

Investitions- und Betriebskosten von abwassertechnischen Anlagen

Autor(en): **Schertenleib, Roland / Krejci, Vladimir / Gujer, Willi**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **102 (1984)**

Heft 11

PDF erstellt am: **25.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-75423>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Investitions- und Betriebskosten von abwassertechnischen Anlagen

Von Roland Schertenleib, Vladimir Krejci und Willi Gujer, Dübendorf

Kostenvergleiche haben bei Gewässerschutzbauten stärkere Bedeutung erlangt als bisher, da differenziertere Verfahren entwickelt worden sind und heute bei der Projektierung einbezogen werden. Deshalb sind detaillierte Kostenuntersuchungen notwendig. Im vorliegenden Artikel werden die Kosten in Funktion von abwassertechnischen Grössen angegeben. Diese Kostenfunktionen beziehen sich auf den Bau und Betrieb von Kläranlagen und Kanalnetzen. Anhand von ausgeführten Anlagen sind sie verifiziert worden. Sie zeigen auch im Beispiel eines Vorprojekts keine grossen Abweichungen.

Einleitung

Trotz fortgeschrittenem Ausbau von Kanalisation und Kläranlagen wird auch in Zukunft der *Bau und Betrieb* von Abwasseranlagen einen wichtigen Bestandteil des Gewässerschutzes in der Schweiz darstellen. Nach *Bundi* [1] werden sich in der Schweiz die Jahreskosten für den Schutz der Gewässer vor Verunreinigungen langfristig auf gegen 2 Milliarden Franken pro Jahr einspielen. Ein bedeutender Teil dieser Geldmittel wird eingesetzt werden müssen für:

- die *Erneuerung* bestehender abwassertechnischer Anlagen oder von Teilen davon;
- den *Ausbau* bestehender Reinigungsanlagen in bezug auf deren hydraulische Kapazität;
- die *Erweiterung* bestehender Reinigungsanlagen mit weitergehenden Reinigungsstufen.

Während in der Vergangenheit das Hauptgewicht des Gewässerschutzes auf der Realisierung von landesweit einheitlichen, baulich-technischen Vorkehrungen gelegt wurde, wird in Zukunft mehr den unterschiedlichen regionalen Gegebenheiten Rechnung getragen werden müssen. Das heisst, dass Planung und Vollzug der Gewässerschutzmassnahmen im Rahmen von *regionalen Untersuchungen* durchzuführen sind, in die alle Verunreinigungsquellen des Gewässereinzugsgebietes einbezogen werden.

Somit stellt sich die Aufgabe, die Zusammenhänge zwischen den Nutzungszielen und dem Gewässerschutz einerseits sowie dem Gewässerzustand und den Massnahmen bzw. deren Kosten andererseits eingehend zu untersuchen.

In dieser Publikation wird aufgezeigt, wie Kosteninformationen in einer regionalen Studie gebraucht werden können, speziell im Zusammenhang mit der Erweiterung von bestehenden Kläranlagen. Die folgenden Informationen

basieren auf Erfahrungen, die bei der in Zusammenarbeit mit dem Amt für Gewässerschutz und Wasserbau des Kantons Zürich (AGW) an der Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (Eawag) durchgeführten Regionalstudie Glattal [2] gesammelt werden konnten.

Kosten von Abwasserreinigungsanlagen

Anforderungen an Kostenangaben von Abwasserreinigungsanlagen

In der Vergangenheit benötigte der projektierende Ingenieur zuverlässige Unterlagen über die Kosten von Kläranlagen, primär zur Untersuchung von abwassertechnischen Zusammenschlüssen. Da es sich dabei meist um die Erstellung neuer Anlagen handelte, genügten hierfür spezifische Kostenangaben für Gesamtanlagen (z.B. Franken pro Einwohner oder Franken pro Wassermenge). Informationen dieser Art sind seit längerer Zeit in der Literatur vorhanden [3, 4, 5, 6, 7].

In der *Glattstudie* hat sich gezeigt, dass derartige Informationen für den *Kostenvergleich von differenzierten Massnahmen* unter optimaler Ausnutzung der bestehenden Anlagen nicht genügen. Die Hauptgründe dafür sind:

- Aufgrund der Baugeschichte variieren Belastung und Kapazitätsreserven der einzelnen Teile bestehender Anlagen häufig relativ stark. Für die Kapazitätserhöhung solcher Kläranlagen ist somit der Ausbau einzelner Anlageteile erforderlich.
- Die von der Qualität des Vorfluters her gestellte Forderung, dass Kläranlagen in einer bestimmten Abwasserregion nitrifizieren müssen, wird in Zukunft ein wichtiger Grund sein für den Ausbau von bestehenden Belebtschlammanlagen. Auch in diesen Fällen ist normalerweise nur die Vergrösserung eines Anlageteiles (Belü-

Tabelle 1. Kostenbestimmende Parameter für Investitionskosten einzelner Anlageteile

Anlageteil	Dimensionierungsparameter als massgebende Grösse für die Investitionskosten
Vorreinigung + Vorklärung	Oberfläche Vorklärbecken
Belüftungsbecken	Volumen Belüftungsbecken
Nachklärbecken	Oberfläche Nachklärbecken
Filter	Filteroberfläche
Anaerobe Schlammstabilisierung	Volumen Schlammfaulraum
Aerobe Schlammstabilisierung	Volumen Stabilisierungsbecken
Gasometer	Volumen Gasometer

Tabelle 2. Kostenbestimmende Parameter für einzelne Kategorien der Betriebskosten

Kostenkategorien	Kostenbestimmende Parameter
Personalkosten	Jährliche Gesamtwassermenge
Energiekosten für Belüftung	Effektiver Sauerstoffbedarf
Kosten für Chemikalien	Effektiver Chemikalienverbrauch
Allgemeine Energiekosten	Jährliche Gesamtwassermenge
Allgemeine übrige Betriebskosten	Jährliche Gesamtwassermenge

