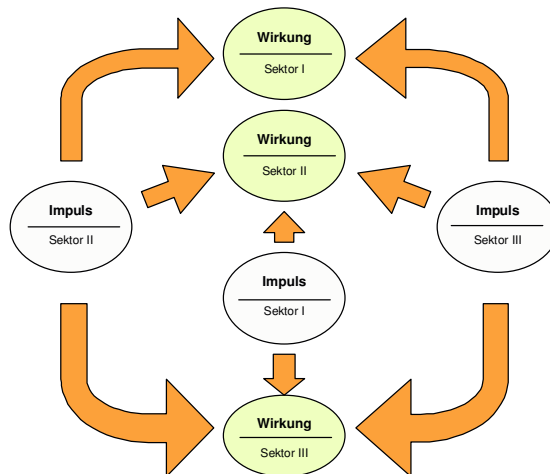
- **quasi-fixe variable Kosten:**  
Kosten, die einer kurzfristigen Änderung nicht zugänglich sind, wie etwa Personalkosten
- **echte variable Kosten:**  
Kosten, die durch die fluktuierenden Einflussgrößen (s.u.) kurzfristig beeinflusst werden.

Die Daten hierzu lieferten der Abwasserverband, ausgewählte Kommunen (10.000 bis 200.000 EW) und industrielle Einleiter (Papier-, Galvanik- und Fleischverarbeitungs-Industrie).

#### Ermittlung des Wirkmodells

Nach der Erfassung des Ausgangszustandes erfolgte die Ermittlung der Wirkbereiche. Hier wurde grundsätzlich herausgearbeitet, inwieweit sich wasserwirtschaftliche Veränderungen in einem Sektor auf die übrigen Sektoren auswirken. Die Untersuchung führte letztlich zu dem in Abbildung 3.1 dargestellten Wirksystem. Ausgehend von Impulsen in den einzelnen Sektoren ergeben sich Veränderungen in den jeweils anderen oder auch im selben Sektor.

Beispielsweise investiert ein indirekteinleitender Industriebetrieb mit großem Wasserverbrauch in eine Prozesswasserkreislaufführung und spart dadurch Wasser- und Abwassergebühren. Die betrieblichen Investitionen führen aber nicht zu Einsparungen in vergleichbarer Höhe bei der zuständigen Abwasserkörperschaft, denn diese muss die hohen Fixkosten der vorhandenen Anlagenteile weiterhin in der Kalkulation berücksichtigen. Da diese Kosten auf eine geringere Wassermenge und ggf. Schadstofffracht umgelegt werden müssen, ergeben sich umgekehrt für die verbliebenen Leistungsnehmer und den Industriebetrieb selbst höhere Ableitungsbeiträge.



**Abbildung 3.1:** Schematische Darstellung des Wirksystems aus Abwasserproduzenten (Sektor I), Abwasserableiter (Sektor II) und Abwasserbehandler (Sektor III)

### Ermittlung der Einflussgrößen

Im dargestellten Gefüge existiert, bedingt durch politische, strukturelle oder wirtschaftliche Vorgaben für die einzelnen Sektoren, eine Vielzahl von Schwellen und Zwängen. Veränderungen (Impulse) in den einzelnen Sektoren können dazu führen, dass diese Grenzen überschritten werden. Es galt nun herauszufinden, welche kostenwirksamen Einflüsse als Basis eines Optimierungsansatzes gelten konnten. Die Auswahl wurde letztlich auf die folgenden Größen begrenzt:

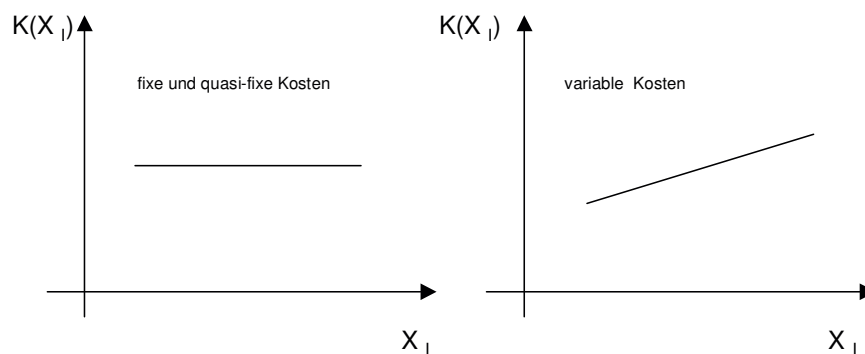
- die industrielle Wassermenge ( $X_{Qi}$ )
- die angeschlossenen Einwohner ( $X_E$ )
- die abflusswirksame Fläche ( $X_{Ared}$ ).

