

DIPLOMARBEIT

zum Erwerb des akademischen Grades Diplomingenieur
der Studienrichtung
Wirtschaftsingenieurwesen – Bauwesen

vorgelegt von

EHGARTNER Jörg / GRABNER Andreas

eingereicht am Institut
für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau
der Technischen Universität Graz
Vorstand: Univ.-Prof., DDipl.-Ing. Dr.techn. Harald KAINZ

Thema der Diplomarbeit:

**Kostenentwicklung / Investitionskostenanalyse
von Kläranlagen
in der Steiermark**

Begutachter: Univ.-Prof., DDipl.-Ing. Dr.techn. Harald KAINZ
Betreuer: Univ.-Ass., Dipl.-Ing. Martin HOCHEDLINGER

Graz, im März 2003

Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche erkenntlich gemacht habe.

Graz, im März 2003

.....
Jörg Ehgartner

.....
Andreas Grabner

Danksagung

An dieser Stelle bedanken wir uns sehr herzlich bei unseren Eltern, die uns die Ausbildung an der TU – Graz ermöglicht haben.

Besonders danken wir dem Institut für Siedlungswasserbau und Landschaftswasserbau, insbesondere

Univ.-Prof., DDipl.-Ing. Dr.techn. Harald Kainz
Ao.Univ.-Prof., Dipl.-Ing. Dr.techn. Ernst Peter Kauch
Univ.Ass., Dipl.-Ing. Martin Hochedlinger

Sowie dem Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft unter seinem Vorstand

O.Univ.-Prof., Dipl.-Ing. Dr.mont. Gert Stadler

Weiters danken wir allen Mitarbeitern der FA 19A und 19C des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung, die uns bei unserer Arbeit unterstützt und uns immer weiter geholfen haben. Insbesondere Ing. Manninger für die laufende Betreuung und Unterstützung sowie Dipl.-Ing. Lesky für alle Ideen und Anregungen vor allem aber für die Ermöglichung dieser Arbeit.

Graz, im März 2003

Jörg Ehgartner, Andreas Grabner

Kurzfassung / Ehgartner

Die Fachabteilung für Abwasserentsorgung des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung gab den Auftrag, die Investitionskosten von kommunalen Kläranlagen in der Steiermark zu untersuchen. Besonders zu beachten war die zeitliche Entwicklung und der Vergleich der Regionen und Anlagentypen. In einem ersten Arbeitsschritt, welcher in dieser Arbeit durchgeführt wurde, sollte der Kostenvergleich angestellt werden. Die vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Daten wurden einer Plausibilitätsprüfung unterzogen und aufbereitet. Insgesamt standen Kosten für die Neuerrichtung von 151 Anlagen sowie Kosten für 36 Anlagen, die an den Stand der Technik angepasst wurden, zur Verfügung. Zunächst wurden die Kosten mit einem Index auf ein Basisjahr bezogen. Für den Kostenvergleich wurden die Daten in Ausbaugröße, Region und Anlagentyp aufgeteilt. Zur Bildung spezifischer Kosten diente als Bezugsgröße der Einwohnergleichwert.

Abstract / Ehgartner

The Water Management Department of the styrian government commissioned the analysis of investment costs of waste water treatment plants, also considering the temporal development and the comparison of different regions and systems. In a first step the comparison of the costs was realized. Therefore the data were examined due to correctness. Cost data of 151 new waste water treatment plants and cost data for 36 waste water treatment plants adapted to the state of the art were available. For further analyse costs had been divided according design capacity, region and different systems. As reference size the population equitation value was used.

Kurzfassung / Grabner

Auf Anregung der Fachabteilung 19 A der Steiermärkischen Landesregierung wurden Investitionskosten von kommunalen Kläranlagen in der Steiermark untersucht. Im ersten Schritt wurde ein geeignetes statistisches Verfahren gesucht, auf dessen Basis eine plausible Interpretation über die Entwicklung der spezifischen Investitionskosten in Abhängigkeit der Ausbaugröße, gemacht werden konnte. Mit Hilfe der nichtlinearen Regressionsrechnung wurden Kostenfunktionskurven mit zugehörigem Konfidenzintervall ermittelt, und drei Regionen sowie zwei verschiedene Systeme von Abwasserreinigungsanlagen, bis zu einer Ausbaugröße von 5000 Einwohnergleichwerten, miteinander verglichen. Die genauere Betrachtung galt den Gesamtinvestitionskosten sowie Investitionskosten der in einer anderen Arbeit bestimmten Kostengruppen. Die zeitliche Veränderung der Investitionskosten wurde unter Berücksichtigung der Preissteigerung in Form von Gesamtinvestitionskosten pro Jahr und Einwohnergleichwert, dargestellt. Kommunale Kläranlagen, die überdurchschnittliche Investitionskosten aufwiesen, sind einer vertieften Analyse, nach der Ursache ihrer Abweichung, unterzogen worden.

Abstract / Grabner

The Water Management Department of the styrian government requested an investigation of investment costs of waste water treatment plants in styria. The first step was to find a suitable statistical method for a deeper research of the investment costs based on the design capacity. In a second step the waste water treatment plants were divided in design capacity, region and systems. By means of non-lineare regression analysis cost functions curves were created including the confidence interval. Waste water treatment plants of three regions as well as two different kind of sytems to a design capacity of 5,000 population equivalent were evaluted. The total investment costs were further analysed. For the chronological change increasement of the total investment costs were built. Finally a detailanalysis was made for selected waste water treatment plants with high investment costs.

KURZFASSUNG	II
ABSTRACT	II
1 EINLEITUNG	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.1.1 Aufgabenstellung	1
1.1.2 Zielsetzung	1
1.1.3 Rahmenbedingungen und Vorgehensweise	1
1.2 Amt der Steiermärkischen Landesregierung	3
1.2.1 Entwicklung der Abwasserentsorgung	3
1.2.2 Organisation	4
1.2.3 FA 19A - Wasserwirtschaftliche Planung und Hydrographie	5
1.2.4 FA 19C - Siedlungswasserwirtschaft	5
2 VERFAHREN IN DER ABWASSERREINIGUNG	7
2.1 Mechanische Reinigung	8
2.1.1 Grobstoffabscheidung	8
2.1.1.1 Rechen	8
2.1.1.2 Siebe	9
2.1.1.3 Filter	10
2.1.2 Schwerkraftabscheidung	10
2.1.2.1 Schotterfang	10
2.1.2.2 Sandfang	11
2.1.2.3 Belüfteter Sandfang	11
2.1.2.4 Absetzbecken – Vorklärbecken	12
2.1.2.5 Rechteckbecken	13
2.1.2.6 Rundbecken	14
2.1.2.7 Trichterbecken	15
2.1.3 Ausgleichsbecken	15
2.2 Chemische Reinigung	16
2.2.1 Allgemeines	16
2.2.2 Einsatz und Leistungsfähigkeit	17
2.2.3 Fällmittel	17
2.3 Biologische Reinigung	18
2.3.1 Aerobes Abbau organischer Kohlenstoffverbindungen	19
2.3.2 Nitrifikation	19
2.3.3 Denitrifikation	22
3 ALLGEMEINE GESETZLICHE GRUNDLAGEN UND AUSFÜHRUNGSBESTIMMUNGEN ...	25
3.1 Bestimmungen und Grundlagen	25
3.1.1 Wasserrechtsgesetz 1959 (WRG)	25
3.1.2 Umweltförderungsgesetz 1993 (UFG)	26
3.1.2.1 Förderungsrichtlinien 1999	27
3.1.3 Ablauf einer Förderung	28
4 GRUPPENEINTEILUNG	31
4.1 Allgemein	31
4.2 Spezifische gesetzliche Bestimmungen	34
4.2.1.1 Wasserrechtsgesetz 1959 (WRG)	34
4.2.1.2 1. Abwasseremissionsverordnung	36

4.2.1.3	Umweltförderungsgesetz 1993 (UFG).....	38
4.2.1.4	Förderungsrichtlinien 1999	39
4.3	Neubau, Anpassung an den Stand der Technik oder Sanierungen	40
4.4	Ausbaugröße.....	41
4.4.1	Einwohnergleichwerte	41
4.4.2	Einteilung nach Ausbaugröße	42
4.4.2.1	Spezifische Investitionskosten.....	43
4.5	Regionen	45
4.6	Anlagentypen	46
4.6.1	Allgemein.....	46
4.6.2	Beleungsverfahren	46
4.6.2.1	Aufstauverfahren	48
4.6.2.2	Beleebungsanlagen im Durchlaufbetrieb.....	48
4.6.3	Anaerobe Schlammstabilisierung.....	50
4.6.4	Andere Verfahren der Abwasserreinigung	50
5	UNTERTEILUNG IN KOSTENGRUPPEN.....	51
5.1	Allgemein.....	51
5.2	Betriebsgebäude	53
5.3	Steuerung und Überwachung	55
5.4	Reinigung	56
5.5	Schlammbehandlung	58
5.6	Schlamm Entsorgung	59
5.7	Nebenkosten	60
6	DATEN	61
6.1	Technische Daten der FA 19A.....	61
6.2	Kostendaten der FA 19C.....	63
6.2.1	Kosten der Förderungsanträge	64
6.3	Index.....	68
6.3.1	Allgemeines	68
6.3.1.1	Baupreisindex	68
6.3.1.2	Baukostenveränderungen.....	69
6.3.1.3	Zeitgrundgebühr	70
6.3.2	Berechnung	70
6.3.2.1	Betriebsgebäude.....	72
6.3.2.2	Steuerung und Überwachung.....	72
6.3.2.3	Reinigung, Schlammbehandlung, Schlamm Entsorgung	74
6.3.2.4	Nebenkosten.....	75
6.3.3	Vergleich errechneter mittlerer Index - Verbraucherpreisindex	75
6.4	Darstellung und Aufbau der Daten.....	77
7	KOSTENVERGLEICH.....	80
7.1	Kosten	80
7.1.1	Kostenvergleiche in der Abwasserwirtschaft.....	80
7.1.2	Investitionskosten	81
7.1.2.1	Allgemein	81
7.1.2.2	Verwendete Investitionskosten	81
7.1.3	Spezifische Investitionskosten	82
7.1.3.1	Bezugsgrößen und Kennzahlen	82
7.1.3.2	Wahl der Bezugsgröße	83

7.1.4	Vergleichbarkeit der Investitionskosten.....	83
7.1.5	ÖNORM B 1801 – Kosten im Hoch- und Tiefbau, Kostengliederung	84
7.1.5.1	Anwendungsbereich	84
7.1.5.2	Begriffsbestimmungen	84
7.1.5.3	Objektgliederung.....	84
7.1.5.4	Kostenermittlung.....	85
7.1.5.5	Kostengliederung.....	85
7.1.5.6	Kostengliederung von Kläranlagen.....	86
7.2	Umfang und Darstellung der Daten	87
7.2.1	Allgemein.....	87
7.2.2	Anpassung an den Stand der Technik	89
7.2.3	Neubau	90
7.2.3.1	Gesamtinvestitionskosten und Investitionskosten der Kostengruppen	91
7.3	Aufteilung der Investitionskosten bei Neubauten.....	93
8	EINFÜHRUNG IN DIE STATISTIK	97
8.1	Regressionsgerade - Prinzip der kleinsten Quadrate	97
8.1.1	Allgemein.....	97
8.1.2	Berechnung	99
8.1.2.1	Beispiel zur Berechnung der Regressionsgeraden	103
8.1.3	Bestimmung eines Konfidenzintervalles für den	106
8.1.4	Regressionskoeffizienten	106
8.1.4.1	Beispiel zur Berechnung eines Konfidenzintervalles für den Regressionskoeffizienten	107
8.1.5	Bestimmung eines Konfidenzintervalles für den Mittelwert.....	109
8.1.5.1	Beispiel zur Berechnung eines Konfidenzintervalles für den Mittelwert.....	110
8.1.6	Test beim Regressionskoeffizienten	112
8.1.6.1	Beispiel zum Test beim Regressionkoeffizienten.....	112
8.1.7	Test der Linearität der Regression	113
8.1.7.1	Beispiel zum Test der Linearität der Regression.....	117
8.2	Nichtlineare Regression 2. Art - Prinzip der kleinsten Quadrate	120
8.2.1	Allgemein.....	120
8.2.2	Linearisierung durch Koordinatentransformation	120
8.2.2.1	Beispiel zur Bestimmung einer Potenzfunktion	122
8.2.3	Bestimmung eines Konfidenzintervalles bei nichtlinearer Regression.....	124
8.2.3.1	Beispiel zur Bestimmung eines Konfidenzintervalles bei nichtlinearer Regression .	124
9	STATISTISCHE ANALYSE	126
9.1	Vorbemerkung.....	126
9.2	Kostenanalyse der 3 Regionen.....	129
9.2.1	Analyse der 3 Regionen - Ausbaugröße 50 bis 500 EW.....	130
9.2.2	Analyse der 3 Regionen - Ausbaugröße 501 bis 1.000 EW	132
9.2.3	Analyse der 3 Regionen - Ausbaugröße 1.001 bis 5.000 EW	134
9.2.4	Kostenanalyse Betriebsgebäude - 50 bis 5.000 EW.....	137
9.2.5	Kostenanalyse Steuerung und Überwachung - 50 bis 5.000 EW	140
9.2.6	Kostenanalyse Reinigung - 50 bis 5000 EW.....	142
9.2.7	Kostenanalyse Schlammbehandlung - 50 bis 5.000 EW	145
9.2.8	Kostenanalyse Schlammentsorgung - 50 bis 5.000 EW	147
9.3	Kostenanalyse des Anlagentyps.....	148
9.4	Kostenentwicklung	149

10	URSACHENANALYSE	150
10.1	Region I	150
10.2	Region II	155
10.3	Region III	158
11	SCHLUSSFOLGERUNG EHGARTNER	159
12	SCHLUSSFOLGERUNG GRABNER	161
13	AUSBLICK	163
14	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	164
15	TABELLENVERZEICHNIS	168
16	LITERATURVERZEICHNIS	170
17	ANHANG	173

1 EINLEITUNG

1.1 Ausgangssituation

1.1.1 Aufgabenstellung

Auf Anregung der Fachabteilung 19A der Steiermärkischen Landesregierung, Referat III – Abwasserentsorgung, sind Kostenentwicklungen von Kläranlagen in der Steiermark zu untersuchen. In den letzten Jahren haben sich nach Meinung der Fachabteilung die Investitionskosten sowohl für den Neubau als auch für Umbauten, Anpassungen an den Stand der Technik und Erweiterung von Kläranlagen überproportional erhöht, unabhängig von der Größe der Abwassereinigungsanlagen. Die Untersuchungen betreffen Anlagen, die seit 1991 im Betrieb sind, da ein Jahr zuvor mit der Novellierung des Wasserrechtsgesetzes die Anpassung an den Stand der Technik verbindlich wurde. Mit der Abwasseremissionsverordnung wurden Grenzwerte und Sanierungsfristen festgelegt. Die behandelten Anlagen und verwendeten Kosten werden aus Gründen des Datenschutzes anonymisiert behandelt und dargestellt.