- tungsbecken inkl. Belüftungskapazität) erforderlich.
- Bei weitergehenden Reinigungsstufen liegt meist die Entfernung bzw. Umwandlung einer spezifischen Schmutzstoffkomponente im Vordergrund: bei der Nitrifikation ist es das Ammonium, bei der Filtration die Schwebstoffe und bei der Simultanfällung und Flockungsfiltration der Phosphor. Die Wirkung dieser verschiedenen Reinigungsstufen ist zudem abhängig von der Grösse des entsprechenden Reaktors. Je nach Reinigungsanforderung von seiten des Vorfluters ergeben sich bei der Dimensionierung somit verschiedene Reaktorgrössen und damit verbunden unterschiedliche Kosten.
- Die aktuellen Betriebskosten einer Kläranlage sind abhängig einerseits von der Ausbaugrösse (z.B. Personalkosten) und andererseits vom effektiven Abwasseranfall (z.B. Energieaufwand, Chemikalienverbrauch usw.). Die bisherige Praxis, Betriebskosten aufgrund der Ausbaugrösse bzw. des projektierten Abwasseranfalles allein abzuschätzen, berücksichtigt die Tatsache zu wenig, dass vor allem neuere Anlagen zum Teil stark unterbelastet sind.

Aufgrund dieser Überlegungen wurde versucht, mittels detaillierten Unterlagen von bestehenden Anlagen die *Investitionskosten getrennt nach Anlagenteil* zu erfassen und *Kostenfunktionen in Abhängigkeit der jeweiligen Dimensionierungsparameter* aufzustellen (vgl. Tab. 1).

Bei den *Betriebskosten* erwies sich eine *Aufteilung in Personalkosten, Energieaufwand, allg. Betriebsaufwand und Aufwand für Chemikalien* als notwendig und machbar. Für die einzelnen *Kostenkategorien* wurden wiederum die *hauptsächlichen kostenbestimmenden Parameter* identifiziert (vgl. Tab. 2).

Im folgenden werden die verschiedenen *Kostenfunktionen* im einzelnen vorgestellt.

Investitionskosten

Die *Investitionskosten* für Abwasserbehandlung in den *mechanisch-biologischen Kläranlagen* mit *Belebtschlammverfahren* wurden auf die *drei wichtigsten Elemente*

- Vorreinigung und Vorklärung
- Belebtschlammbecken
- Nachklärbecken

aufgeschlüsselt. 75-90% der *Kosten* für *Betriebsgebäude, Ingenieur-Honorar, Installation Baustelle, Platzgestaltung, Umgebung sowie Erschliessung (Strassen und Wege exkl. Zufahrtsstrasse)* wurden auf die *drei genannten Elemente gleichmässig (etwa je 1/3) verteilt*. Die *restlichen 10-25%* dieser eher *allgemeinen Kosten* wurden *proportional den verschiedenen Anlagenteilen* für die *Schlammbehandlung zugerechnet*. *Die Kosten für Bauland sind in den Kostenfunktionen nicht inbegriffen*.

Als *Grundlage* für die *Ermittlung der Kostenfunktionen* wurden *Angaben aus Abrechnungen von 20-30 in den letzten 10 Jahren in der Schweiz gebauten und/oder erweiterten Kläranlagen* verwendet. Bei den *meisten dieser Anlagen* handelt es sich um *kleinere bis mittelgrosse Anlagen*, deren *spezifische Baukosten* gemäss *Statistik des Bundesamtes für Umweltschutz* leicht über dem *schweizerischen Durchschnitt* liegen (Bild 1). Die *ursprünglich vorgesehene Differenzierung für verschiedene Schwierigkeitsgrade* infolge der *unterschiedlichen Baugrundverhältnisse* war aufgrund der *vorhandenen Angaben* nicht möglich. Sie sind jedoch *massgebend für die Streuung der einzelnen Kostenangaben* verantwortlich. Die *gewonnenen Angaben* und die *daraus berechneten Regressionskurven* wurden noch *teilweise mit den von Roberts und Krejci [8] ermittelten Angaben* verglichen.