Diese lassen sich als monetär bewertbare Einflussgrößen durch lineare Kostenfunktionen (s.u.) hinreichend genau abbilden.

Die funktional nicht darstellbaren Einflussgrößen, wie etwa Erwägungen hinsichtlich der Kanalnetzbewirtschaftung, wurden im Einzelfall in die Betrachtung mit aufgenommen, da sie zum Teil erhebliche Kosten verursachen können.

### Definition der allgemeinen Kostenfunktionen

Die monetär bewertbaren Einflussgrößen lassen sich als Relation zu den Zahllasten durch eine Kostenfunktion im gesamten Variationsraum darstellen. Sie setzt sich zusammen aus den fixen und quasi-fixen Anteilen, deren Werte sich als konstante Funktion parallel zur Abszisse darstellen lassen, und den variablen Anteilen, die direkt abhängig von der Einflussgröße sind und mit ihr ansteigen/fallen (vgl. Abbildung 3.2). Der Graph der variablen Kosten verläuft stetig. Dahingegen kann die konstante Funktion entweder eine Unstetigkeitsstelle (Sprung) oder eine lokale Stetigkeit (Knick) aufweisen. Entsprechend werden die Funktionen bereichsweise definiert.

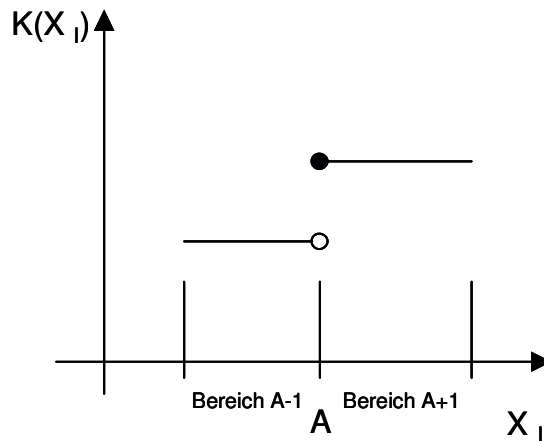


**Abbildung 3.2:** Schematische Darstellung der fixen, quasi-fixen und variablen Kosten

Je nach Ausgangssituation waren hier zwei unterschiedliche Varianten denkbar. Die eine Möglichkeit war, dass eine Impulsgabe in einem bestehenden System (z.B. durch Produktionsänderung oder Wegfall) erfolgte. Die zweite Möglichkeit war eine zusätzliche Belastung, wie sie etwa bei einer Betriebs- oder Einwohneransiedlung erfolgt. Entsprechend wurden im ursprünglichen Projekt zwei Fallbeispielgruppen untersucht.

- Fallbeispielgruppe A:

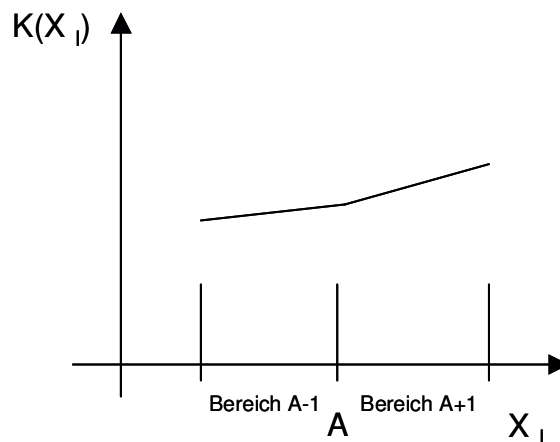
In dieser Fallbeispielgruppe wurden in vorhandenen Systemen die Auswirkungen von Impulsen abgeleitet. Die existierenden Randbedingungen haben durch eine meist auf einen Prognosezeitpunkt ausgelegte Anlagentechnik Reservekapazitäten. In diesen Grenzen konnte etwa die abgeleitete Industriewassermenge variieren, ohne dass in eine Anlagenertüchtigung investiert werden musste, sich also keine Änderung in den fixen und quasi-fixen Kosten ergab. Überschritt die geplante Produktionssteigerung die Schwellenwerte (hier der Ausbauzustand A), so trat infolge notwendiger Investitionsmaßnahmen ein Sprung in der jeweiligen Kostenkurve auf. In Abbildung 3.3 ist exemplarisch eine solche Funktion dargestellt.