1.1.2 Zielsetzung

Ziel ist die Darstellung der spezifischen Investitionskosten von kommunalen Kläranlagen in der Steiermark in Abhängigkeit der Ausbaugröße sowie die Einteilung der Anlagen in Gruppen und das Aufzeigen von vorhandenen Trends. Die vom Amt der Steiermärkischen Landesregierung bereitgestellten Daten sind weiter aufzubereiten. Die zeitliche Veränderung der Investitionskosten ist anhand des Baupreisindex und der Baukostenveränderungen zu berücksichtigen. Um die Kosten der Kläranlagen vergleichen zu können, ist eine Einteilung in Ausbaugröße, Region und Anlagentyp vorzunehmen und eine geeignete Bezugsgröße zu wählen. Mit dieser Unterteilung sollen weitergehende Vergleiche zwischen den Regionen und Anlagentypen mit Hilfe von Kostenfunktionskurven möglich sein.

1.1.3 Rahmenbedingungen und Vorgehensweise

Nach Vorgabe der Zielsetzung durch den Auftraggeber und der Festlegung des Umfangs der Daten wurden die technischen Daten der FA 19A mit Daten der FA 19C, welche die Investitionskosten beinhalten, verglichen. Da alle zur Förderung beantragten Anlagen seit 1991 untersucht werden sollen, ergab sich, nach Rücksprache mit den zuständigen Referenten, eine Datenmenge von 187 Anlagen. Etwa ein Viertel der Anlagen wurde als Anpassung an den Stand der Technik, und

drei Viertel als Neubau zur Förderung verifiziert. Aufgrund der unterschiedlichen Randbedingungen und Ausführungsvarianten bei Anpassungen können diese Kosten nicht mit denen von Neuerrichtungen verglichen werden und wurden daher getrennt behandelt. Es wurden nur Anlagen untersucht, für die ein Förderungsansuchen an das Amt der Steiermärkischen Landesregierung gestellt wurde. Dementsprechend sind nur förderfähige Investitionskosten verglichen und analysiert worden.

Der Arbeitsfortschritt und die weitere Vorgehensweise wurde in ständiger Kommunikation mit dem Auftraggeber, vertreten durch Dipl.-Ing. Lesky, abgesprochen. Unter Mithilfe der jeweils verantwortlichen Referenten wurden die Daten auf ihre Plausibilität hin überprüft. Der Istzustand, der im Rahmen dieser Diplomarbeit ermittelt wurde, ist mit den Kostenansätzen der FA 19A, die den Sollwerten entsprechen, verglichen worden.

1.2 Amt der Steiermärkischen Landesregierung

1.2.1 Entwicklung der Abwasserentsorgung

Vor 30 Jahren wurde im Amt der Steiermärkischen Landesregierung (Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 19 C Siedlungswasserwirtschaft, 2002) eine eigene Fachabteilung zur Förderung von Maßnahmen der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung eingerichtet. In dieser Zeit waren die wasserrechtlichen Grundlagen der Siedlungswasserwirtschaft, insbesondere zur Behandlung von Abwässern, noch unpräzise. Die Steiermärkische Bauordnung, die mit 1.1.1969 in Kraft trat, übertrug dem jeweiligen Bürgermeister als Baubehörde die Kontrolle der Abwasserentsorgung, sofern nicht die Wasserrechtsbehörde zuständig war. Im Jahr 1985 waren die gesetzlichen Grundlagen im Wesentlichen noch dieselben. Das damals steigende Umweltbewusstsein der Gesellschaft legte deutlich offen, dass die gesetzlichen Vorgaben des Wasserrechtsgesetzes vielfach nicht erfüllt wurden. Im Mittelpunkt der öffentlichen Kritik standen Gewerbe- und Industriebetriebe. 1985 konnte aber bereits auf 117 bestehende und auf 20 im Bau befindliche Abwasserreinigungsanlagen hingewiesen werden. Diese Anzahl konnte inzwischen vervierfacht werden. Mit der Raumordnungsnovelle 1985 erfolgte eine Koppelung der Raumplanung mit der Abwasserentsorgung. Demnach war die Ausweisung von vollwertigem Bauland nur mehr bei einer ordnungsgemäßen Abwasserentsorgung möglich. 1987 wurde das Steiermärkische Grundwasserschutzprogramm zum Schutz des Grundwassers und damit der Trinkwasserversorgung erstellt. Dieses Schutzprogramm hatte neue landesrechtliche Bestimmungen zur Folge. 1988 wurde das neue Steiermärkische Kanalgesetz, bei dem sich der Anschlussverpflichtungsbereich von 50 auf 100 m erweiterte und die Ausnahmen für die Landwirtschaft abgeschafft wurden, in Kraft gesetzt. Die Novellierung des Wasserrechtsgesetzes 1990 brachte eine verbindliche Einführung des Standes der Technik sowie eine detaillierte Festlegung dieses Auftrages durch die Abwasseremissionsverordnungen. Dadurch wurde ein Qualitätsmaßstab für bestehende und künftige Abwasserreinigungsanlagen geschaffen, der einen neuerlichen Investitionsschub auslöste. Das Ökoprogramm 2000 sah vor, dass bis zum Jahr 2000 insgesamt 75 % der steirischen Haushalte, dem Stand der Technik entsprechend, an Kläranlagen angeschlossen sein sollten.

Im Landesumweltprogramm „Lust“ (15. Mai 2000) wurde die Richtung für die nächsten zehn Jahre vorgegeben. Ziel ist das Erreichen eines flächendeckenden Gewässerschutzes. Zu diesem Zwecke sollen noch weitere 600 Kläranlagen, mit einer Ausbaugröße von über 50 EW und über 15.000 Kleinkläranlagen errichtet werden. Dabei ist das Wasserrechtsgesetz zu berücksichtigen, welches die Anpassung aller Hauskläranlagen an den Stand der Technik verlangt.

1.2.2 Organisation

(Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 19C, 2002; Verwaltung Land Steiermark, 2002)

Seit 1. Jänner 2002 präsentiert sich die steirische Landesverwaltung mit einer veränderten Struktur. Auf Grundlage einer neuen Geschäftseinteilung wurde das Amt der Steiermärkischen Landesregierung reorganisiert, wobei vom Prinzip der Zusammenfassung fachlich naher Bereiche in Organisationseinheiten ausgegangen wurde. Ein weiterer Grundsatz war dadurch gegeben, diese Einheiten so groß zu gestalten, dass Überlegungen der Budget- und Personalplanung auf einer breiteren Ebene als bisher erfolgen können.

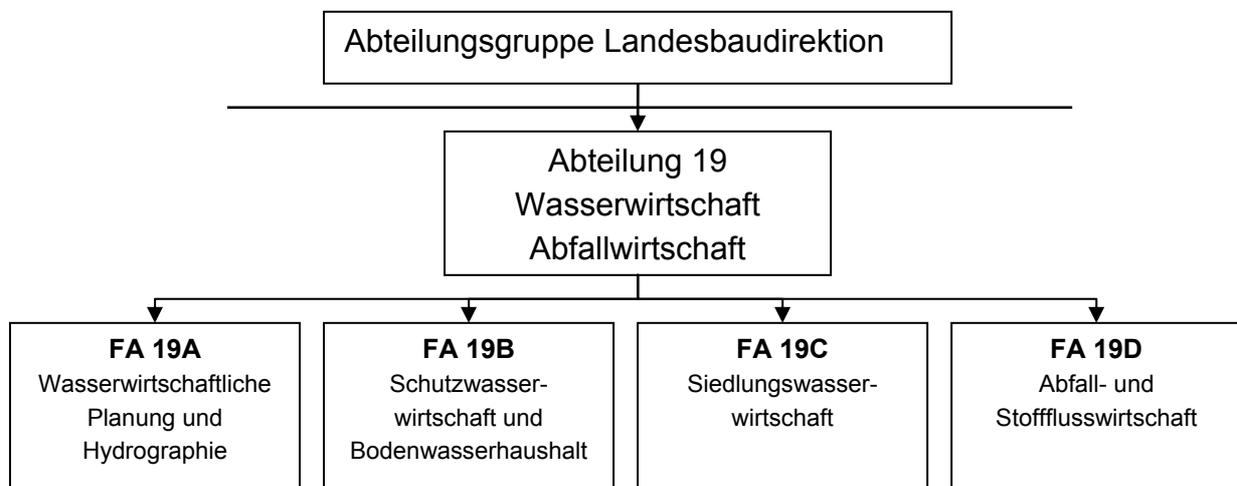


Abbildung 1: Organisationsform der Abteilung 19

Die Erfüllung der Aufgaben der Abteilungen der Landesbaudirektion erfolgt weiterhin in Zusammenarbeit mit den 7 Baubezirksleitungen. Die Baubezirksleitungen unterstehen unmittelbar der Landesbaudirektion, in fachlichen Angelegenheiten erfolgt die Kooperation mit der jeweils zuständigen Fachabteilung.

Die für diese Diplomarbeit benötigten Unterlagen bzw. Daten wurden von den Fachabteilungen 19A und 19C zur Verfügung gestellt. Die FA 19A ist in vier Referate, Hydrographie, Wasserversorgung, Abwasserentsorgung und Oberflächengewässer unterteilt. Eine der Zielsetzungen der Landesdurchführungsbestimmungen ist eine verstärkte Einbindung des Landes in die Planungsphase. Da die Sammlung der für die wasserwirtschaftliche Planung bedeutsamen Daten dem Referat III, Abwasserentsorgung, obliegt, sind in dieser Abteilung Informationen über den technischen Stand aller Abwasserreinigungsanlagen in der Steiermark vorhanden. Das Referat IV der FA 19C ist für die Prüfung der Abrechnungsunterlagen von Maßnahmen der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung sowie Feststellung

der förderungsfähigen Kosten verantwortlich. Aufgrund dieses Aufgabenbereiches war dieses Referat Ansprechstelle für Fragen und Informationen über Kosten der einzelnen Kläranlagen.

1.2.3 FA 19A - Wasserwirtschaftliche Planung und Hydrographie

(Verwaltung Land Steiermark, 2002)

Der Aufgabenbereich des Referates III der Fachabteilung 19A liegt in der Koordinierung von Abwasserentsorgungsplanungen gemäß § 55 Wasserrechtsgesetz 1959, unter Beachtung eines bestmöglichen Schutzes von Grund- und Oberflächenwässern.

Diese sind:

- Wahrnehmung wasserwirtschaftlicher Interessen im Rahmen von Wasserrechts- und anderen Behördenverfahren
- Mitwirkung bei der Erstellung von örtlichen Abwasserentsorgungsnachweisen zur Wahrnehmung der übergeordneten wasserwirtschaftlichen Interessen im Zusammenhang mit der Raumplanung
- Erstellung von abwasserwirtschaftlichen Konzepten, Studien und Untersuchungen
- Sammlung und Evidenthaltung abwasserwirtschaftlicher Daten
- Erhebung und Darstellung des siedlungswasserwirtschaftlichen Versorgungszustandes
- Beurteilung von Variantenuntersuchungen im Rahmen der Förderung von Abwasserentsorgungsanlagen gemäß Landesdurchführungsbestimmungen für die Siedlungswasserwirtschaft (LSW)
- Erprobung neuer und alternativer Entwicklungen auf dem Gebiet der Abwasserentsorgung und Klärschlammbehandlung (z.B. Pilotprojekte)
- Beratung von Abwasser- und Reinhaltverbänden, Gemeinden und Abwassergenossenschaften bei der Erfüllung ihrer abwasserwirtschaftlichen Aufgaben (Publikationen)

1.2.4 FA 19C - Siedlungswasserwirtschaft

Nach Verwaltung Land Steiermark, 2002, ist die Aufgabe der Fachabteilung 19C die Abwicklung der Bundes- und Landesförderungen für Maßnahmen der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung, kurz Maßnahmen der Siedlungswasserwirtschaft.

Im Zusammenhang mit der Bundesförderung werden die Aufgaben auf Basis einer Vereinbarung des Bundes mit dem Land Steiermark wahrgenommen. Die Abwicklung der Bundesförderung erfolgt in Zusammenarbeit mit dem

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, sowie der Kommunalkredit Austria AG, auf Basis einer Vereinbarung zum Umweltförderungsgesetz 1993.

Innerhalb des Landes Steiermark hat die FA 19C die Funktion der zentralen Förderstelle des Landes, wobei die Betreuung von Förderungsprojekten mit Unterstützung der FA 19A und den Baubezirksleitungen nach den Vorgaben der Landesdurchführungsbestimmungen für die Siedlungswasserwirtschaft erfolgt.

2 VERFAHREN IN DER ABWASSERREINIGUNG

„Als Abwasser versteht man Wasser, das dem natürlichen Kreislauf entnommen und in seiner Beschaffenheit (chemisch, physikalisch) nachteilig verändert wurde“. (Kainz et al., 2002)

Eine Abwasserreinigungsanlage hat die Aufgabe, die verschmutzten Wässer soweit zu reinigen, sodass die gesetzlichen Grenzwerte erfüllt sind und somit schädliche Auswirkungen auf den Vorfluter verhindert werden. Der Reinigungsprozess besteht einerseits aus der mechanischen Entfernung von Inhaltsstoffen und andererseits aus der biologisch - chemischen Umwandlung (bzw. Abbau) der Inhaltsstoffe.