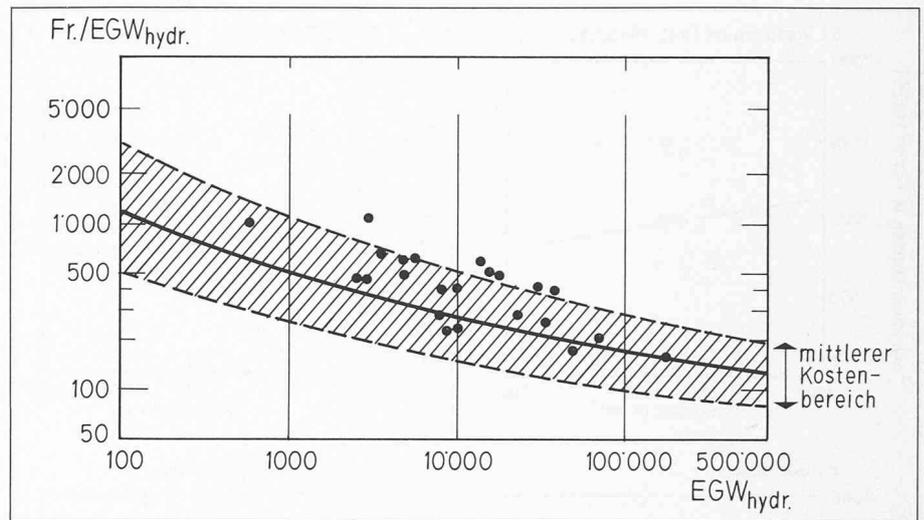
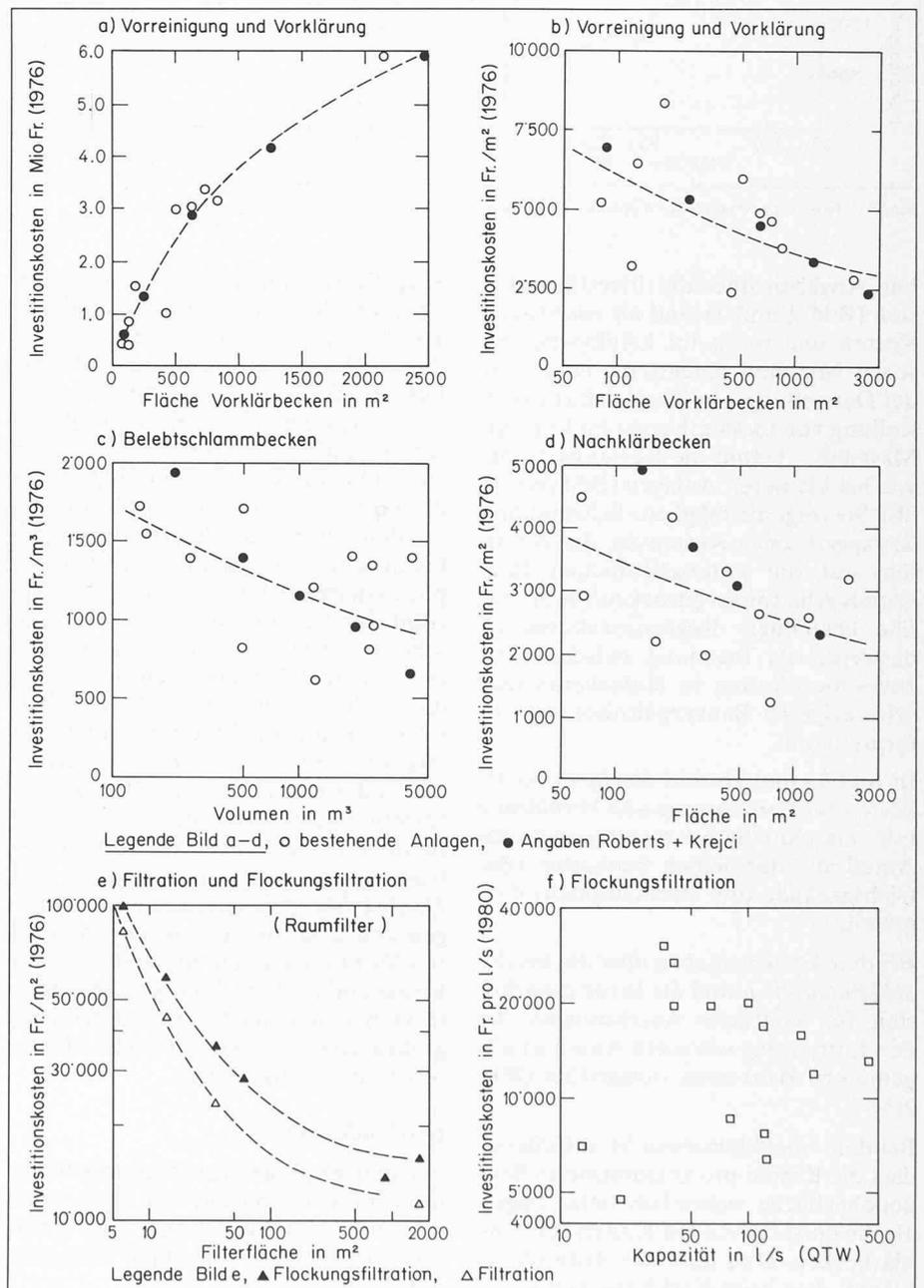


Bild 1. Grösse und Baukosten der Kläranlagen, deren Unterlagen für die vorliegende Kostenuntersuchung verwendet wurden (nach Darstellung des Bundesamtes für Umweltschutz [7]). Indexiert, Stand 1979

Bild 2. Investitionskosten der Kläranlagen-Elemente für eigentliche Abwasserreinigung