**Abbildung 3.3: Schematische Darstellung einer Sprungfunktion**

- Fallbeispielgruppe B:

In der Fallbeispielgruppe B wurden zusätzliche Belastungen simuliert, indem z.B. Betriebe fiktiv aus dem lokalen Zusammenhang herausgelöst und in ein anderes System eingebunden wurden. Für die Betrachtungen  $X_{Qi} \rightarrow 0$  und  $X_{Qi} \rightarrow \infty$  wurden mögliche Grenzstellen (bezogen auf den untersuchten Einflussfaktor) der Sektoren II und III ermittelt. Diese wurden als Stützstellen definiert und die Kosten separat für jede Funktionsstelle ermittelt. Die so ermittelten Punkte durften miteinander verbunden werden, da theoretisch beliebig viele Betriebe unterschiedlicher Wassermengen aus dem gleichen Produktionszweig im Intervall zwischen zwei Funktionswerten hätten angesiedelt werden können. Durch evtl. erforderliche Ausbaumaßnahmen an den Stützstellen kann die Steigung der Geraden in den Intervallen unterschiedlich sein. Demzufolge kann an den Stützstellen ein Knick im Graphen entstehen (vgl. Abbildung 3.4).



**Abbildung 3.4: Schematische Darstellung einer Kostenfunktion mit Knick**

Unabhängig davon ließen sich beide Kostenkurven vereinfacht aus dem idealisierten Ansatz

$$K(X_i) = a_n \cdot X_i^n + a_{n-1} \cdot X_i^{n-1} + \dots + a_2 \cdot X_i^2 + a_1 \cdot X_i + a_0$$

als Funktion erster Ordnung annehmen und stellen sich in folgender Form für jedes Intervall dar:

$$K(X_i) = a \cdot X_i + b.$$

### **Fallbeispieluntersuchung - Eindimensionale Betrachtung**

In zwei Projektphasen wurden die monetär bewertbaren Einflussgrößen im Wirksystem von Abwasserproduzenten (Sektor I), Abwasserableiter (Sektor II) und Abwasserbehandler (Sektor III) systematisch verändert und ihre Auswirkung auf das System bzw. ihre Rückwirkung auf den Impulsgeber ermittelt.

In der ersten Phase wurden in vorhandenen örtlichen Randbedingungen durch wasserwirtschaftliche Maßnahmen in der örtlichen Regenwasserbewirtschaftung bzw. relevante produktionsinterne Entscheidungen oder Maßnahmen im Sektor I die Auswirkungen auf die übrigen Beteiligten untersucht. Hier wurde neben der Herausarbeitung der relevanten Einflussfaktoren im Wesentlichen deren Gewichtung innerhalb des Wirksystems geprüft.

In der zweiten Phase wurden Industriebetriebe fiktiv neu angesiedelt. Durch diese Neuansiedlung ergaben sich neue Problemfelder sowohl für die Kommunen als auch für die Industriebetriebe. So war etwa zu ermitteln, ob das bestehende Kanalnetz der neuen Anforderung genügen würde oder ob die vorhandenen Abwasserbehandlungskapazitäten (Kommune/Abwasserverband) ausreichend wären.