Emissionswerte der Konzentrationen und Frachten sind durch den Gesetzgeber vorgegeben. Immissionswerte werden in Abhängigkeit der Wasserführung der Vorfluter individuell durch die Behörde bestimmt. Das Selbstreinigungsvermögen der Vorfluter steht im unmittelbaren Zusammenhang mit den Immissionswerten.

Abwasserreinigungsverfahren:

(Hosang & Bischof, 1998)

Natürliche Verfahren:

- Absetzen des Abwassers in Geländemulden mit Ausfaulen der am Boden lagernden Sinkstoffe
- Versickern des Abwassers auf Rieselwiesen
- Versickern des Abwassers in dränierten Bodenfiltern
- Abwasserfischeiche unter Verdünnung durch Bachwasser
- Verregnung des Abwassers
- Natürlich belüftete Oxidationsteiche
- Pflanzenanlagen

Künstliche Verfahren:

- Flach- oder Trichterbecken mit daneben gelagertem selbstständigen Faulraum und zweistöckige Absetzbecken mit unten liegendem Faulraum
- Fällungsbecken
- Tropfkörperverfahren
- Belebungsverfahren
- Belüftete Teiche
- Kombinationen als mehrstufige Kläranlagen
- Kombinationen künstlicher und natürlicher Verfahren als mehrstufige Kläranlagen

- Kombination von Belebungsanlagen mit Anlagen der Fällungsreinigung
- Tropfkörperverfahren oder Belebungsverfahren zur Nitrifikation und Anlagen zur Denitrifikation

2.1 Mechanische Reinigung

Die mechanische Reinigung wird zur Trennung von grobdispersen festen Stoffen aus der flüssigen Phase verwendet. Dieser Anlagenteil ist der erste Schritt des Reinigungsprozesses und setzt sich aus folgenden Methoden zusammen: (Pöppinghaus et al., 1994)

- Grobstoffabscheidung (Rechen, Siebe, Filter)
- Schwerkraftabscheidung (Schotterfang, Sandfang, Absetzbecken)
- Ausgleichsbecken

Bei der Behandlung von kommunalen Abwässern kommen die beiden ersten Verfahren zum Einsatz.

Bei der Grobstoffabscheidung werden künstliche Einbauten im Abwasserstrom eingesetzt und somit schwimmende Feststoffe zurückgehalten.

Bei der Schwerkraftabscheidung wird eine möglichst laminare Strömung hergestellt und somit eine Abscheidung durch Absetzen der Inhaltsstoffe herbeigeführt.

2.1.1 Grobstoffabscheidung

2.1.1.1 Rechen

(Hosang & Bischof, 1998)

Unter Rechen versteht man Roste, die im Abwasserstrom eingebaut werden, und welche Grobstoffe beim Durchfließen zurückhalten. Die Rechenreinigung erfolgt entweder manuell oder durch maschinelle Einrichtungen.

Je nach lichten Weiten zwischen den Rechenstäben unterscheidet man zwischen Grobrechen ($e = 60 - 100 \text{ mm}$) und Feinrechen ($e = 6 - 25 \text{ mm}$), wobei heute bei Neuanlagen nur mehr Feinrechen mit einem Stababstand von 6 bis 8 mm verwendet werden.

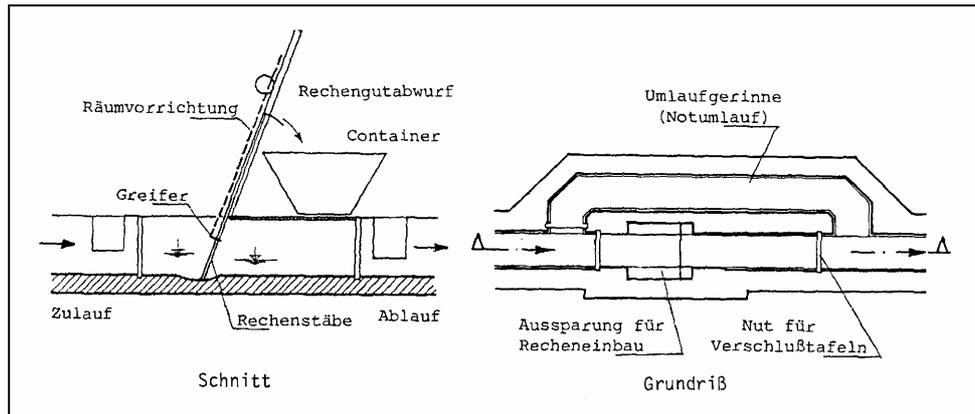


Abbildung 2: Einfacher Hakenrechen für eine mittlere Kläranlage (Kainz et al., 2002)

Bei jeder Rechenanlage muss ein Notumgehungsgerinne mit einem Grobrechen vorgesehen werden. Um Störungen durch Vereisung im Winter zu vermeiden, wird die Rechenanlage in einem geschlossenen und eventuell beheizbaren Rechenhaus errichtet. (Kainz et al., 2002)

Spalt- bzw. Lochweite	l / E . a (ungepresst)	l / E . a (gepresst)
15 – 20 mm	5 – 10	3 – 5
3 – 6 mm	10 – 15	4 – 7
1 – 2 mm	15 – 20	7 – 10
< 1 mm	20 – 40	15 – 20

Tabelle 1: Richtwerte für Rechengutmengen (Kainz et al., 2002)

2.1.1.2 Siebe

(Hosang & Bischof, 1998)

Der Unterschied zu den Rechenrosten besteht darin, dass Drahtgewebe, Lochbleche oder Spaltsiebe zur Grobstoffabscheidung verwendet werden. Die für den Durchfluss zur Verfügung stehenden Querschnitte haben eine Größe von 0,002 – 1 mm.

Siebe haben vor allem in der Industrieabwasserentsorgung große Bedeutung, werden allerdings zunehmend in der kommunalen Abwasserreinigung eingesetzt. Der Vorteil liegt im Schutz für nachgeschaltete maschinelle Einrichtungen, die durch Eintrag von Sand zu Störungen führen können.

Einteilung der Siebanlagen:
(Pöppinghaus et al., 1994)

- Siebbänder
- Siebtrommeln
- Spülsiebe
- Fangsiebe

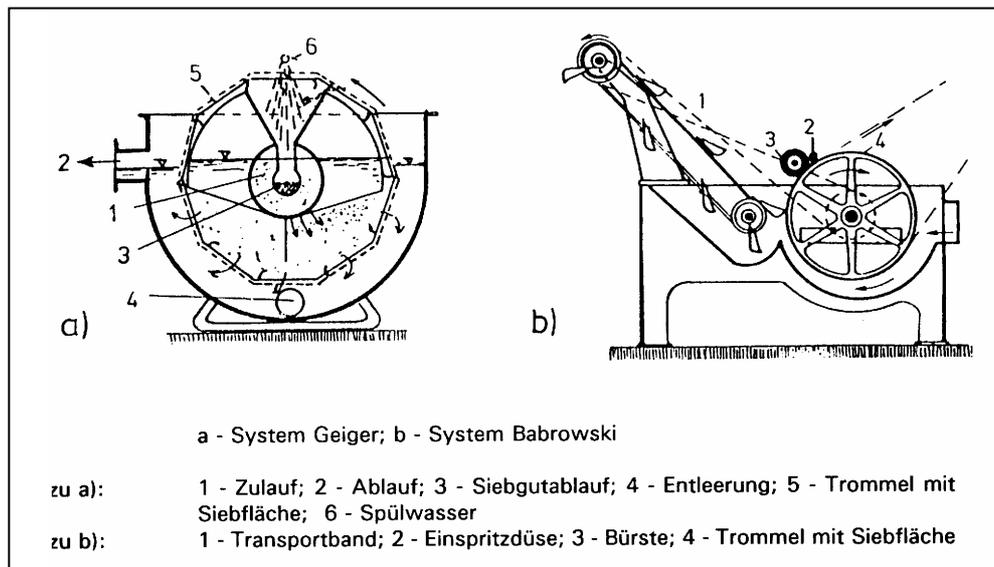


Abbildung 3: Siebtrommel (Pöppinghaus et al., 1994)

2.1.1.3 Filter

(Hosang & Bischof, 1998)

Filteranlagen als Tiefenfilter haben in der Abwasserreinigung eine eher untergeordnete Bedeutung. Sie werden im Allgemeinen verwendet, um einen weitergehenden Reinheitsgrad zu erfüllen, nicht aber um Abwässer vorzubehandeln.

2.1.2 Schwerkraftabscheidung

2.1.2.1 Schotterfang

Bei Mischkanalisation wird noch vor dem Rechenhaus ein Schotterfang angeordnet. Durch eine Vertiefung im Zulauf setzen sich die von Straßen eingebrachten groben Schotterkörner ab. Der Schotterfang ist der erste Teil der Anlage. Die Räumung des Schotterfanges erfolgt über Greifer oder Förderschnecken. Das Räumgut wird gereinigt und entsorgt.

2.1.2.2 Sandfang

(Kainz et al., 2002)

Bei Mischwasserkanalisationen ist mit dem Eintrag des Regenwassers auch ein Eintrag von Sand verbunden. Sand lagert sich im Rohrleitungssystem und in den Becken ab. Weiters ist mit einem erhöhten Verschleiß der Pumpen und anderer maschineller Einrichtungen zu rechnen. Eine Sandabscheidung ist daher unbedingt notwendig.

Das Prinzip eines Sandfanges ist, die Fließgeschwindigkeit des Abwasserstromes so weit zu verringern, dass sich Sandkörner absetzen, das leichtere Schmutzsubstrat jedoch in Schwebelage bleibt. Diese Bedingung wird mit einer Fließgeschwindigkeit von $v = 0,2 - 0,3 \text{ m/s}$ erfüllt.

In Abhängigkeit des Entwässerungssystems (Misch- oder Trennsystem), der Straßenoberflächen und der regelmäßigen Räumung von Schachteinläufen betragen die Sandmengen etwa $2 - 6 \text{ l / (E.a)}$.

Aus der Vielzahl an Sandfangkonstruktionen ist der belüftete Sandfang Stand der Technik. Rund- und Langsandfang sind mittlerweile veraltet und werden an dieser Stelle nicht erwähnt.

2.1.2.3 Belüfteter Sandfang

(Kainz et al., 2002)

Beim Langsandfang ist, auf Grund der schwankenden Zuflüsse, die Fließgeschwindigkeit von $v = 0,3 \text{ m/s}$ nicht einhaltbar. Dieses Problem führte zur Entwicklung des belüfteten Sandfanges.

Durch seitliches Einblasen von Druckluft wird im Querschnitt eine Umwälzströmung mit einer Geschwindigkeit von $v = 0,3 \text{ m/s}$ erzeugt. Dadurch wird ein Absetzen der leichten, organischen Stoffe verhindert, die schweren, mineralischen Stoffe setzen sich am Beckenboden ab und werden durch Räumereinrichtungen abgezogen.

Durch den Einbau einer längs angeordneten Tauchwand können zusätzlich Fette, Öle und andere Leichtstoffe abgeschieden werden. Diese Leichtstoffe gehen in die Schlammbehandlung und werden dort mitbehandelt. Dieser Typ des Sandfanges wird bei größeren Anlagen eingesetzt und ist unempfindlich gegen schwankende Zuflüsse.

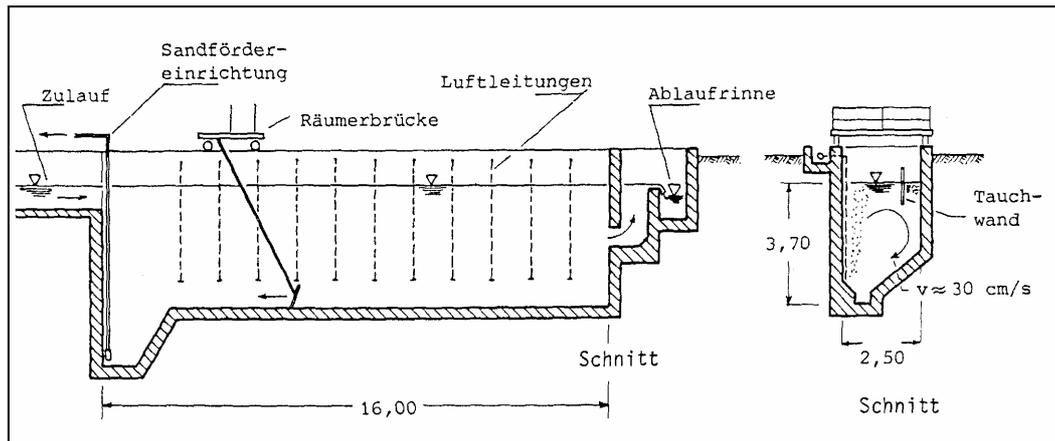


Abbildung 4: Belüfteter Sandfang (Kainz et al., 2002)

2.1.2.4 Absetzbecken – Vorklärbecken

(Pöppinghaus et al., 1994)

Im Vorklärbecken werden feste Stoffe bedingt durch Beruhigung des Strömungszustandes durch Absetzvorgänge am Boden abgelagert oder an die Oberfläche aufgeschwemmt. Diesen Vorgang nützt man in den verschiedenen Teilen der Anlage, wie bei der Vorklärung (absetzen der Feststoffteilchen), der Nachklärung (absetzen des Schlammes) oder bei der Schlammbehandlung im Eindicker. Die wichtigsten Faktoren des Absetzprozesses sind Bemessungsdurchfluss, Durchflusszeit, Dichte, Belastung mit Schwebestoffen, Flächenbeschickung, Flockung, Fließgeschwindigkeit, Temperatur und Geometrie der Vorklärbecken. Besonderes Augenmerk ist auf die Ausbildung des Zu- und Ablaufes zu legen. Die Räumung des Schlammes erfolgt durch Schilde und Sauger, die an einer Räumerbrücke montiert sind, oder über Räumerketten und Räumerbänder.