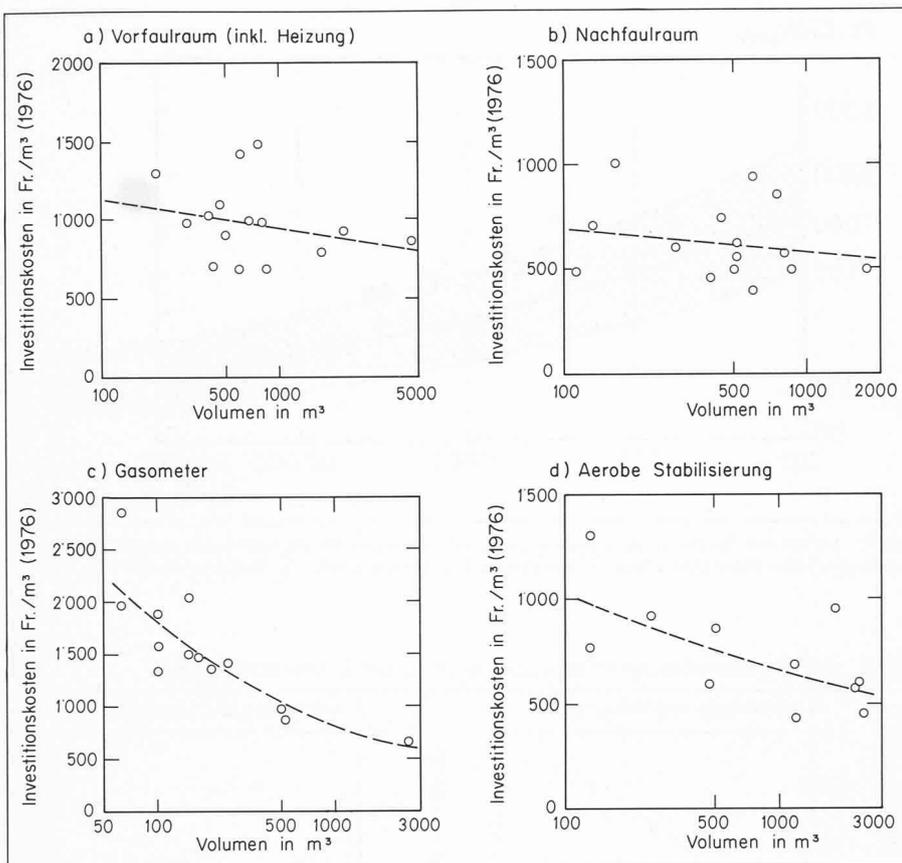


Bild 3. Investitionskosten der Kläranlagen-Elemente für die Schlammbehandlung

Die Angaben über die Investitionskosten (Bild 2 und 3) sind als spezifische Kosten und meist im halblogarithmischen Massstab dargestellt. Diese Art der Darstellung – im Vergleich zur Darstellung von Gesamtkosten im linearen Massstab – betont die Kostenstreuung, v.a. bei kleineren Anlagen (Bild 2a und 2b). Sie zeigt die mögliche Schwankung der spezifischen Kosten an, die vor allem auf die unterschiedlichen Bauverhältnisse zurückzuführen ist. Die berechnete Regressionskurve ist deswegen als Trennung zwischen den Investitionskosten in einfacheren und schwierigeren Bauverhältnissen zu interpretieren.

In Bild 2a und 2b sind die *Investitionskosten für Vorreinigung und Vorklärung* inkl. maschinelle Ausrüstung sowie ein Anteil an allgemeinen Baukosten (Betriebsgebäude und Installationen) dargestellt.

Bei den *Kostenangaben über die Belebtschlammbecken* sind die Investitionskosten für sämtliche Ausrüstungen für den Lufteintrag sowie ein Anteil an allgemeinen Baukosten inbegriffen (Bild 2c).

Bei den *Nachklärbecken* ist auffallend, dass die Kosten pro Quadratmeter Beckenoberfläche wesentlich tiefer liegen als die entsprechenden Kosten für Vorklärbecken. Dies lässt sich dadurch erklären, dass beim Vorklärbecken sämt-

liche Einrichtungen für die Vorreinigung wie Rechen, Fettfang, Sandfang usw. eingerechnet wurden (Bild 2d). Für die *Kosten der Filtration und Flockungsfiltration* bestehen vorläufig nur wenig Angaben. Eine Kostenfunktion für Raumfilteranlagen wurde daher aufgrund von Kostenvoranschlägen für die Filtrationsanlage in Hochdorf und für den Ausbau der Kläranlage Werdhölzli sowie von weiteren Daten aus projektierten Anlagen ausgearbeitet (Bild 2e) [9, 10]. Neben den «klassischen» Filtrationsanlagen (z.B. Druckfilter in Hochdorf oder Schwerkraftfilter in Uster und Zürich-Werdhölzli) wurden neulich bei kleineren und mittelgrossen Kläranlagen neuere Verfahren und Ausrüstungen zur Flockungsfiltration eingesetzt, die sich u.a. wesentlich in den Investitions- und Betriebskosten unterscheiden (vgl. Bild 2f) [11]. Mangels genügender Unterlagen und Erfahrungen mit diesen neueren Filtrationsverfahren (besonders für kleine und mittlere Anlagen) ist es heute noch nicht möglich, eine zuverlässige globale Kostenfunktion für die Abwasserfiltration aufzustellen.

Betriebskosten

Die Betriebskosten für mechanisch-biologische Anlagen (und evtl. chemische, d.h. mit Simultanfällung von Phosphor) sind in die folgenden Elemente unterteilt:

- *Personalkosten*: Löhne des Anlagepersonals inkl. Sozialleistungen, Verwaltungskosten; Entschädigungen an Kommissionen; Ausbildung; Spesen.
- *Energieaufwand*: Stromverbrauch und Stromkosten. Heizölverbrauch ist dabei nicht erfasst.
- *Allg. Betriebsaufwand*: Unterhalt und Reparatur von Maschinen und Gebäude durch Dritte; Rechengut- und Sandbeseitigung; Betriebs-, Unterhalts- und Reinigungsmaterial; Untersuchungen; Sach- und Haftpflichtversicherungen; Kosten für Trinkwasser.
- *Aufwand für Chemikalien*: Kosten der Chemikalien.

Für die Auswertung standen 51 Betriebskostenrechnungen zur Verfügung. Es sind dies Rechnungen von 31 verschiedenen Kläranlagen:

- 21 mechanisch-biologische Anlagen
- 9 mechanisch-biologisch-chemische Anlagen
- 1 Tropfkörperanlage

Die Betriebskostenrechnungen stammen aus der Betriebsperiode 1973–76. Die Lohnkosten sowie der allgemeine Betriebsaufwand wurden indiziert. Für die Betriebskosten der Anlagen mit weitergehender Abwasserreinigung (Filtration, Flockungsfiltration) waren nur wenige Unterlagen vorhanden, so dass zum Teil Annahmen getroffen werden mussten.

Für die *Personalkosten in mechanisch-biologischen Kläranlagen* wurde die Funktion Personalkosten vs. jährlicher Abwasseranfall aufgestellt (Bild 4). Für Kläranlagen mit und ohne Simultanfällung konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

In Bild 5 sind von einigen bestehenden Kläranlagen Angaben über den *Sauerstoffbedarf bzw. Energiebedarf im Belebtschlammbecken* in Abhängigkeit des Trockenwetteranfalles und die daraus berechnete Regressionsgerade dargestellt. Die Regressionsgerade entspricht ungefähr dem Verhältnis 1,5 kWh/kg BSB₅. Für die *allgemeinen Betriebskosten* (kleinere Reparaturen, Material exkl. Chemikalien für Abwasser- und Schlammbehandlung usw.) konnten die Kosten in Abhängigkeit zum effektiven Abwasseranfall bei Trockenwetter dargestellt werden (Bild 6).