### **Fallbeispieluntersuchung - Mehrdimensionale Betrachtung**

Durch additive Verknüpfung der aus der eindimensionalen Betrachtung bereits bekannten Einflussgrößen ist im Rahmen einer mehrdimensionalen Betrachtung der wesentliche Untersuchungsparameter die zeitliche Komponente. Durch unterschiedliche zeitliche bzw. gleichzeitige Anordnung der Störimpulse aus den jeweiligen Sektoren ergibt sich entweder eine gegensätzliche oder eine gleichartige Wirkung auf das System. So können beispielsweise in einem System, in welchem die Entscheidung für oder wider eine Flächenabkopplung (Impuls Sektor II) zeitnah zu einer Produktionssteigerung in einem ansässigen Industriebetrieb (Impuls Sektor I) ansteht – beide Maßnahmen hätten eine Wirkung auf den Sektor II –, zunächst Reservekapazitäten im Kanalnetz durch die Flächenabkopplung bereitgestellt und der Zeitpunkt der Investition im Kanalnetz verzögert werden.



Im umgekehrten Fall würde die Produktionssteigerung zu einer Erhöhung der kalkulatorischen Kosten im Sektor II durch den Ausbau des Kanalsystems führen. Damit würde sich eine theoretische Erhöhung der Gebühren ergeben. Wenn man nun die gedachten Flächen abgekoppelte, würde die geringere abzuleitende Wassermenge obendrein zu einer Erhöhung der Abwassergebühren führen.

## 4 ANWENDUNG DER HANDLUNGSINSTRUMENTE AUF DIE PROBLEMSTELLUNG DER KOMMUNE 5

Aus der Problemstellung der Kommune 5 ergab sich für die Projektabwicklung die Aufteilung der Fallbeispielbetrachtung in die Projektabschnitte A und B:

- **Projektabschnitt A:** Der Anschluss der Kommune 5 an die Zentralkläranlage A.3 wird realisiert.
- **Projektabschnitt B:** Die Abwasserreinigung erfolgt dezentral, etwa über Ortsteilkläranlagen.

Unter Einbeziehung der Nebenbestimmungen sowie der im (ergänzenden) Projektantrag formulierten Zielsetzung wurden zur Projektabwicklung die nachfolgend beschriebenen vier Fallbeispiele mit jeweils zwei Szenarien in jedem Projektabschnitt betrachtet.

- **Fallbeispiel 1:** Variation der Industrieableitungen – eindimensionale Betrachtung
  - Szenario 1: Variation der Wassermengen bei konstanten Konzentrationen
  - Szenario 2: Variation der Schmutzkonzentration durch Vorbehandlungsmaßnahmen
- **Fallbeispiel 2:** Variation der Ansiedlung von Einwohnern im Einzugsgebiet – eindimensionale Betrachtung
  - Szenario 1: Ansiedlung von Einwohnern ohne Regenwasserversickerung/-speicherung
  - Szenario 2: Ansiedlung von Einwohnern mit Regenwasserversickerung/-speicherung.

Daraus ergab sich eine Matrix mit acht Varianten. Diese konnte

- (entsprechend dem Fallbeispielaufbau) **vertikal**, d.h.:  
von Szenario 1, Fallbeispiel 1, im Projektabschnitt A  
zu Szenario 2, Fallbeispiel 1, im Projektabschnitt A,  
oder
- (im Sinne der Problemstellung der Kommune 5) **horizontal**, d.h.:  
vom Szenario 1, Fallbeispiel 1, im Projektabschnitt A  
zum Szenario 1, Fallbeispiel 1, im Projektabschnitt B

betrachtet werden.

Für die Übertragung dieses Vorgehens auf das Praxisbeispiel waren einige Modifikationen des untersuchten Systems erforderlich.

Im Rahmen der Ist-Zustandsaufnahme im Untersuchungsgebiet hatte sich herausgestellt, dass in der Kommune 5 nur „Trockenbetriebe“ ansässig sind. Hiernach war eine Variation der Industriewassermengen ( $X_{Q,i}$ ) oder der Frachten ( $X_{B,i}$ ) nicht möglich. Aus diesem Grund wurde ein aus dem vorangegangenen Projekt bekannter Industriebetrieb fiktiv im Siedlungsgebiet angesiedelt. Hierbei handelte es sich um einen Betrieb der Fleischverarbeitungs-Industrie. Der Betrieb wurde mit zwei zusammengefassten Werken in die Kommune 5 eingebunden.

Durch die zeitliche Anordnung der Untersuchung (Retrospektive) waren Teile des Systems bereits umgebaut. Um nachträglich eine Rechtfertigung dieser wasserwirtschaftlichen und ökonomischen Maßnahmen geben zu können, war es notwendig, den Ursprungszustand fiktiv wieder herzustellen. Diese erforderlichen Modifikationen können jedoch, aufgrund des Untersuchungszeitpunktes, als spezifisch angesehen werden.