Es werden hauptsächlich drei Typen von Vorklärbecken unterschieden:

- Rechteckbecken
- Rundbecken
- Trichterbecken

Weiters gibt es, je nach Aufgabenbereich, eine Vielzahl an speziellen Konstruktionen.

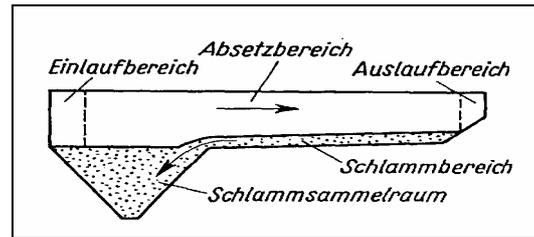


Abbildung 5: Schema des Absetzbeckens (Hosang & Bischof, 1998)

2.1.2.5 Rechteckbecken

(Pöppinghaus et al., 1994)

Rechteckbecken werden horizontal (längs oder quer) durchströmt und können entsprechend dem Fließvorgang in vier Zonen unterteilt werden:

- Die *Einlaufzone* hat die Aufgabe, das Abwasser über die Beckenbreite zu verteilen und zu beruhigen, um Turbulenzen zu unterbinden.
- Die *Trennzone* ist der größte Teil des Beckens, in dem die absetzbaren Stoffe einen schräg nach unten gerichteten Weg zurücklegen. Laminare Strömungsverhältnisse sind für diesen Vorgang Voraussetzung.
- Die *Auslaufzone* zieht das geklärte Abwasser gleichmäßig aus dem Becken ab. Schwimmstoffe werden über eine Tauchwand zurückgehalten.
- Die *Schlammzone* soll entsprechend der Schlammabeseitigung ausgebildet sein.

In der Schlammzone wird der abgesetzte Schlamm mit einer Räumereinrichtung, die am Beckenrand entlangfährt, in den Schlammtrichter befördert. Von dort wird der Schlamm über Pumpen abgezogen.

Der Querschnitt des Absetzbeckens wird ebenfalls in vier Zonen unterteilt:

- Klarwasserzone
- Trennzone
- Speicherzone
- Eindick- und Räumzone

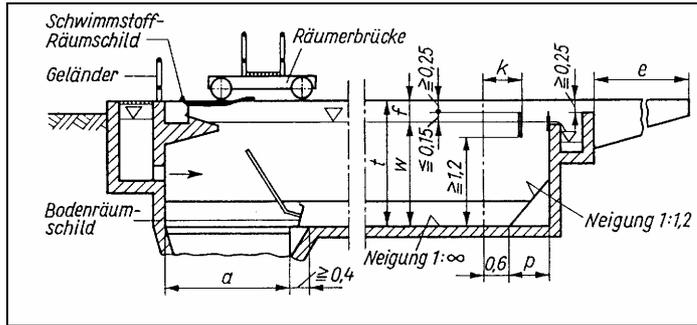


Abbildung 6: Rechteckbecken (Hosang & Bischof, 1998)

2.1.2.6 Rundbecken

(Pöppinghaus et al., 1994)

Das Rundbecken wurde aus dem Rechteckbecken entwickelt, indem man den Längsschnitt um die Achse der Einlaufwand rotieren ließ. Die Wirkung ist besser als bei Längsbecken, da die Teilchen, je weiter sie sich vom Zufluss entfernen, in immer größere Durchflussquerschnitte mit geringeren Tiefen gelangen, was zu besseren Absetzvorgängen führt.

Das Abwasser wird mittig über ein zentrales Rohr eingeleitet, fließt radial zum Beckenrand und von dort über eine umlaufende Rinne ab. Der abgesetzte Schlamm wird mittels Räumer in einen zentralen Schacht geschoben und dort abgezogen.

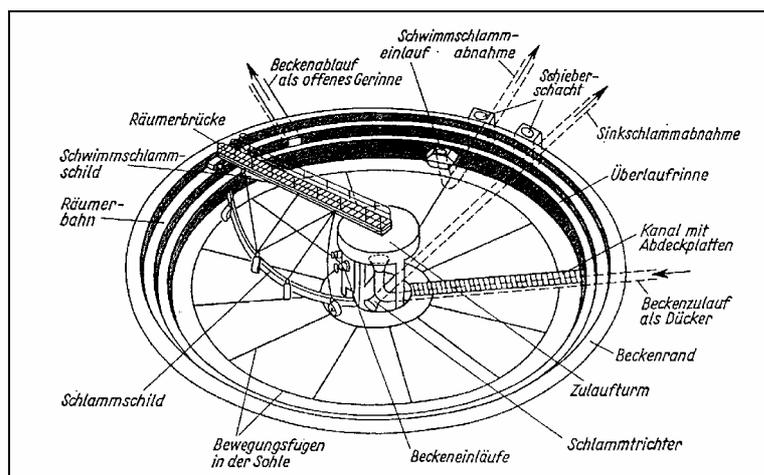


Abbildung 7: Rundbecken (Hosang & Bischof, 1998)

2.1.2.7 Trichterbecken

(Hosang & Bischof 1998)

Der Unterschied zu Rechteck- und Rundbecken liegt in der Sammlung des Schlammes. Durch die starke Neigung der Beckenwände (60°) sammelt sich der Schlamm selbstständig in der Spitze des Trichters.

Es gibt horizontal und vertikal durchflossene Trichterbecken. Bei vertikaalem Durchfluss (Dortmundbecken) bildet sich ein Flockenfilter unter der Wasseroberfläche, der ein Aufschwimmen der Flockenteilchen verhindert.

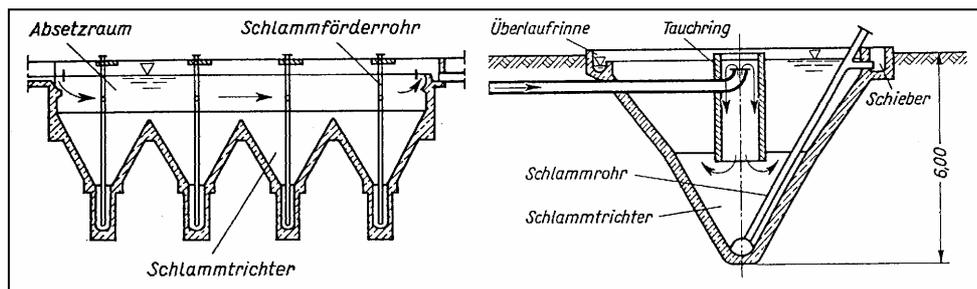


Abbildung 8: Horizontal durchflossenes und rundes Trichterbecken (Hosang & Bischof, 1998)

2.1.3 Ausgleichsbecken

(Pöppinghaus et al., 1994)

Ausgleichsbecken sind Anlagen, welche durch mechanische Vorgänge eine Mischung von Abwässern verschiedener Abflussmengen und Konzentrationen oder die Impfung mit anlagefremdem Belebtschlamm herbeiführen. Diese Becken werden auch zur Zugabe von Fällmitteln genutzt.

2.2 Chemische Reinigung

2.2.1 Allgemeines

(Pöppinghaus et al., 1994)

Unter chemischen Verfahren versteht man bei der Abwasserbehandlung Methoden, die auf chemischen oder chemisch – physikalischen Reaktionen beruhen. Diese Verfahren werden in der Abwasserbehandlung für folgende Effekte genutzt:

- Neutralisation fester Stoffe, die durch mechanische Reinigung nicht entfernt werden können
- Ausscheidung kolloider, meist organischer Stoffe und einiger gelöster anorganischer Stoffe
- Beseitigung der Restmengen an Fetten und Ölen
- Verbesserung des Kläreffekts von Flotations- und Filteranlagen
- Durch Verwendung von Chlor und Chlorsauerstoffverbindungen erzielbare Wirkungen wie:
 - Desinfektion
 - Bekämpfung von Algenwachstum
 - Frischerhaltung des Wassers
 - Entgiftung
 - Geruchsverhinderung
 - Entfärbung
 - Oxidation
 - Fliegenlarvenbekämpfung bei Tropfkörpern

Ablauf des chemischen Prozesses bei kommunalen Abwässern:

1. Dosierung eines Fällmittels in das Abwasser
2. Intensive Durchmischung des Fällmittels. Dabei entstehen unlösliche Verbindungen (Mikroflocken)
3. Flockenbildung (Mikroflocken → Makroflocken)
4. Abscheidung der Makroflocken durch Sedimentation oder Flotation

Diese Verfahrensschritte können in den mechanisch – biologischen Prozess der Abwasserreinigung integriert werden.

2.2.2 Einsatz und Leistungsfähigkeit

(Ernst & Sohn, 1985)

Mit der chemischen Fällung und Flockung kann neben einer weitergehenden Abwasserreinigung zur Phosphorelimination folgende Zielsetzung verfolgt werden:

- Entlastung biologischer Stufen, Verbesserung der Ablaufqualität
- Entfernung der den biologischen Prozess hemmenden Inhaltsstoffe
- Verbesserung der Beschaffenheit des belebten Schlammes

2.2.3 Fällmittel

(Ernst & Sohn, 1985)

Viele mehrwertige Metallionen bilden nach Zugabe zum Abwasser mit den darin gelösten Anionen unlösliche Verbindungen. Aus wirtschaftlichen Gründen werden oft zwei- und dreiwertige Eisen- oder Aluminiumsalze oder deren Lösung eingesetzt. Zweiwertiges Eisen muss im belüfteten Sandfang oder im Belebungsbecken jedoch zu dreiwertigem oxidiert werden.

Durch den Einsatz von Kalk wird der pH - Wert erhöht, was sich positiv auf die biologische Stufe auswirken kann, und wodurch der anfallende Mischschlamm bessere Entwässerungseigenschaften aufweist. Durch Erhöhung der Alkalität mittels Zugabe von Kalk kann einer Nitrifikationshemmung vorgebeugt werden.

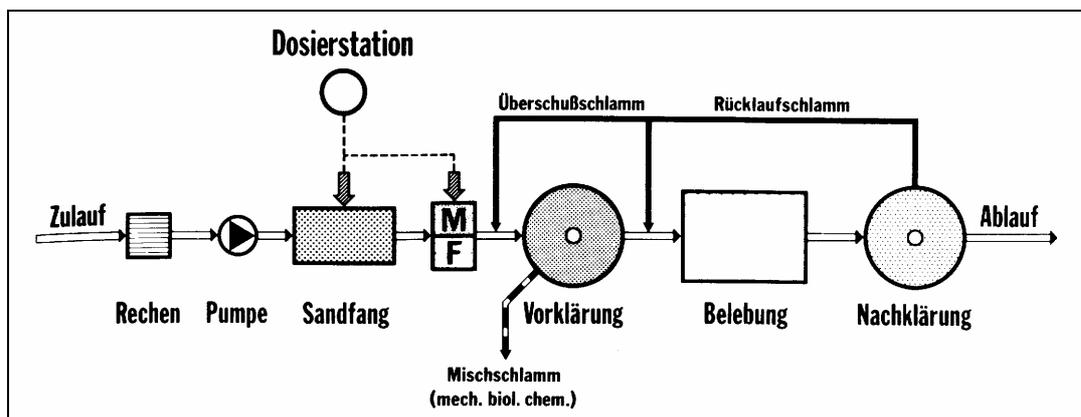


Abbildung 9: Fällmitteldosierung bei Vorfällung (Ernst & Sohn, 1985)

2.3 Biologische Reinigung

(Pöppinghaus et al., 1994)

Kommunales Abwasser enthält eine Menge an Substanzen in gelöster und ungelöster Form, die von Mikroorganismen zum Wachstum (Vermehrung) und zum Stoffwechsel (Erhaltung) genutzt und damit aus dem Abwasser entfernt werden können. Die Umwandlung dieser Substanzen kann im aeroben, im anoxischen oder im anaeroben Milieu stattfinden.

Für die Bakterien stellt das Abwasser mit organischen und anorganischen biologisch abbaubaren Inhaltsstoffen eine Nährlösung dar, in der sie sich entwickeln und vermehren.

Eine wichtige Rolle in der biologischen Reinigung spielen folgende Vorgänge:

Aerob:

- Abbau von Kohlenstoffverbindungen in CO_2 und Biomasse
- Oxidation von N_{org} und NH_4 in NO_3
- Oxidation von Schwefelverbindungen in SO_4

Anoxisch:

- Abbau von Kohlenstoffverbindungen in CO_2 und Biomasse
- Abbau von Nitrat NO_3

Anaerob:

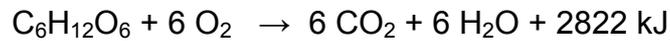
- Phosphorelimination
- Anaerobe Sulfatatmung mit der Umwandlung von SO_4 in S
- Gärung und Faulung, Umwandlung von Fetten, Eiweiß und Kohlenhydraten zu niedrigeren Fettsäuren, Alkohol, und H_2 , Weiterführung zu dem Endprodukt Methan (CH_4)

Um den biologischen Prozess der Mikroorganismen zu stabilisieren, muss die Lebensgrundlage erhalten bleiben. Technologisch können folgende Voraussetzungen nach Hosang & Bischof, 1998, genannt werden:

1. Zugänglichkeit der Schmutzstoffe gegenüber biochemischer Reaktion
2. Ausreichende Sauerstoffmenge
3. Ausreichende Nahrungsmenge (Substrat)
4. Keine giftigen oder hemmenden Inhaltsstoffe
5. Günstige Lebensbedingungen (Temperatur, pH - Wert, Verteilung der Abwasserinhaltsstoffe, des Sauerstoffs und der Organismen)
6. Ausreichende Kontaktzeit (Reaktionszeit)

2.3.1 Aerober Abbau organischer Kohlenstoffverbindungen

Von größter Bedeutung bei der Abwasserreinigung sind laut Pöppinghaus et al., 1994, die aeroben Kohlenstoffverwerter, die z. B. mit Hilfe von elementarem Sauerstoff Traubenzucker abbauen.