Bei *mechanisch-biologischen Kläranlagen mit Vorfällung oder Simultanfällung* fallen als zusätzliche Betriebskosten nur die *Kosten der Chemikalien* ins Gewicht. Der Chemikalienbedarf und die Kosten der Chemikalien werden hier nicht näher diskutiert: der Bedarf an Chemikalien gehört zu den Dimen-

sionierungsparametern, die Kosten der Chemikalien (Preise) können problemlos bei Lieferanten angefragt werden. Für die Personalkosten und allgemeinen Betriebskosten bei mech.-biolog. Kläranlagen mit chemischer Fällung gelten die gleichen Funktionen wie für die Anlagen ohne chemische Stufe: Ein signifikant grösserer Arbeitsaufwand (Personalkosten) und höhere allgemeine Betriebskosten in Kläranlagen mit Vorfällung und Simultanfällung konnten nicht festgestellt werden. Die ermittelten *Kostenfunktionen für den Betrieb der Filtration und Flockungsfiltration* basieren auf Annahmen (Bild 7). Zuverlässige Angaben über die effektiven Betriebskosten dieser Anlagen fehlen noch weitgehend; auch bei bestehenden Anlagen ist der Betrieb in der Regel noch nicht ganz optimiert. Die verfahrensspezifischen Kostenunterschiede erschweren noch zusätzlich die Ausarbeitung einer Kostenfunktion.

Für die *Kostenbewertung der Schlamm-beseitigung ausserhalb der Kläranlagen* (im Glattal praktisch nur landwirtschaftliche Verwertung) wurden die Transport- und Ausbringungskosten mit pauschal Fr. 6.- pro m³ stabilisierten Nassschlamm angenommen. Für die Kostenberechnung von anderen Arten der Schlammabeseitigung (Verbrennung) wurden die effektiven Kosten ermittelt.

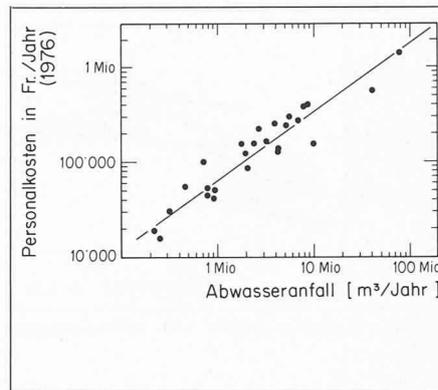


Bild 4. Personalkosten in mechanisch-biologischen Kläranlagen

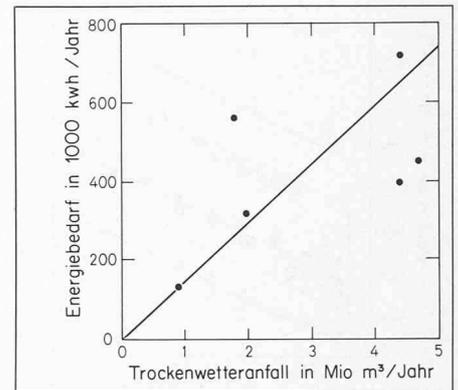


Bild 5. Energiebedarf für Sauerstoffeintrag in bestehenden Belebtschlammanlagen

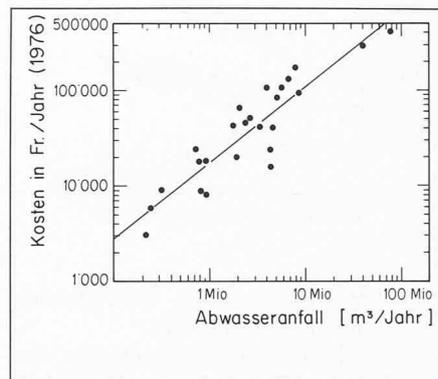


Bild 6. Allgemeine Betriebskosten in mechanisch-biologischen Kläranlagen

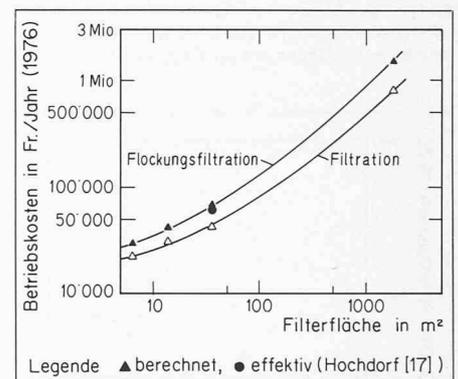


Bild 7. Betriebskosten der Filtration und Flockungsfiltration bei Raumfiltern mit diskontinuierlicher Spülung (nach Boller[9])

Tabelle 3. Kostenbestimmende Parameter für Investitionskosten in der Kanalisation

Kanalisationsobjekt	Kostenbestimmende Parameter
Freispiegelleitungen	Rohrdurchmesser bei verschiedenen Baugrundverhältnissen und Kanaltiefen
Regenbecken	Beckeninhalt bei verschiedenen Baugrundverhältnissen
Pumpwerke	Pumpmenge bei unterschiedlichen PW-Ausführungen (Nassschacht, Trockenschacht, Tiefe)

Tabelle 4. Kostenbestimmende Parameter für Betriebskosten im Kanalisationsnetz

Kanalisationsobjekt	Kostenbestimmende Parameter
Kanäle	Kanallänge bei verschiedenen Betriebsverhältnissen
Regenbecken	Nutzvolumen-Kategorien bei verschiedenen Betriebsverhältnissen
Pumpwerke - Wartung und Reparaturen	Pauschalangaben unter Berücksichtigung der Bausumme
- Energiekosten	Stromverbrauch bei Zentrifugal- und Schneckenpumpen

Kosten für Kanalisationsnetz

Anforderungen an die Kostenangaben

Die meisten existierenden Angaben über Kosten der Kanalisation beschränken sich auf die Baukosten der Kanäle. Andere Informationen wie z.B. über die Investitionskosten der Regenbecken und Pumpwerke und vor allem die Angaben über die Betriebskosten der Kanalisation sind in der Regel nur spärlich verfügbar. Im Rahmen der Glattstudie wurde deswegen versucht, Kostenangaben für die Investitionen und den Betrieb der wichtigsten Elemente der Kanalisation zusammenzustellen. Die kostenbestimmenden Parameter sind in den Tabellen 3 und 4 aufgeführt.