Nach der notwendigen Erstellung eines fiktiven Ausgangszustandes erfolgte zunächst ein Vergleich der entworfenen Varianten (Szenarien), begrenzt auf das Fallbeispiel, getrennt nach den Projektabschnitten A und B (vertikale Betrachtung). Dadurch war es möglich, die Systemreaktionen bei Veränderung der Einflussgrößen separat für eine zentrale (Projektabschnitt A) bzw. eine dezentrale (Projektabschnitt B) Entwässerungsstruktur zu ermitteln.

## **5 ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNG IN DEN PROJEKTABSCHNITTEN A UND B**

### **5.1 VARIANTENBETRACHTUNG GETRENNT NACH DEN PROJEKTABSCHNITTEN A UND B**

Für die Fallbeispiele 1 (Variation der industriellen Abwassermenge –  $X_{Qi}$ ) erfolgte die Einflussnahme auf das Wirksystem durch produktionsimmanente Entscheidungen und damit einhergehenden Fracht- bzw. Mengenänderungen der eingeleiteten Abwässer. In einer eindimensionalen Betrachtung wurden die Einflussgrößen variiert und die Auswirkungen auf die Sektoren I, II und III untersucht. Als Vergleichsbasis dienten die Kostenänderungen infolge Um- und Neubaumaßnahmen in den jeweiligen Sektoren. Ihre Darstellung erfolgte anhand von abschnittsweise definierten Kostenfunktionen separat für jeden Projektabschnitt. In den Projektabschnitten A und B konnten für beide Szenarien (Szenario 1: ohne weitergehende Abwasservorbehandlung; Szenario 2: mit weitergehender Vorbehandlung) aus der Überlagerung der Einzelkostenkurven aus den Sektoren I bis III Gesamtjahreskosten ermittelt werden. Diese wurden einander gegenübergestellt.

Für eine abschließende Beurteilung wurden die Rückwirkungen infolge der Kostenänderung (Gebühren und Veranlagung) in die Betrachtung mit einbezogen.

Die Erhebung der Transportgebühr in der Kommune erfolgt getrennt nach Hauptgebühr (für alle Kanalbenutzer einschließlich derjenigen, die unmittelbar Abwasserverbandsmitglied sind) und Nebengebühr (ausschließlich für diejenigen Kanalbenutzer, die nicht Abwasserverbandsmitglied sind). Die Ermittlung der spez. Beitragssätze erfolgt über die Quotientenbildung aus den jeweiligen (Hauptgebühr: ohne Abwasserverbands-(Klärkosten-) beitragsbeitrag und Abwasserabgabe für das Schmutzwasser; Nebengebühr: nur Abwasserverbands-(Klärkosten-) beitragsbeitrag und Abwasserabgabe für das Schmutzwasser) anrechenbaren Jahreskosten (Dividend) und der abgeleiteten Wassermenge (Divisor).

Der Abwasserverband deckt die Kosten zur Erfüllung seiner Aufgaben über Beitragszahlungen der Mitglieder. Mitglieder sind Unternehmen, Kommunen etc. Zu den Aufgaben gehört unter anderem die Abwasserbeseitigung. Zur Kostendeckung der in diesem Segment anfallenden Zahllasten wird ein sog. Reinhaltungsbeitrag (Veranlagung) erhoben. Er gliedert sich in 3 Anteile:

1. Klärkostenbeitrag
2. Abwasserabgabe für Schmutzwasser
3. Abwasserabgabe für Niederschlagswasser.

Mit Berücksichtigung dieser Kosten in den einzelnen Sektoren wurden wiederum Gesamtkostenkurven (Superposition der Zahllasten der Sektoren I bis III) ermittelt, die letztlich zu einer spezifischen Handlungsempfehlung führten.

Die Errichtung einer Vorbehandlungsanlage bei der Industrie (Sektor I) hat sich sowohl im Projektabschnitt A als auch Projektabschnitt B als die zu empfehlende Variante herausgestellt.