Verwertbare organische Kohlenstoffverbindungen, wie Kohlenhydrate, Fette und Eiweiß, werden in kurzer Zeit für Wachstum und Stoffwechsel aufgebraucht und auf diese Art aus dem Abwasser entfernt. Das macht sich durch Abnahme von BSB (Biochemischer Sauerstoffbedarf) und CSB (Chemischer Sauerstoffbedarf) bemerkbar.

Bei guter Sauerstoffzufuhr verläuft der aerobe Abbau biologisch verwertbarer organischer Kohlenstoffverbindungen vorrangig zu Kohlendioxid, Wasser und Zellsubstanz (Biomasse).

2.3.2 Nitrifikation

(Pöppinghaus et al., 1994)

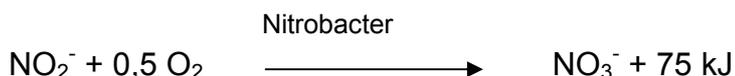
Ein wesentlicher Inhaltsstoff kommunaler Abwässer stellt der organische Stickstoff dar. Er gelangt als Harnstoff, durch menschliche und tierische Ausscheidung in das Kanalisationsnetz. Dort wird der organisch gebundene Stickstoff durch anaerobe Abbauvorgänge in Ammonium umgewandelt. Somit wird eine Existenzgrundlage für Ammonium- und Nitritoxidanten, auch als Nitrifikanten bezeichnet, geschaffen.

Die Umwandlung von Ammonium in Nitrat erfolgt in zwei Stufen:

In der ersten Stufe oxidieren Bakterien der Gattung Nitrosomonas Ammonium (NH_4) zu Nitrit (NO_2) nach der Gleichung:



Daran anschließend oxidieren Bakterien der Gattung Nitrobacter Nitrit (NO_2) zu Nitrat (NO_3) nach der Gleichung:



Beide Vorgänge laufen mengenäquivalent und gleichzeitig ab, das heißt, das von Nitrosomonas erzeugte Nitrit wird sofort von Nitrobacter zu Nitrat oxidiert. Das ist ein Grund, warum bei gut nitrifizierenden Anlagen im Ablauf kein Nitrit vorhanden ist.

Die beiden Gleichungen können als Gesamtreaktion wie folgt zusammengestellt werden:



Aus der Gleichung ist ersichtlich, dass die Nitrifikation ein mineralsäurebildender Vorgang ist, dem bei fehlender Alkalität des Abwassers durch Zugabe von alkalischen Mitteln entgegengewirkt werden muss. Zudem kann der pH - Wert auch durch Zugabe von Metallsalzen bei der Phosphorelimination herabgesetzt werden. Für einen reibungslosen Ablauf der Nitrifikation ist ein pH - Wert zwischen 7 und 8 erforderlich. Ab einem pH - Wert von 6,8 findet eine Nitrifikationshemmung statt.

Bei der Reaktion werden 2 H⁺- Ionen gebildet, durch die der pH - Wert beeinflusst wird. Diese Ionen reagieren mit dem im Wasser befindlichen Hydrogencarbonat HCO₃ und verbrauchen dabei Säurekapazität.

Autotrophe, nitrifizierende Bakterien vermehren sich mit einer Teilungszeit von 10 bis 30 Stunden viel langsamer als heterotrophe Kohlenstoffabbauer. Sie nehmen ihre Tätigkeit erst auf, wenn die kohlenstoffhaltigen Verbindungen bereits weitgehend abgebaut sind.

Die Nitrifikation ist also zum einen vom Schlammalter und damit von der BSB₅ – Schlammbelastung (B_{TS}) abhängig, zum anderen von der Temperatur.

Temperatur °C	Nitrosomonas		Nitrobacter		Schlammalter min. t _s (d)
	1/d	h	1/d	h	
10	0,29	82,6	0,58	41,4	3,44
20	0,76	31,6	1,04	23,1	1,32
30	1,97	12,2	1,87	12,8	0,53

Tabelle 2: Wachstumsrate der Nitrifikanten in Abhängigkeit der Temperatur (Mudrack & Kunst, 1991)

Die Nitrifikanten werden sich nur in einer Biozönose entwickeln können, die ihnen eine ihrer Generationszeit entsprechende Mindestverweilzeit garantiert.

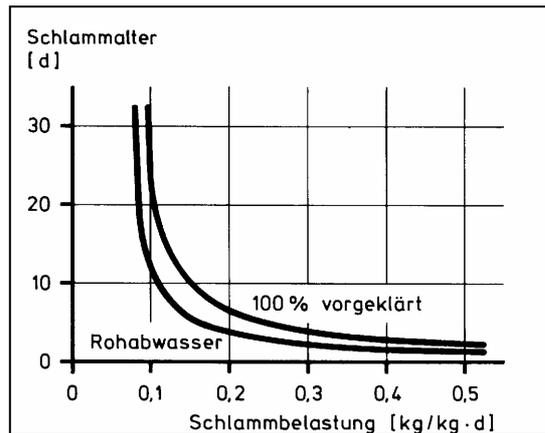


Abbildung 10: Abhängigkeit des Schlammalters von der Schlammbelastung (Kayser, 1971)

Um eine weitgehende Nitrifikation zu erreichen, ist es notwendig, dass das Schlammalter etwa das 2 bis 3 - fache der Generationszeit der Nitrifikanten beträgt, um der angebotenen Menge an N - Fracht zu entsprechen.

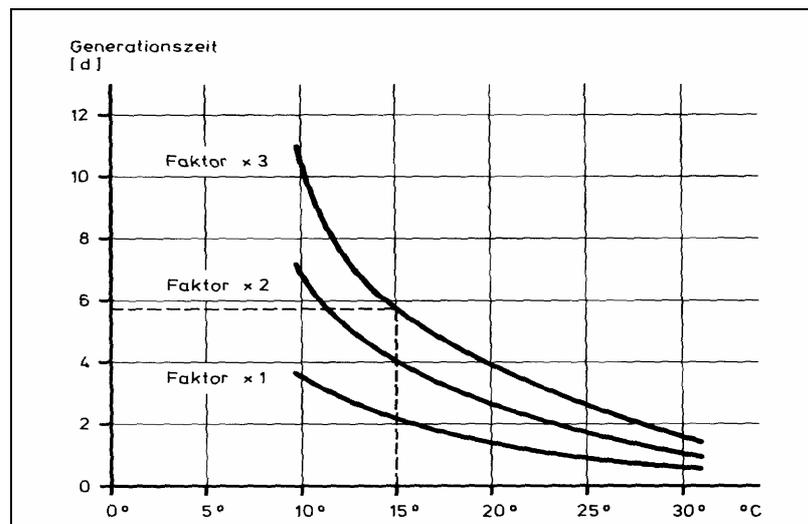


Abbildung 11: Abhängigkeit der Generationszeit von der Temperatur (Mudrack & Kunst, 1991)

Wertet man die in Tabelle 2 zusammengefasste Generationszeit nach Mudrack & Kunst, 1991, und das daraus resultierende Mindestschlammalter aus, so kann man erkennen, dass z.B. bei +15°C Wassertemperatur und einem Sicherheitsfaktor 3 das Schlammalter ca. 6 Tage betragen muss.

Für eine ganzjährige Nitrifikation wird laut Ernst & Sohn, 1985, bei unseren Klimaverhältnissen, eine Schlammbelastung von 0,15 kg BSB₅/kg TS.d als Bemessungswert angegeben.

Je nach Größe der Anlage ergeben sich Schlammalter von 8 – 10 Tagen. (vgl. Arbeitsblatt, ATV A 131, 2000)

Zusammenfassend kann man nach Mudrack & Kunst, 1991, sagen:

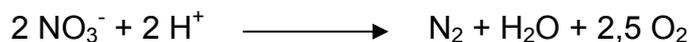
- Um eine Nitrifikation beim Belebungsverfahren durchzuführen, muss man das Schlammalter dem langsamen Wachstum der Nitrifikanten anpassen.
- Die Nitrifikation kann in einer Belebungsanlage auch nur zeitweise auftreten. Dies ist durch Belastungs- und Temperaturschwankungen zu begründen.
- Der zur Nitrifikation erforderliche Sauerstoffbedarf muss gedeckt sein.
- Der pH - Wert im Belebungsbecken wird absinken.

2.3.3 Denitrifikation

(Ernst & Sohn, 1985)

Im Gegensatz zur Oxidation der Stickstoffverbindungen bei der Nitrifikation erfolgt bei der Denitrifikation laut Mudrack & Kunst, 1991, eine Reduktion oxidierter Stickstoffverbindungen zu elementarem Stickstoff.

Aus der Reaktionsgleichung



wird ersichtlich, dass ein beträchtlicher Anteil des bei der Nitrifikation verbrauchten Sauerstoffs wieder zurückgewonnen werden kann. Außerdem werden 50 % der bei der Nitrifikation gebildeten H - Ionen wieder verbraucht, der pH - Wert steigt.

Während die Nitrifikation nur durch Nitrifikanten durchgeführt werden kann, ist eine große Anzahl an Bakterien des Belebtschlammes in der Lage, Nitrat anstelle des gelösten Sauerstoffs zur Atmung zu verwenden.

Der im Belebtschlamm gelöste Sauerstoff wird nach Unterbrechung der Belüftung schnell gezehrt, so dass sich nach kurzer Zeit ein anoxisches Milieu einstellt. Der belebte Schlamm verbraucht jetzt den im Nitrat gebundenen Sauerstoff und setzt gasförmigen Stickstoff frei.

Mit einer gezielten Denitrifikation kann erreicht werden:

- Entfernung der Stickstoffverbindungen über 90 %
- Erhöhung des pH - Wertes
- Vermindern des Energieaufwandes durch Verwendung des Nitratsauerstoffs für Oxidationsvorgänge

Denitrifikation ist nur in Kombination mit Nitrifikation möglich. Die möglichen Betriebsweisen sind nachfolgend beschrieben. (Ernst & Sohn, 1985)

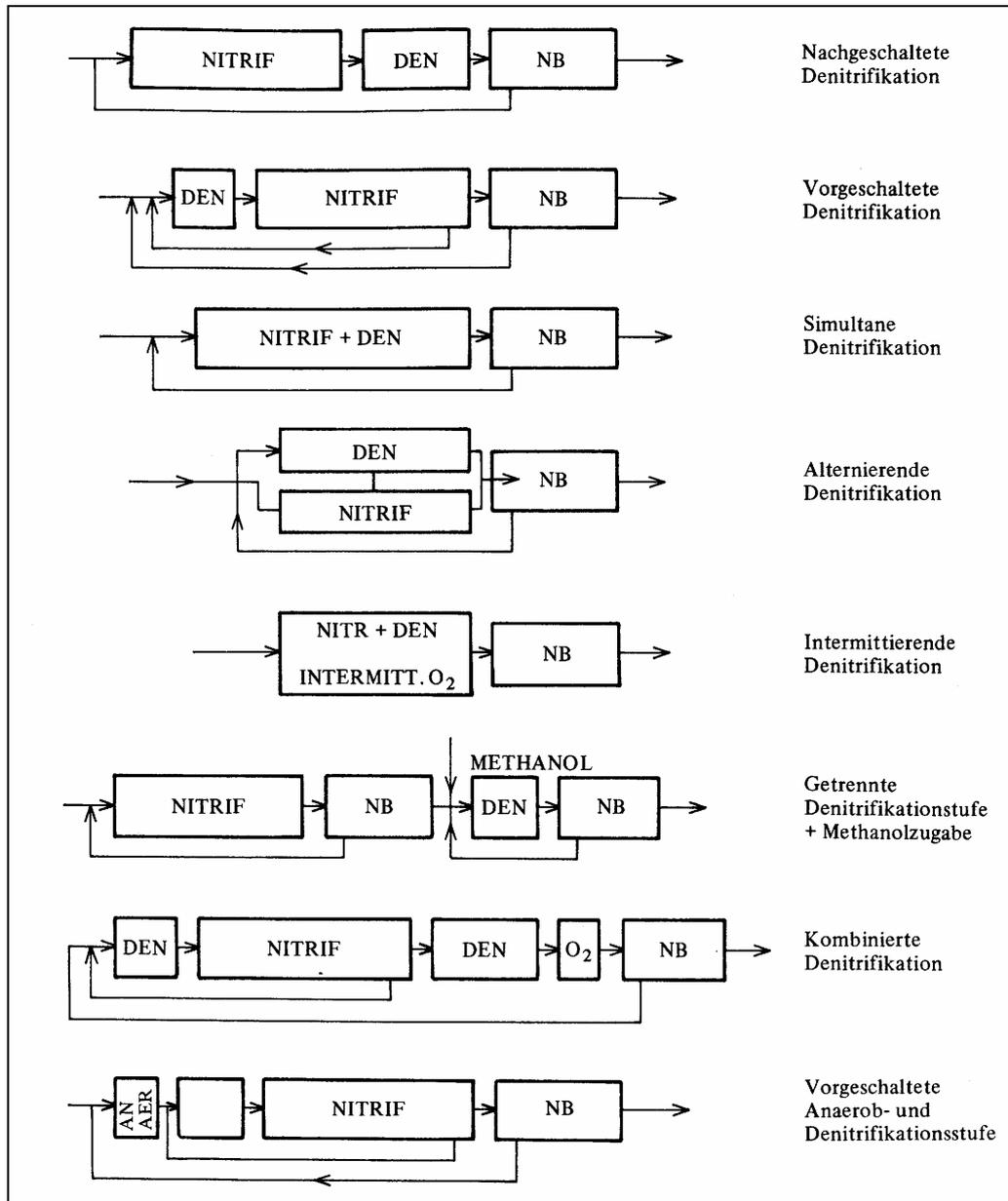


Abbildung 12: Betriebsarten der Stickstoffentfernung (Ernst & Sohn, 1985)

- Bei der nachgeschalteten Denitrifikation wird das Abwasser im Belebungsbecken möglichst vollständig nitrifiziert und anschließend wird im unbelüfteten, durchmischten Denitrifikationsbecken das gebildete Nitrat durch den belebten Schlamm veratmet. Meist bleibt die Denitrifikation unvollständig.
- Bei der vorgeschalteten Denitrifikation wird nitrathaltiger, belebter Schlamm mit dem zufließenden Abwasser in einem unbelüfteten Becken gemischt. Im Nitrifikationsteil soll der Sauerstoffgehalt nicht über 2 [mg/l] steigen.