Investitionskosten

Baukosten der Freispiegelleitungen

Die *Baukosten* für die Freispiegelkanäle wurden in *Funktion des Durchmessers als Hauptparameter* ermittelt. Da die Kosten je nach Bauverhältnis (V- oder U-Graben, Feld oder Strasse, Kanaltiefe) stark schwanken, wurden drei Funktionen für unterschiedliche Verhältnisse aufgestellt.

1. V-Graben, Tiefe 2,0 m, Sickerleitung, Ertragsausfall, Ø 30–120 cm
2. Graben gespriesst mit Kanaldielen, Tiefe 3,0 m, Sickerleitung, Strasse mit Belag, Ø 30–120 cm (mit Schätzung des Kostenbereiches für Kanaltiefen von 2–5 m)
3. Graben gespriesst mit Spundwand Ø 30–120 cm (Zuschlag Fr. 600.- zu der Funktion 2 für Kanaltiefe 3 m).

Für die Ermittlung der Baukosten waren genügend Daten vorhanden, um die Kostenfunktionen aufzustellen. Dabei sei allerdings bemerkt, dass nur etwa die Hälfte der Angaben aus Offerten

und Kostenvoranschlägen stammen und der Rest aus Richtpreisen ermittelt wurde. Die Kostenfunktionen sind in Bild 8 für den Durchmesserbereich von 30 bis 120 cm dargestellt.

Baukosten der Regenbecken

Bild 9 zeigt einige Angaben über die Baukosten von Regenbecken. Nach Angaben von Landert [12] wurden Kostenfunktionen für folgende Baugrundverhältnisse aufgestellt:

1. Guter Baugrund, ländliche Verhältnisse, keine Böschungssicherung, einfache Wasserhaltung

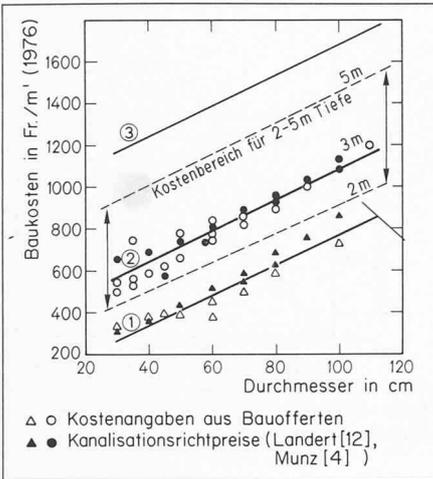


Bild 8. Baukosten von Kanalisations-Freispiegelleitungen (Legende für Funktionen 1, 2 und 3 siehe im Abschnitt «Baukosten der Freispegelleitungen»)

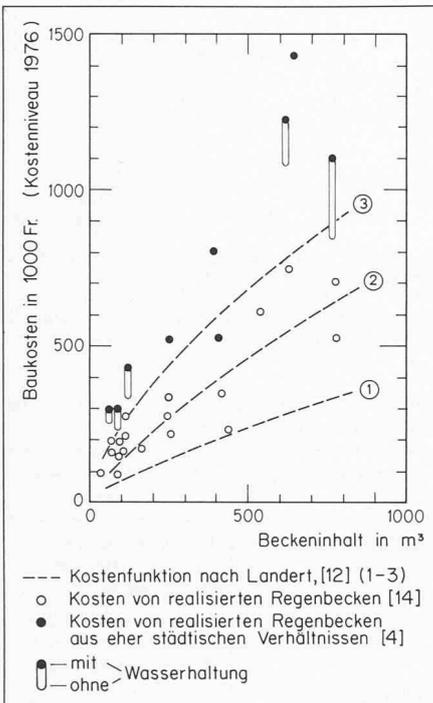


Bild 9. Baukosten von Regenbecken: Vergleich von Kostenfunktionen mit Kosten bestehender Regenbecken (Legende für Funktionen 1, 2 und 3 siehe im Abschnitt «Baukosten der Regenbecken»)

Tabelle 5. Betriebskosten der Kanalisation (Freispeigelleitungen, Kostenniveau 1976)

Betriebsverhältnisse	Betriebskosten [Fr./m³·Jahr]
Ländliche Verhältnisse; fachgerechte Gestaltung; günstige Topographie; geringer (oder mangelhafter) Unterhalt	1.30
Ländliche Verhältnisse mit wenig schwierigen Partien im Kanalnetz; Reinigung der Stränge in Intervallen von 1 bis 3 Jahren	2.50
Städtische Verhältnisse	4.00
(Gross-)Städtische Verhältnisse; perfekter Reinigungsservice; oder fehlerhafte Gestaltung; mangelhafte Ausführung; ungünstige Topographie	5.50

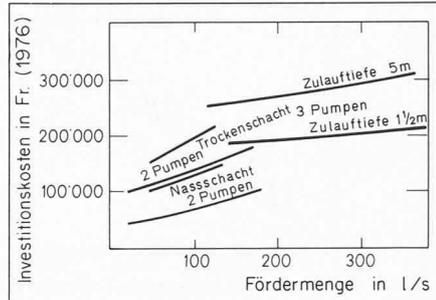


Bild 10. Investitionskosten von Abwasserpumpwerken

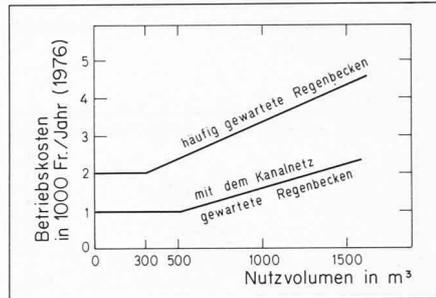


Bild 11. Betriebskosten von Regenbecken

- Mittlerer Baugrund, Spundwand, normale Wasserhaltung
- Schlechter Baugrund, städtische Verhältnisse, komplizierte Wasserhaltung.