In den Fallbeispielen 2 (Variation der Einwohnerwerte im Zusammenhang mit der befestigten Fläche –  $X_E$  bzw.  $X_{Ared}$ ) erfolgte die Einflussnahme auf das Wirksystem durch eine fiktive Erweiterung des Siedlungsgebietes. Hier konnten jedoch keine eindeutigen Ergebnisse gewonnen werden, da in den Fallbeispielen 2 der Projektabschnitte A und B der Anteil der Niederschlagswasserableitung nicht berücksichtigt werden konnte. Nach Auskunft der Kommune 5 erfolgt die Ermittlung über eine N-A-Modell-Berechnung und lag für diese Planspiele nicht vor. Entsprechend wurde hier auf die Ableitung einer Handlungsempfehlung verzichtet. Die Fallbeispiele 2 beider Projektabschnitte wurden nicht weiter verfolgt.

## **5.2 DARSTELLUNG UND BEURTEILUNG DER FALLBEISPIELE IM VERGLEICH VON PROJEKTABSCHNITT A UND B UND INTERPRETATION IM HINBLICK AUF DEN RECHENMODELLGESTÜTZTEN ANWENDUNGSLEITFADEN**

### **5.2.1 Vergleichende Betrachtung**

Die Betrachtung wurde auf die Variation der Industriewassermenge beschränkt, da die Berechnungen zu den Fallbeispielen 2 aufgrund der fehlenden Berücksichtigung des Niederschlagswassers kaum belastbare Ergebnisse lieferten.

Zur Entscheidungsfindung im Praxisbeispiel wurden die Szenarien projektabschnittübergreifend verglichen. Hierzu wurden die Gesamtjahreskosten (inkl. Gebühren und Beträge) der Projektabschnitte A und B getrennt nach den Szenarien 1 und 2 (Summe Sektor I bis III) gegenübergestellt.

Es zeigte sich für beide Szenarien, dass die Kosten, mit einem leichten Vorteil für Szenario 2, im Projektabschnitt B im gesamten Variationsraum über denen des Projektabschnitts A lagen. Damit hat sich der Schritt der Kommune in Richtung einer zentralen Abwasserreinigung unter Einbeziehung von Bevölkerungs-, Industrie- und Gewässerschutzbelangen, nachträglich als wasserwirtschaftlich und ökonomisch sinnvolle Maßnahme herausgestellt.

### **5.2.2 Interpretation der Ergebnisse der Fallbeispieluntersuchung im Hinblick auf den rechenmodellgestützten Anwendungsleitfaden**

Die Anwendung der im vorangegangenen F&E-Vorhaben „Handlungsmöglichkeiten zur kostenorientierten Optimierung der öffentlichen und industriellen Abwasserbeseitigung unter Berücksichtigung der geltenden Umweltstandards“ (Berichtslegung Februar 2002) aufgestellten Instrumente auf die praktische Problemstellung der Kommune 5 in den Projektabschnitten A und B dieses Projektes hat gezeigt,

dass die seinerzeit entwickelte Vorgehensweise zur Bearbeitung wasserwirtschaftlicher Problemstellungen grundsätzlich übertragbar ist. Auf der Basis von Prognosen können so modellhaft die Kostenänderungen bei Variation wasserwirtschaftlicher Parameter abgebildet werden. Dabei wird die Kostenwirksamkeit infolge dieser Variationen umso leichter zu ermitteln sein, je genauer solche Prognosen ausfallen. Abhängig von der gewählten Tiefe der Aufgabenstellung wird es bei dieser Vorgehensweise jedoch immer wieder erforderlich sein, Teile eines Kanalnetzes zu simulieren oder Kläranlagen auszulegen.

Im Rahmen dieses Vorhabens war es jedoch nicht vorgesehen, solche Programme in ein Kalkulationsmodell einzubinden. Aus diesem Grund stellte sich die Frage, wie diese externen Berechnungsschritte mit dem ausgearbeiteten Modell verwoben werden sollten.