- Bei der simultanen Denitrifikation werden in einem Becken abwechselnd belüftete und unbelüftete Zonen angeordnet, durch die das Abwasser strömt und entweder nitrifiziert oder denitrifiziert, wird.
- Alternierende Denitrifikation besteht aus zwei Belebungsbecken, die abwechselnd beschickt und belüftet werden.
- Intermittierende Denitrifikation besteht aus dem Wechsel zwischen aeroben und anoxischen Bedingungen im Belebungsbecken, die in einer zeitlichen Abfolge durch intermittierende Belüftung erreicht wird.
- Die anderen Denitrifikationsverfahren stellen Sonderkonstruktionen dar.

3 ALLGEMEINE GESETZLICHE GRUNDLAGEN UND AUSFÜHRUNGSBESTIMMUNGEN

3.1 Bestimmungen und Grundlagen

Die gesetzlichen Grundlagen des Bundes umfassen Wasserrechtsgesetz, Wasserbautenförderungsgesetz und Umweltförderungsgesetz. Auf Landesebene sind zusätzlich Bauordnung, Raumordnungsgesetz und Kanalgesetz zu berücksichtigen. Laut § 65 Abs. 1, „Entsorgungsanlagen für Abwässer und Niederschlagswässer“ des Steiermärkischen Baugesetzes gilt:

Bei baulichen Anlagen ist eine einwandfreie Entsorgung der anfallenden Abwässer und die Beseitigung der Niederschlagswässer auf Bestandsdauer sicherzustellen. Dafür erforderliche Anlagen sind so anzuordnen, herzustellen und instandzuhalten, dass sie betriebssicher sind und Gefahren oder unzumutbare Belästigungen nicht entstehen.

3.1.1 Wasserrechtsgesetz 1959 (WRG)

Grundsatz und Ziel des Wasserrechtsgesetzes ist die Reinhaltung der Gewässer im öffentlichen Interesse. Die Sauberkeit der Gewässer hat fundamentale Bedeutung für die Vermeidung von Gesundheitsgefährdung für Mensch und Tier. Die Erhaltung von Grund- und Quellwasser als Trinkwasser, die Bewahrung von Fischgewässern, die Erhaltung der Benutzungsfähigkeit von Gewässern zu Gemeingebrauch und die Vermeidung von Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes werden als Ziele des Gesetzes genannt.

In der Fassung der WRG – Novelle 1990 wurden zwei grundsätzliche Strategien zur Gewässerreinigung gesetzlich verankert:

- Vorsorgeprinzip
- Immissionsprinzip

Das Vorsorgeprinzip geht von der generellen Forderung nach Minimierung der Gewässerbelastung aus. Es ist die Abwasservermeidung nach dem Stand der Technik vorzunehmen. Dieses Prinzip mündete in der Erlassung der Allgemeinen Abwasseremissionsverordnung und der daraus folgenden branchenspezifischen Regelungen. Auf Grund dieses Gesetzes erlassen der Minister für Land- und Forstwirtschaft bzw. die Landeshauptleute die Abwasseremissionsverordnungen, welche wiederum Grundlagen für die den einzelnen Betrieb betreffenden Bescheide der Wasserrechtsbehörde sind. (vgl. Eder, P. et al., 1996)

Die nachfolgenden Paragraphen 33b und 33c sind dem Wasserrechtsgesetz 1959 (BGBl.Nr. 215/1959 zuletzt geändert durch BGBl. I Nr. 109/2001) entnommen.

§ 33b, Emissionsbegrenzung, Abs. 1: Bei der Bewilligung von Abwassereinleitungen in Gewässer oder in eine bewilligte Kanalisation hat die Behörde jedenfalls die nach dem Stand der Technik möglichen Auflagen zur Begrenzung von Frachten und Konzentrationen schädlicher Abwasserinhaltsstoffe vorzuschreiben.

Die Emissionsbegrenzungen sind im Bundesgesetzblatt, Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft (1. Abwasseremissionsverordnung für kommunales Abwasser), festgelegt. (Ausgegeben am 7. Mai 1996)

§ 33c, Sanierung von Altanlagen, Abs. 1: Bei der Festlegung von Emissionswerten durch Verordnung nach § 33b, Abs. 3 und 4 für bestehende Anlagen hat der Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft Fristen zu bestimmen, innerhalb derer zum Zeitpunkt des Inkrafttretens der Verordnung rechtmäßig bestehende Abwassereinleitungen diesen Emissionswerten anzupassen sind. Die Übergangsfrist darf zehn Jahre nicht überschreiten.

In § 5 der 1.AEV für kommunales Abwasser sind in Abs. 1 die Sanierungsfristen und in Abs. 2 die jeweiligen Stichtage für die entsprechenden Ausbaugrößen festgelegt.

3.1.2 Umweltförderungsgesetz 1993 (UFG)

Bundesgesetz über die Förderung von Maßnahmen in den Bereichen der Wasserwirtschaft, der Umwelt, der Altlastensanierung und zum Schutz der Umwelt im Ausland, mit dem das Altlastensanierungsgesetz, das Abfallwirtschaftsgesetz, das Luftreinhaltegesetz für Kesselanlagen, das Bundesfinanzgesetz 1993, das Bundesfinanzierungsgesetz und das Wasserrechtsgesetz 1959 geändert werden.

Verhandlungen zwischen den Finanzausgleichspartnern und der politische Wille zur Neugewichtung der Verteilung der Förderungsmittel führten im Jahre 1993 zum Umweltförderungsgesetz (UFG), BGBl. 185/1993. Mit diesem Gesetz war auch in organisatorischer Hinsicht eine Auslagerung der Förderung der Siedlungswasserwirtschaft aus der öffentlichen Bundesverwaltung in den privatwirtschaftlichen Bereich, namentlich in die Österreichische Kommunalkredit AG (jetzt Kommunalkredit Austria AG), verbunden. Die Umstellung des Förderungssystems berücksichtigte die jeweils vorhandenen Siedlungsstrukturen und die möglichen Gebühreneinnahmen bzw. gleiche zumutbare Gebühren für alle Bürger und kam insbesondere dem ländlichen Raum zugute (Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 19C Siedlungswasserwirtschaft, 2002).

Der Bundesminister für Umwelt, Jugend und Familie hat Bestimmungen bezüglich Förderungsrichtlinien, technische Richtlinien und Vergaberichtlinien zu erlassen.

Förderungsgegenstand:

§ 17, Abs. 1: Im Rahmen der Siedlungswasserwirtschaft können gefördert werden:

2. Maßnahmen zum Schutz des ober- und unterirdischen Wassers durch Ableitung und Behandlung von Abwässern und Behandlung der Rückstände.

Maßnahmen zur Erneuerung und Sanierung von:

4.
 - b) Abwasserentsorgungsanlagen, deren Baubeginn vor mehr als 20 Jahren erfolgte;
 - c) Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungsanlagen, die noch nie gefördert wurden.

Der Bundesminister für Umwelt, Jugend und Familie wird laut § 22a, Abs. 1 ermächtigt, einen gemeinsamen Arbeitskreis des Bundes und der Länder für die Förderungsangelegenheiten der Siedlungswasserwirtschaft einzurichten.

3.1.2.1 Förderungsrichtlinien 1999

Wie bereits erwähnt wurde die Förderungsstelle auf Bundesebene ausgegliedert und der Kommunalkredit Austria AG übergeben. In den Förderungsrichtlinien 1999, in der Fassung 2001 für kommunale Siedlungswasserwirtschaft, § 3, „Gegenstand der Förderung“ werden die förderbaren und nicht förderbaren Kosten genau definiert. Allgemeine Voraussetzungen für eine Förderung sind, dass das Land die Maßnahme begutachtet hat und seitens des Landes eine eindeutige Beurteilung hinsichtlich der Förderungsfähigkeit vorliegt. Die Bauabschnitte sind so zu planen, dass sie jeweils innerhalb von 3 Jahren verwirklicht werden und die Maßnahmen zumindest dem Stand der Technik entsprechen.

Laut § 6, Abs. 1 sind für hydrologisch und hydrographisch abzugrenzende Gebiete nach Erhebung der Grundlagen und nach Vorgabe der technischen Richtlinien für die Siedlungswasserwirtschaft mögliche Varianten darzustellen.

Nach § 10, Abs. 3 sind die Förderungsansuchen für Anlagen gemäß § 8 Abs. 2 (Einzelanlagen – Pauschalförderung) vom Landeshauptmann erst nach Kollaudierung in Form von Sammelverzeichnissen in geprüfter Form der Abwicklungsstelle vorzulegen.

Die Förderungsrichtlinien des Landes werden unter besonderer Berücksichtigung der Förderungsrichtlinien für kommunale Siedlungswasserwirtschaft 1999 (in der Fassung 2001) erstellt.

Wird das Ansuchen auf Landesförderung gemeinsam mit einem Förderungsansuchen nach dem Umweltförderungsgesetz eingebracht, sind die Bestimmungen des § 7 (Förderungsansuchen und Unterlagen) der Förderungsrichtlinien des Bundes maßgeblich.

Bis zur Förderungsrichtlinie des Bundes, Novelle 2001, waren für Landesförderungen Prozentsätze von 10 %, 15 % und 20 % möglich. Die Bundesförderung begann mit der Sockelförderung von 20 % und konnte ein Höchstmaß von 60 % erreichen. Aufgrund von Budgetkürzungen wurde für kommunale Anlagen eine Pauschalförderung mit dem Ziel, kostendämpfende Maßnahmen zu setzen, eingeführt. Die Novelle führte zu einer Kombination zwischen dem bisherigen Förderungssystem nach UFG und einer Pauschalförderung. Diese Neufassung mit 1.11.2001 in Kraft trat.

3.1.3 Ablauf einer Förderung

(Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 19A, 2002; Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 19C, 2002)

Vorraussetzung für eine Landes- bzw. Bundesförderung ist das Vorgehen nach den Landesdurchführungsbestimmungen für die Siedlungswasserwirtschaft (LSW 2003). Diese decken die Aufgabenverteilung zwischen Förderungswerbern, Planern, Bauaufsichtsorganen und Landesdienststellen ab und dienen einer verbesserten Information über die effiziente Abwicklung von geförderten Bauvorhaben. Die Festlegung der Aufgabenverteilung zwischen Bund und den Ländern erfolgt nach dem UFG 1993. Die LSW gilt für alle kommunalen Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungsanlagen, sowie für Kleinabwasserbehandlungsanlagen, für die Förderungsmittel des Bundes und/oder des Landes Steiermark angesprochen werden. Die Landesdurchführungsbestimmungen der Version 2003 tragen folgenden Kriterien Rechnung:

- Einbindung des Landes in die Planungsphase unter Berücksichtigung der Anforderungen der Wasserwirtschaft und zur Wahrung der ökologischen, volks- und betriebswirtschaftlichen Zweckmäßigkeiten
- Sicherstellung einer einheitlichen Vorgehensweise in der Steiermark

Laut LSW 2003 ist für den Planer eine Planungsanmeldung durchzuführen, welche von der FA 19A bearbeitet wird. Der vom Land erstellte Werkvertrag zwischen dem Auftraggeber und Auftragnehmer regelt für die Planungsphase folgende Punkte:

- Vorentwurf (z.B.: überschlägige Kostenschätzung)
- Entwurf (z.B.: Erhebungen bei Behörden)
- Einreichung (z.B.: Erstellung aller Unterlagen)
- Details (z.B.: Festlegung von Details)

Vom Planer ist nun eine Variantenuntersuchung zu erstellen und er hat an Koordinierungsgesprächen der FA 19A teilzunehmen. Das Merkblatt zur Variantenuntersuchung soll eine Grundlage für die Durchführung von Variantenuntersuchungen bei jenen Projekten darstellen, die zur Förderung im Rahmen der geltenden Gesetze und Bestimmungen von Bund und Land eingereicht werden. Herausgeber des Merkblattes ist die FA 19A. Die Variantenuntersuchungen sind, vor Beantragung einer wasserrechtlichen Bewilligung, auf jeden Fall vor Projektierung von Abwasseranlagen durchzuführen. Die Ergebnisse von Variantenuntersuchungen sind als entscheidende Grundlage für die Festlegung der Ausführungsprojekte und in weiterer Folge für die Gewährung von Förderungsmitteln anzusehen.

Beim Vergleich der möglichen Varianten ist von einheitlichen Annahmen auszugehen und unter Abwägung der ökologischen, volks- und betriebswirtschaftlichen Aspekte die günstigste Lösung aufzuzeigen und zu begründen. Die einzelnen Arbeitsschritte werden in der Folge näher erläutert.

Ökologische Untersuchung:

Gegenstand der ökologischen Untersuchungen ist die Betrachtung der ökologischen Verträglichkeit der einzelnen Varianten. Im Folgenden sind jene Kriterien angeführt, die bei der ökologischen Untersuchung zu beachten sind:

- Errichtung und Betrieb der Anlagen
 - Gewässerbereich
 - Auswirkungen auf das Grundwasser, auf Oberflächengewässer und auf den Gebietshaushalt
 - Landlebensraum
 - Luft

Volkswirtschaftliche Betrachtung:

Bei der Variantenuntersuchung nach volkswirtschaftlichen Kriterien werden jene Kosten herangezogen, die innerhalb eines definierten Einzugsgebietes und eines ausgewählten Betrachtungszeitraumes für die Realisierung tatsächlich erforderlich sind. Dies beinhaltet insbesondere Kosten für Planung, Bau und Erhaltung von Anlagen. Nicht enthalten sind Sonderkosten z.B. für den Einkauf in einen Verband, Zinsendienst etc.

Betriebswirtschaftliche Betrachtung:

Bei der Variantenuntersuchung nach betriebswirtschaftlichen Kriterien werden die Kosten aus der volkswirtschaftlichen Betrachtung auf einzelne Betreiber (Verbände, Gemeinden, Genossenschaften) aufgeteilt, wobei auch Aufwendungen bzw. Erlöse aus einem Einkauf in ein Entsorgungssystem und sonstige Transferzahlungen berücksichtigt werden. Auswirkungen der Förderung bleiben unberücksichtigt.