Als Ergänzung zu diesen Funktionen, die auf einfachen Massenauszügen und Richtpreisen basieren, sind in Bild 9 auch Kosten von realisierten Regenbecken dargestellt. Sie zeigen die grosse Streuung und die z.T. auch grossen Abweichungen von den aufgestellten Funktionen (speziell in städtischen Verhältnissen).

Investitionskosten für Abwasserpumpwerke

Diese Angaben basieren auf einer Untersuchung über die Investitionskosten der Pumpwerke im Jahre 1970 von Munz [4]. Auf der Vorprojektstufe wurden für Pumpwerke in mehreren Ausführungsvarianten (Nass- und Trockenschachtaufstellung, Zulauftiefe zwischen 1,5 bis 5 m, Pumpmengen von 50-300 l/s für H_{mano} zwischen 10 bis 30 m) die Investitionskosten untersucht. Die Kosten für Erd- und Baumeisterarbeiten wurden aufgrund von Massenauszügen, die Kosten für maschinelle Ausrüstung, Steuerung und Montagen aufgrund von Offerten ermittelt. Diese Kostenangaben sind in Bild 10 grafisch zusammengestellt.

Betriebskosten

Betriebskosten für Kanalisationsleitungen

Für die Ermittlung der Betriebskosten im Kanalnetz stehen relativ wenig Daten zur Verfügung, so dass man hier

keine eigentliche Kostenfunktion aufstellen konnte. Das Ing.-Büro Basler + Hofmann [13] hat die jährlichen Betriebskosten des Kanalnetzes auf etwa 2-3 Fr./m³ geschätzt. Sie umfassen

- Reinigung von Kanälen und Regenbecken,
- Absaugen von Schächten,
- baulicher Unterhalt,

wobei teilweise auch Betriebskosten von Pumpwerken inbegriffen sind. Gemäss Erhebungen in der Stadt Zürich und im Kt. Baselland betragen die Betriebskosten etwa 6 Fr./m³. Da es sich hier um zwei Spezialfälle handelt, können diese Angaben nicht als allgemein repräsentativ oder als Mittelwert betrachtet werden.

Als am brauchbarsten können die Angaben von H. Weber [14] betrachtet werden, die aufgrund einer Umfrage bei 12 Bauverwaltungen ermittelt wurden. Diese Daten lassen sich aber nicht in einer einfachen Kostenfunktion darstellen, da der eindeutige, kostenbestimmende Parameter fehlt; sie konnten jedoch für die Kostenbewertung tabellarisch zusammengestellt werden (Tabelle 5).

Betriebskosten für Regenbecken

Die Betriebskosten für Regenbecken wurden durch Anfragen bei verschiedenen Kläranlagen und Gemeinden untersucht. Aufgrund der verschiedenen Informationen konnten folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

- Der Hauptunterschied bei Betriebskosten für Regenbecken liegt in der Häufigkeit der Reinigung. Die Regenbecken auf dem Areal einer Kläranlage werden praktisch nach jeder Leerung gereinigt, die Regenbecken im Kanalisationsnetz werden wesentlich weniger gewartet.
- Mit den erhaltenen Angaben konnte direkt keine Kostenfunktion aufgestellt werden, hingegen konnten die Personal-, Energie- und Materialkosten für Regenbecken mit Nutzinhalt zwischen ~ 100 und 1500 m³ grob geschätzt und eine hypothetische Kostenfunktion für den Gebrauch in der Glattalstudie aufgestellt werden (Bild 11).

Betriebskosten für Pumpwerke

Als Betriebskosten wurden die Wartungs- und Reparaturkosten sowie die Energiekosten berücksichtigt. Die jährlichen Wartungs- und Reparaturkosten wurden pauschal zu Fr. 1000.- + 1,5% der totalen Baukosten angenommen (nach Munz [4]). Der Energieverbrauch beträgt

$$\frac{\text{Pumpmenge [m}^3\text{]} \cdot H_{mano} [\text{m}]}{367 \cdot \eta} \text{ [kWh]}$$

Bei Zentrifugalpumpen wurde für Pumpen (η_p) und Motoren (η_m) ein Wirkungsgrad von je 0,7 angenommen, was einen Gesamtwirkungsgrad η von $0,7 \times 0,7 \approx 0,5$ ergibt. Der bessere und konstantere Wirkungsgrad der Schneckenpumpen ($\eta_p = 0,8$) wurde beim Energiebedarf mitberücksichtigt.

Die jährlich in der Mischkanalisation zu fördernde Abwassermenge setzt sich aus Trockenwetter- und Regenwasseranfall zusammen. Dabei gilt die Annahme, dass in den Pumpwerken bei Regenwetter nicht mehr als das 2- bis 4fache des Trockenwetteranfalls gepumpt wird (keine Regenwasserpumpwerke). Die Untersuchungen in 15 Kläranlagenzuläufen im Glattal ergaben im Mittel einen Zuschlag von 15–20% (Regenwasser + Schmelzwasser) zum mittleren Trockenwetteranfall. Dieser Wert stimmt gut mit Angaben von *Munz* [15] überein, der die jährlich zu fördernde Abwassermenge in der Mischkanalisation für Gebiete mit 3 unterschiedlichen Besiedlungsdichten zusammengestellt hat (Tab. 6).

Verifikation der Kostenfunktionen

In einer Verifikation wurden die effektiven (auf Kostenniveau 1976 indexierten) und die mit den aufgestellten Kostenfunktionen berechneten Investitions- und Betriebskosten für einige Kläranlagen im Glattal verglichen (Tabellen 7 und 8). Zusätzlich wurden die durch die beschriebenen Kostenfunktionen ermittelten Investitionskosten im Rahmen eines Vorprojektes für die Erweiterung von bestehenden Kläranlagen und der Einführung der weitergehenden Abwasserreinigung im Glattal [16] überprüft. Ziel dieses Vorprojektes (als Anschlussarbeit an die durchgeführte abwassertechnische Studie) war vor allem die Überprüfung der Kostenberechnungen für die neu zu erstellenden Kläranlagenteile. Diese detaillierten Kostenuntersuchungen haben praktisch bei allen Positionen und Varianten der Abwasserreinigung nur kleine Differenzen (<10%) gegenüber den Berechnungen in der Studie ergeben. Größere Differenzen wurden bei der Kanalisation festgestellt (zu kleine Kosten in der Studie), was vor allem auf besonders schwierige Situationen in den städtischen und vorstädtischen Verhältnissen (Autobahnkreuzung usw.) zurückzuführen ist.