Unter Berücksichtigung einer transparenten Verarbeitungsmöglichkeit für externe Beteiligte führten die Überlegungen letztlich zu dem separat ausgearbeiteten rechenmodellgestützten Anwendungsleitfaden, der zwei Komponenten enthält:

1. die Führung des Anwenders durch die notwendigen externen Bearbeitungsschritte in den Teilschritten Datenerhebung und –aufbereitung bei gleichzeitiger Erläuterung der Schnittstellen mit dem Kalkulationsmodell;
2. das Rechenmodell SIKHMA (Systemintegriertes Kosten- und Handlungsmodell der Abwasserbeseitigung) – Aufbau des Rechenmodells, Eingabemasken, (Zwischen-)Ergebnisse etc.

Das vorhandene Kalkulationsmodell wurde von einem Tabellenkalkulationsprogramm auf eine Datenbankanwendung übertragen und deutlich erweitert. Mittels einer überschaubaren Anzahl von Eingabemasken wird der außenstehende Beteiligte über die Menüstruktur entlang der nahezu linearen Berechnung geführt. Der zugehörige Leitfaden erläutert hierbei die Schnittstellen zu den externen Berechnungsschritten. Durch Kalkulationshilfen, die vereinfachte Kostenschätzungen für die Bereiche Abwasserableitung und Abwasserreinigung ermöglichen und separat oder gemeinsam mit den ausführlichen externen Berechnungen eingesetzt werden können, sind so eindimensionale Berechnungen der Kostenfunktionen möglich. Die sektoral aufgestellten Jahreskosten können im Sinne einer Gesamtkostendarstellung superponiert werden. Die ermittelten Zahllastverläufe werden sowohl ohne als auch mit Rückwirkungen dargestellt. Die Rückwirkungen sind:

- Veranlagung des Industriebetriebes durch den Abwasserverband – hier ist ausschließlich eine Veranlagungsvariante hinterlegt.
- Verbands- (Klärkosten-)beitrag und Umlage der Abwasserabgabe – hier ist ausschließlich eine Veranlagungsvariante hinterlegt.

- Transportgebühr für die Abwasserableitung – hier sind zunächst zwei Gebührenmodelle hinterlegt.

In Berichtsform sind anhand der Ausgabeformulare mit den ermittelten Kostenfunktionen Rückschlüsse auf die Zahllastentwicklung im Rahmen einer mehrdimensionalen Betrachtung denkbar.

## 6 AUSBLICK

Die entwickelten theoretischen Ansätze wurden im Rahmen diese Forschungsprojektes an einem bestehenden Praxisproblem geeicht und weiterentwickelt. Durch Übertragung des methodischen Vorgehens auf die Problemstellung der Kommune 5 konnte in der Gegenüberstellung der jeweiligen Systemreaktionen bei gleicher Einflussnahme nachgewiesen werden, dass bei einer Betrachtung auf der Grundlage vereinfachter linearer Kostenfunktionen die Aufgabe der dezentralen Entwässerungsstrukturen zugunsten einer zentralen Abwasserreinigung für die Kommune 5 eine wasserwirtschaftlich und ökonomisch sinnvolle Entscheidung darstellt.

Für die Entwicklung des Modells bedeutete dieses Ergebnis, dass die entwickelten Instrumente und der methodischen Ansatz geeignet sind, modellhaft die Kostenwirksamkeit wasserwirtschaftlicher Entscheidungen in der Normalentwicklung, aber auch in den Extrema zu prognostizieren.

Mit der Entwicklung des rechenmodellgestützten Leitfadens ist damit ein weiterer Schritt getan, „marktfere“ Unternehmungen wie z.B. die öffentliche Siedlungswasserwirtschaft in ihrer langfristigen Entwicklung einzuschätzen. Damit ist die Aufgabe jedoch nicht abgeschlossen. Immer noch sind viele Teile stark vereinfacht abgebildet, die einer eingehenden Betrachtung bedürfen. So werden beispielsweise Anlagen bestimmter Ausbaugrößen als grundsätzlich gleichartig angenommen, ohne dass Aussagen zu Prozesszielen vorgenommen werden, die hierbei die Kosten erheblich beeinflussen können.

Wünschenswert wäre hier eine Vergleichbarkeit auf der Ebene von Prozessen, Methoden oder Produkten, wie sie im Bereich des Benchmarking gebräuchlich sind. Ein solcher Abstraktionsgrad ist nur mit einem quantitativ deutlich höheren und qualitativ fein granulierten Datenpool möglich.