Durch diese Betrachtung können unter anderem Problemstellungen in der Kostenaufteilung bzw. Kostentragung aufgezeigt werden, wobei im Regelfall eine Akkordanz zum volkswirtschaftlichen Ergebnis herzustellen ist.

Variantenbeurteilung und Ausführungsvorschlag:

Den abschließenden Arbeitsschritt stellt die zusammenfassende Beurteilung der Ergebnisse unter Einbeziehung aller ökologischen, wirtschaftlichen und technischen Gesichtspunkte dar. Die Variantenbeurteilung hat die Feststellung der ökologischen Verträglichkeit und die Darstellung der ökologisch besten Variante zum Ziel. Der Kostenvergleich liefert die erforderlichen Informationen über die wirtschaftliche Eignung der Varianten.

Vor der Projektierung muss ein Werkvertrag für Planung und Planungskoordination abgeschlossen werden. Die Baubezirksleitungen sollen als beratendes und koordinierendes Organ bei Bedarf mitwirken.

Nach der Projektierung ist ein vollständiges Förderungsansuchen bei der Baubezirksleitung einzureichen, welches von dieser geprüft und an die FA 19C weitergeleitet wird. Das Ansuchen um Bundes- und Landesförderung erfolgt zeitgleich. Nach Begutachtung des Förderungsansuchens wird die Landesförderung auf Basis von Richtlinien des Landes ermittelt und festgelegt. Förderungsansuchen an den Bund werden gemäß UFG 1993 erledigt und weitergeleitet.

Nach Erledigung des Förderungsansuchens ist eine Ausschreibungsanmeldung an die FA 19C vorzulegen, die geprüft wird. Die Ausschreibungsphase beinhaltet die Erstellung des Leistungsverzeichnisses und die Massenberechnung einschließlich aller technischen und terminlichen Vorschriften. Entsprechend den Förderungsrichtlinien ist in Abhängigkeit von Art und Größenordnung des Bauvorhabens die Standardleistungsbeschreibung „Siedlungswasserbau“ anzuwenden. Weiters ist die Durchführung der Ausschreibung, Prüfung der Angebote und Nachtragsangebote, Ermittlung des Bestbieters, Vergabevorschlag und Ausarbeitung der Vertragsentwürfe vorzunehmen. Nach Angebotsprüfung muss der Planer bei der Bauvergabe mitwirken. Während der Bauabwicklung hat der Planer die Bauaufsicht und Baustellenkoordination zu übernehmen.

Die Endabrechnungs- und Kollaudierungsunterlagen sind am Ende des Bauvorhabens vom Planer zu erstellen. Die FA 19C hat die förderbaren Kosten festzustellen und die Kollaudierung durchzuführen.

4 GRUPPENEINTEILUNG

4.1 Allgemein

(Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 19C, 2002; Verwaltung Land Steiermark, 2002)

Um die gestellte Aufgabe lösen zu können, nämlich für Abwassereinigungsanlagen in der Steiermark Kostenvergleiche und in weiterer Folge Kostenanalysen durchzuführen, musste eine geeignete vergleichbare Größe gefunden werden. Der erste Schritt war, eine Bezugsgröße zu finden und daraus folgend eine Kenngröße zu bilden. In Kapitel 7.1.3. wird auf die Wahl der Bezugsgrößen und auf spezifischen Investitionskosten eingegangen. Die Kosten der einzelnen Anlagen sind von zahlreichen örtlichen spezifischen Randbedingungen abhängig. Die topographischen Verhältnisse des Anlagestandortes oder die Art des Abwasserreinigungsverfahrens spielen bei der Vergleichbarkeit der Kosten eine große Rolle. Um Anlagen ähnlicher Größe, ähnlichen Anlagentyps oder ähnlicher Bedingungen vergleichen zu können, musste eine Gruppeneinteilung vorgenommen werden. Um die Kosteneinflüsse zu verringern, wurde eine Gruppeneinteilung nach Anlagentyp und Region vereinbart. Eine weitere Einteilung erfolgte nach den Ausbaugrößen der Anlagen. Die Kosten wurden mit Einwohnergleichwerten (siehe Kap. 4.3.1.) als Bezugsgröße verglichen. Weil die Emissionsbegrenzungen der 1. Abwasseremissionsverordnung für verschiedene Ausbaugrößen gelten, wurde diese für die Unterteilung in Größen herangezogen. Weiters musste zwischen Anpassung an den Stand der Technik, Neubau und Sanierung unterschieden werden.

Aufgrund des Datenschutzes und der Vorgabe der FA 19C, die Daten vertraulich zu behandeln, musste die Untersuchung mit deren Einteilung anonymisiert erfolgen. Die Kurzbezeichnungen sind nur dem Auftraggeber bekannt und im Anhang der Arbeit für den Auftraggeber vermerkt. Den Kostenreihen der Förderungsanträge wurden Zahlen zugeteilt, die Regionen wurden mit römischen Zahlen und die Anlagentypen mit Buchstaben anonymisiert.

Die Einteilung wurde in Absprache mit dem Auftraggeber, dem Amt der Steiermärkischen Landesregierung und dem Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau an der TU Graz durchgeführt.

Untersucht wurden die Kosten von kommunalen Abwasserentsorgungsanlagen im Zeitraum zwischen 1991 und 2001. Zwischen 1972 und 2000 wurden Abwasserentsorgungsprojekte mit einem Gesamtinvestitionsvolumen von € 2,8 Mrd. gefördert.

1990 erfolgte die Novellierung des Wasserrechtsgesetzes. Die Anpassung an den Stand der Technik wurde verbindlich und die Ausführung dieses Auftrages durch die Abwasseremissionsverordnungen detailliert festgelegt. Auf diese Weise wurde ein Qualitätsmaßstab für bestehende und künftige Abwasserreinigungsanlagen

geschaffen, der hohe Investitionen zur Folge hatte. Im Allgemeinen weisen Gemeinden mit größerer Einwohnerzahl einen höheren Entsorgungsgrad als einwohnerschwache Gemeinden auf. Das heißt, dass in einem städtischen Gebiet der Anschlussgrad in Prozent an ein öffentliches Kanalnetz höher ist als in ländlich strukturierten Gebieten. Die dichter besiedelten Gebiete waren im Allgemeinen abwassertechnisch besser erschlossen. Das Ökoprogramm 2000 des Landes Steiermark gab ab dem Jahr 1990 die Arbeitsschwerpunkte bis zum Jahr 2000 vor. Im Bereich des Siedlungswasserbaus hatte dieses Programm das Ziel, dass bis zum Jahr 2000 insgesamt 75 % der steirischen Haushalte, entsprechend dem Stand der Technik, an Kläranlagen angeschlossen sein sollten. Dieses Ziel wurde mit der Quote von 80 % sogar übertroffen. Die Ziele für das Jahr 2010 liegen bei etwa 90 % Entsorgungsgrad. Die Auswertung des öffentlichen Entsorgungsgrades nach Bezirken zeigt, dass seit 1995 in den Bezirken Murau, Fürstenfeld, Radkersburg, Voitsberg, Deutschlandsberg, Hartberg, Leibnitz und Weiz durch umfangreiche Maßnahmen der angestrebten Verbesserung der Entsorgungssituation im ländlichen Raum Rechnung getragen wurde.

In Ergänzung der öffentlichen Abwasserentsorgung werden seit einem Jahrzehnt in zunehmendem Maße Kleinabwasserbehandlungsanlagen, das sind Abwasserentsorgungseinrichtungen für maximal 4 Wohnobjekte, errichtet und betrieben. Wurden im Jahr 1990 lediglich 13 Kleinkläranlagen zur Förderung eingereicht, so waren es im Jahr 2001 bereits 100 Förderungsanträge. Der Anteil am Gesamtinvestitionsvolumen ist mit 2 bis 3 % im Verhältnis eher gering.

Der größte Anteil an Investitionskosten und Förderungen auf dem Gebiet der Abwasserentsorgung entfällt auf Projekte der kommunalen Abwasserentsorgung. In den Jahren 1972 bis 2000 wurden Projekte von Gemeinden und Verbänden für die Errichtung von Kanalisationen und Abwasserreinigungsanlagen mit Gesamtbaukosten von rund € 2,2 Mrd. gefördert. Die hohen Investitionskosten der kommunalen Abwasserentsorgung in den 90er Jahren sind insbesondere auf die Umsetzung von Maßnahmen der Abwasserentsorgung im ländlichen Raum zurückzuführen. Der Anteil der Abwasserentsorgung am Gesamtinvestitionsvolumen beträgt 65 %, der Anteil von betrieblichen Maßnahmen 19 % und der der Wasserversorgung 16 %.

Für die Weiterentwicklung wurde ein Landesumweltprogramm für Steiermark (LUST) beschlossen, und in Aktionsprogrammen werden Richtlinien für die nächsten zehn Jahre vorgegeben. Für den Bereich der Abwasserentsorgung hat dieses Programm die Erreichung eines flächendeckenden Gewässerschutzes zum Ziel. Dafür sollen noch weitere 600 Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von über 50 EW und über 15.000 Kleinkläranlagen errichtet werden. Mitberücksichtigt ist, dass das Wasserrechtsgesetz die Anpassung aller Hauskläranlagen an den Stand der Technik verlangt.

Da die bereits erwähnte Novellierung des Wasserrechtsgesetzes 1990 erfolgte und mit einer kurzen Zeitverzögerung der Förderungsanträge gerechnet werden musste,

wurden Daten ab dem Jahr 1991 für die Kostenvergleiche berücksichtigt. Mit dieser Verordnung gewann der Bereich Abwasserentsorgung an Bedeutung. Ende der 90er Jahre gab es einen auffälligen Investitionsschub bei kommunalen Kläranlagen. Laut der 1. Abwasseremmissionsverordnung müssen beim Parameter Gesamt - Phosphor die Emissionsbegrenzungen per Stichtag entsprechen. Diese Anpassungsfristen endeten für Abwassereinleitungen größer als 15.000 EW, aber nicht größer als 50.000 EW, mit 1. Jänner 1999. Für Abwassereinleitungen zwischen 2.000 und 15.000 EW war die Frist am 1. Jänner 2001 zu Ende. Das bedeutet, dass mit diesen Anpassungsfristen ein Großteil der Abwasserreinigungsanlagen in den letzten Jahren dem Stand der Technik angepasst wurde und für die nächsten Jahre ein niedrigeres Gesamtinvestitionsvolumen für Anpassungen zu erwarten sein wird. Für Neubauten werden auch für die Zukunft hohe Gesamtinvestitionskosten, hauptsächlich im Bereich Kleinkläranlagen, anfallen.

4.2 Spezifische gesetzliche Bestimmungen

Die nachfolgend zitierten Verordnungen und Richtlinien sollen veranschaulichen, nach welchen Aspekten die Gruppeneinteilung nach Ausbaugröße bzw. Neubau und Anpassung an den Stand der Technik, in Bezug auf die gesetzlichen Bestimmungen erfolgte.

4.2.1.1 Wasserrechtsgesetz 1959 (WRG)

Das Wasserrechtsgesetz wurde 1959 beschlossen und mit einer Novelle 1990, die eine einmalige Sanierungsfrist bestehender Einleiter, die nicht den Emissionsgrenzwerten entsprechen, vorsieht, erneuert. Das Wasserrechtsgesetz bezieht sich im Punkt 3 (§ 30 – 37) auf die Reinhaltung der Gewässer. In diesem Teil wird auf bestehenden Anlagen, bewilligungspflichtige Maßnahmen, Emissionsbegrenzungen und Sanierung von Altanlagen eingegangen. In diesem Gesetz wird unter anderem festgelegt, dass der Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft Fristen für Sanierungen und Emissionsbegrenzungen zu bestimmen hat. Diese Bestimmungen findet man im Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich, in den vom Bundesminister herausgegebenen Verordnungen. Zu diesen Verordnungen zählt auch die 1. Abwasseremissionsverordnung.

§ 12a des Wasserrechtsgesetzes „Stand der Technik“ (BGBl. Nr. 215/1959 zuletzt geändert durch BGBl. I Nr. 74/1997):

Abs. 1: Der Stand der Technik im Sinne dieses Bundesgesetzes ist der auf den einschlägigen wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhende Entwicklungsstand fortschrittlicher technologischer Verfahren, Einrichtungen, Bau- und Betriebsweisen, deren Funktionstüchtigkeit erprobt und erwiesen ist. Bei der Bestimmung des Standes der Technik sind insbesondere vergleichbare Verfahren, Einrichtungen, Bau- oder Betriebsweisen heranzuziehen.

Abs. 2: Der Stand der Technik ist bei allen diesem Bundesgesetz unterliegenden Wasserbenutzungen, Maßnahmen und Anlagen einzuhalten. Die Behörde kann auf Antrag Ausnahmen vom Stand der Technik zulassen, soweit der Schutz der Gewässer dies erfordert oder gestattet.

Abs. 3: Der Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft kann durch Verordnung für bestimmte Wasserbenutzungen sowie für diesem Bundesgesetz unterliegende Anlagen und Maßnahmen den maßgeblichen Stand der Technik bestimmen.

Abs. 4: In einer Verordnung nach Abs. 3 kann für bestimmte Vorhaben die Anwendung des Anzeigeverfahrens (§ 114) vorgesehen werden.

Im Wasserrechtsgesetz sind in **§ 33b**, BGBl. Nr. 215/1959 zuletzt geändert durch BGBl. I Nr. 109/2001, bezüglich der Emissionsbegrenzungen folgende Bestimmungen enthalten:

Abs. 1: Bei der Bewilligung von Abwassereinleitungen in Gewässer hat die Behörde jedenfalls die nach dem Stand der Technik möglichen Auflagen zur Begrenzungen von Frachten und Konzentrationen schädlicher Abwasserinhaltsstoffe vorzuschreiben.