Tabelle 6. Jährlich zu fördernde Wassermenge in der Mischkanalisation (in m^3 /Jahr) bei unterschiedlicher Dichte der Besiedlung (nach *Munz* [4])

Einwohnerdichte		Zuschlag zu TWA [%]
[E/ha _{eff}]	[E/ha _{red}]	
30	100	30–36
90	230	18–20
270	530	10–11

Tabelle 7. Verifikation der Funktionen für Investitionskosten von Kläranlagen

Kläranlage	Investitionskosten [Mio Fr.]		
	effektiv		berechnet
	bei Inbetriebnahme	indexiert 1976	
Fällanden	15,0 ¹	15,0 ¹	14,5 ²
Dübendorf	2,8 ³	4,9 ³	4,2 ²
Bassersdorf	6,1 ²	6,9 ²	6,9 ²
Niederglatt	7,5 ³	8,9 ³	7,0 ²
Bülach	6,8 ¹	8,0 ¹	7,8 ²
Glattfelden	1,0 ¹	1,9 ¹	1,7 ²

¹ inkl. Bauland

² ohne Bauland

³ inkl. Pumpwerk, Regenbecken und Land

Tabelle 8. Verifikation der Funktionen für die Betriebskosten der Kläranlagen

Kläranlage	Betriebskosten [in 1000 Fr.]	
	effektive (1974–75)	berechnete (1976)
Bassersdorf	182	157
Niederglatt	320	334
Bülach	255	274
Glattfelden	40	33

Schlussbemerkung

Die in dieser Publikation zusammengestellten Informationen zeigen dem Projektverfasser einer abwassertechnischen Studie das mögliche Vorgehen und die Datenbasis bei der Kostenbewertung von abwassertechnischen Anlagen. Die auf die vorgeschlagene Weise ermittelten Investitions- und Betriebskosten bilden die Grundlage für

Literatur

- [1] *Bundi, U.*: «Gewässerschutz in der Schweiz – Sind die Ziele erreichbar?» Schlussbericht der Studie «Gewässerschutz 2000». Verlag Paul Haupt, Bern, 1981
- [2] *EAWAG*: «Regionale abwassertechnische Studie Glattal», Teil I und II, 1978, und Teil III, 1979
- [3] *Imhoff K. u. K.*: «Taschenbuch der Stadtentwässerung». R. Oldenbourg Verlag, München, 1976
- [4] *Munz, W.*: «Abwasser». Lehrmittel über Kanalisationstechnik und die Projektierung von Kläranlagen. Lehrmittelverlag Juventus, Zürich, 1975
- [5] *Hoffmann, J.*: «Sammlung, Organisation und Nutzung von Daten über Stand der Klärtechnik, Bemessung und Kosten». Band 33 der Reihe Gewässerschutz-Wasser-Abwasser, Aachen, 1979
- [6] *Neegard, J.*: «Die Kosten der biologischen Abwasserreinigung». ETH-Dissertation Nr. 5335. Juris Druck+Verlag, Zürich, 1975
- [7] Bundesamt für Umweltschutz: «Stand der kommunalen Abwasserreinigung in der Schweiz am 1. Januar 1979»
- [8] *Roberts, P.V. und Krejci, V.*: «Kosten-Nutzen-Analyse bei der Gewässerschutzplanung». EAWAG-Separatum Nr. 520, 1975
- [9] *Boller, M.*: Persönliche Mitteilung
- [10] *Boller, M., Eugster, J. und Weber, A.*: «Erfahrung mit der ersten schweizerischen Flockungsfiltrationsanlage auf der Kläranlage Hochdorf». Gas-Wasser-Abwasser Nr. 11, 1981
- [11] *Milani, B., Mihalyfy, E. und Becher, D.*: «Der Einsatz der Filtration in der kommunalen Abwasserreinigung». VSA-Fachtagung «Abwasserfiltration» vom 4.–5.11.1982 in Zürich
- [12] *Landert, H.J.*: «Die Ermittlung der Baukosten für die abwassertechnische Vergleichsstudie». VSA-Hospitantentagung 20.–21.10.1972 in Gwatt
- [13] Ing.-Büro Basler+Hofmann: Kostenuntersuchungen im Rahmen der Studie «Gewässerschutz 2000» (EAWAG-Intern, 1977)
- [14] *Weber, H.*: Kostenuntersuchungen im Rahmen der Studie «Gewässerschutz 2000» (EAWAG-Intern, 1977)
- [15] *Munz, W.*: Persönliche Mitteilung
- [16] Ing.-Büro Toscano-Bernardi-Frey AG: «Detailuntersuchung Sanierung Abwasserschwerpunkt Dübendorf/Zürich-Leutschenbach/Opfikon». Zürich, 1979
- [17] *Munz, W.*: «Methodik der Kostenvergleiche». EAWAG-Separatum Nr. 932, 1983

den Kosten- und Wirtschaftlichkeitsvergleich der untersuchten Massnahmenvarianten. Die Methodik und das Vorgehen bei der Durchführung des eigentlichen Wirtschaftlichkeitsvergleiches von Abwasseranlagen wird in einer neueren Arbeit von *Munz* [17] detailliert dargestellt.

Adresse der Verfasser: *R. Schertenleib*, dipl. Ing. ETH, *V. Krejci*, dipl. Ing., und *Dr. W. Gujer*, Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG), 8600 Dübendorf.