Abs. 2: Der Bundesminister hat Emissionswerte in Form von Grenzwerten oder Mittelwerten für Konzentrationen oder spezifische Frachten festzulegen. Die Emissionswerte für bestehende und neu zu bewilligende Anlagen sind, soweit es nach dem Stand der Abwasserreinigungstechnik oder nach dem Stand der Vermeidungstechnik erforderlich ist, getrennt festzulegen.

In **§ 33c**, BGBl. Nr. 215/1959 zuletzt geändert durch BGBl. I Nr. 109/2001, wird die Sanierung von Altanlagen behandelt:

Abs. 1: Bei der Festlegung von Emissionswerten durch Verordnung für bestehende Anlagen hat der Bundesminister Fristen zu bestimmen, innerhalb deren zum Zeitpunkt des Inkrafttretens der Verordnung rechtmäßig bestehende Abwassereinleitungen diesen Emissionswerten anzupassen sind. Die Übergangsfrist darf zehn Jahre nicht überschreiten.

Abs. 2: Der Wasserberechtigte hat innerhalb von zwei Jahren nach Inkrafttreten der Verordnung der Wasserrechtsbehörde hinsichtlich der sanierungspflichtigen Anlage oder Anlagenteile ein Sanierungsprojekt zur wasserrechtlichen Bewilligung vorzulegen oder die Anlage mit Ablauf der in der Verordnung festgelegten Sanierungsfrist stillzulegen.

Abs. 3: Die Wasserrechtsbehörde hat die in der Verordnung festgelegten Sanierungsfristen unter der Berücksichtigung der technischen Durchführbarkeit und nach Maßgabe der wasserrechtlichen Verhältnisse insgesamt oder hinsichtlich einzelner Parameter zu verkürzen, wenn (a) die Emission das Dreifache der in der Verordnung festgelegten Emissionswerte überschreitet oder (b) die Sanierung ohne erheblichen technischen oder wirtschaftlichen Aufwand möglich ist.

Zusätzlich gibt es eine Stellungnahme der Wirtschaftskammer Österreich zu dem Wasserrechtsgesetz. Förderungen von Umweltschutzinvestitionen sind mit den EU - Regelungen vereinbar und stellen demnach keine Wettbewerbsverzerrung dar. Die Wirtschaftskammer drängt daher darauf, dass an den Grundlagen des politischen Konsenses, unter denen die Sanierungsmaßnahmen beschlossen wurden, festgehalten wird.

4.2.1.2 1. Abwasseremissionsverordnung

Im Wasserrechtsgesetz, wird, wie bereits erwähnt, vorgegeben, dass der Bundesminister Fristen und Begrenzungen bestimmen muss. Das in dieser Arbeit zitierte Bundesgesetzblatt 210/1996 ist die 210. Verordnung und wird vom Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft herausgegeben und legt Begrenzungen von Abwasseremissionen aus Abwasserreinigungsanlagen für Siedlungsgebiete fest (1. Abwasseremissionsverordnung für kommunales Abwasser).

§ 1 enthält Bestimmungen für bestehende Anlagen:

- Abs 4: 1. Sofern es bei rechtmäßig bestehenden Abwassereinleitungen gemäß für die Einhaltung der Emissionsbegrenzungen erforderlich ist bzw. sofern bei einer beantragten Abwassereinleitung die Einhaltung der Emissionsbegrenzungen nicht durch andere Maßnahmen gewährleistet ist, können folgende Maßnahmen in Betracht gezogen werden:
2. Anpassung oder Erweiterung einer bestehenden Abwasserreinigungsanlage auf der Basis einer Bemessung, die von tatsächlich gemessenen Tages- bzw. Stundenabwassermengen und von tatsächlich gemessenen Tageszulaufschmutzfrachten des ungereinigten Abwassers ausgeht. Zur Bemessung einer neu zu errichtenden oder einer anzupassenden bzw. zu erweiternden bestehenden Abwasserreinigungsanlage werden Bemessungstemperaturen für Ausbaugrößen über und unter 5.000 EW festgelegt.

§ 5 regelt die Anpassungsfristen:

Abs 1: Abwassereinleitungen mit einem Bemessungswert von größer als 2.000 EW, die an einem festgelegten Zeitpunkt, das sind die in Abs. 2 festgelegten Stichtage, rechtmäßig bestanden, haben beim Parameter Gesamt – Phosphor innerhalb von sechs Jahren, bei den sonstigen Parametern innerhalb von zehn Jahren, berechnet von dem in Abs. 2 genannten Zeitpunkt, den Emissionsbegrenzungen zu entsprechen.

Abs 2: Die Anpassungsfristen gemäß Abs. 1 beginnen an folgenden Stichtagen:

1. Für Abwassereinleitungen größer als 50.000 EW am 13. April 1991
2. Für Abwassereinleitungen größer als 15.000 EW, aber nicht größer als 50.000, am 1. Jänner 1993
3. Für Abwassereinleitungen größer als 2.000 EW, aber nicht größer als 15.000, am 1. Jänner 1995

Abs 3: Für Abwassereinleitungen mit einem Bemessungswert größer als 50 EW, aber nicht größer als 2.000 EW, tritt diese Verordnung ab 1. Jänner 1997 in Kraft. Für derartige dann rechtmäßig bestehende Abwassereinleitungen

gelten die Anpassungsfristen des Abs. 1 (Anpassung für den Parameter Gesamt – Phosphor bis längstens 31. Dezember 2002, für die sonstigen Parameter bis längstens 31. Dezember 2006).

Emissionsgrenzwerte:

1. Allgemeine Festlegungen

1.1 Kurzbezeichnungen

1. BSB₅ Biochemischer Sauerstoffbedarf in fünf Tagen, berechnet als O₂
2. CSB Chemischer Sauerstoffbedarf, berechnet als O₂
3. TOC Gesamter organisch gebundener Kohlenstoff, berechnet als C
5. Ges. geb. N Gesamter gebundener Stickstoff als Summe von organisch geb. Stickstoff, Ammonium – Stickstoff, Nitrit – Stickstoff und Nitrat – Stickstoff, berechnet als N
6. Gesamt P Gesamtphosphor, berechnet als P

1.2 Größenklassen von Abwasserreinigungsanlagen

Für die Emissionsbegrenzungen werden in Abhängigkeit vom Bemessungswert einer Abwasserreinigungsanlage folgende Größenklassen festgelegt:

- I größer als 50 EW₆₀, aber nicht größer als 500 EW₆₀
- II größer als 500 EW₆₀, aber nicht größer als 5.000 EW₆₀
- III größer als 5.000 EW₆₀, aber nicht größer als 50.000 EW₆₀
- IV größer als 50.000 EW₆₀

2. Emissionsbegrenzungen

2.1 Mindestwirkungsgrade in Prozent der Zulaufmengen

Die einer Abwasserreinigungsanlage der Größenklasse II größer als 1.000 EW₆₀ oder III oder IV zufließende Fracht an Abwasserinhaltsstoffen bezogen auf

1. BSB₅ um mindestens 95 %
2. CSB um mindestens 85 %
3. TOC um mindestens 85 %

zu vermindern.

Die einer Abwasserreinigungsanlage der Größenklasse III oder IV zufließende Fracht an Abwasserinhaltsstoffen ist bezogen auf

5. Ges. geb. N um mindestens 70 %

zu vermindern.

2.2 Maximale Ablaufkonzentrationen in [mg/l] in Abhängigkeit von den Größenklassen

	I	II	III	IV
1. BSB ₅	25	20	20	15
2. CSB	90	75	75	75
3. TOC	30	25	25	25
4. NH ₄ - N	10	5	5	5
6. Gesamt - P	-	2	1	1
	d)	e)		

e) Die Festlegung gilt für eine Abwasserreinigungsanlage mit einem Bemessungswert von größer als 1.000 EW₆₀. Für eine Abwasserreinigungsanlage mit einem Bemessungswert von nicht größer als 1.000 EW₆₀ gilt Fußnote d).

Die Abwassertemperatur ist ebenso geregelt wie die Mindestanzahl der Probeentnahmen im Rahmen der Eigenüberwachung und im Rahmen der Fremdüberwachung.

Die Nitrifikation und der Kohlenstoffabbau wird für alle Ausbaugrößen vorgeschrieben. Die Phosphorelimination ist für einen Bemessungswert größer als 1.000 EW in der Verordnung verankert. Für Anlagen größer 5.000 EW ist die Stickstoffelimination erforderlich.

4.2.1.3 Umweltförderungsgesetz 1993 (UFG)

Das Umweltförderungsgesetz ist ein Bundesgesetz über die Förderung von Maßnahmen in den Bereichen der Wasserwirtschaft, mit dem unter anderem das Wasserrechtsgesetz 1959 geändert wurde. Unter § 1 und § 16 sind unter den Zielen der Förderung nach diesem Bundesgesetz der Schutz der Umwelt durch geordnete Abwasserentsorgung bzw. die Verringerung der Umweltbelastungen für Gewässer definiert. In § 17, „Förderungsgegenstand“, Abs. 1 ist der Rahmen der Förderung in der Siedlungswasserwirtschaft festgelegt:

- Pkt. 4. Maßnahmen zur Erneuerung und Sanierung von
- a) Abwasserentsorgungsanlagen, deren Beginn vor mehr als 20 Jahren erfolgte;
 - b) Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungsanlagen, die noch nie gefördert wurden.

- Pkt. 5. Maßnahmen zur Sanierung von Abwasserreinigungsanlagen und Anpassungen an den Stand der Technik.

4.2.1.4 Förderungsrichtlinien 1999

Gefördert werden kommunale Abwasserreinigungsanlagen nach dem Umweltförderungsgesetz. Förderungsgeber ist das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, wobei als Förderstelle die Kommunalkredit Austria AG, die diese Förderungsrichtlinien herausgibt, vom Bundesministerium beauftragt wurde. Diese Förderungsrichtlinien stammen aus dem Jahre 1999 und wurden 2001 geändert. In § 2, „Begriffsbestimmungen“, Pkt. 8, wird „Stand der Technik“ definiert. „Stand der Technik“, im Sinne dieser Richtlinie, ist der auf den einschlägigen wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhende Entwicklungsstand fortschrittlicher technologischer Verfahren, Einrichtungen, Bau- oder Betriebsweisen, deren Funktionstüchtigkeit erprobt und erwiesen ist. Bei der Bestimmung des Standes der Technik sind insbesondere vergleichbare Verfahren, Einrichtungen, Bau- oder Betriebsweisen heranzuziehen.

Der § 3, „Gegenstand der Förderung“, Pkt. 1, enthält Bestimmungen für Sanierungen und Anpassungen.

Förderbar sind Kosten für:

- Pkt. 5. die Sanierung von Abwasserableitungsanlagen, deren Baubeginn vor dem 1. April 1973 erfolgte.
- Pkt. 6. die Anpassungen von Wasserversorgungs- oder Abwasserentsorgungsanlagen an den Stand der Technik.
- Pkt. 7. die Sanierung von Anlagenteilen von Abwasserreinigungsanlagen im Rahmen von Anpassungen der entsprechenden Anlagenteile an die Erfordernisse des Wasserrechtsgesetzes 1959.
- Pkt. 8. die Errichtung, Erweiterung oder Anpassung von Behandlungsanlagen für die Rückstände aus Wasseraufbereitungs- oder Abwasserreinigungsanlagen an den Stand der Technik (z.B.: Kompostierungs-, Trocknungs- oder Verbrennungsanlagen).

Nach § 4, „Allgemeine Voraussetzungen“, Pkt. 1, setzt die Gewährleistung einer Förderung voraus, dass die Maßnahmen zumindest dem Stand der Technik entsprechen. Von diesem Erfordernis kann abgesehen werden, wenn seitens der Wasserrechtsbehörde Abweichungen vom Stand der Technik genehmigt wurden.

4.3 Neubau, Anpassung an den Stand der Technik oder Sanierungen

(Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 19C, 2002)

Zu unterscheiden ist für diese Einteilung zwischen Neubauten, Anpassungen an den Stand der Technik und Sanierungen. Bei der Verteilung der Investitionskosten für die kommunale Abwasserentsorgung fallen 67 % für Neuerrichtungen an, 20 % betreffen Sanierungen und 13 % der Kosten werden durch Anpassungen an den Stand der Technik verursacht. Diese Investitionskosten enthalten auch die Errichtung von Kanälen, die den größten Teil der Sanierungen ausmachen. Die Kosten, die in dieser Arbeit untersucht werden, sind die der Kläranlagen, die Kosten der Kanäle finden keine Berücksichtigung. Da in den Datenreihen insgesamt nur 2 Förderungsanträge enthalten sind, die eine Sanierung betreffen, wurden diese nicht berücksichtigt. Die Gruppenunterteilung wurde daher nur in Neubau und Anpassung an den Stand der Technik vorgenommen. Emissionsbegrenzungen und Anpassungsfristen sind durch das Wasserrechtsgesetz bzw. die Abwasseremissionsverordnung vorgegeben und in diesen verankert. Welche Kosten förderfähig sind, wird im Umweltförderungsgesetz festgelegt. Die Förderungsstelle des Bundes ist die Kommunalkredit Austria AG, die die Förderungsrichtlinien für den kommunalen Siedlungswasserbau herausgibt.

Die Kosten von Förderungsanträgen, die eine Anpassung an den Stand der Technik vorsehen, können sehr unterschiedlich sein. Wenn bei einem Neubau bereits Vorkehrungen für eine Erweiterung getroffen worden sind, besteht die Möglichkeit, die Anlage sehr kostengünstig zu erweitern und gleichzeitig auch auf den Stand der Technik zu bringen. Im Gegensatz können die Kosten einer Anpassung für eine Kläranlage, die 20 Jahre alt ist, sehr hoch sein. Aus diesem Grund muss man bei Kostenvergleichen und Analysen für Anpassungen die Rahmenbedingungen berücksichtigen. Es wurden auch Ansuchen für Anlagen eingereicht, bei denen nur ein Anlagenteil, zum Beispiel ein Belebungsbecken oder nur das Labor, dem Stand der Technik angepasst wurde.

Neubauten hingegen sind für die Erstellung von Vergleichen geeigneter. Ausnahmen sind Neubauten einzelner Kostengruppen bestehender Anlagen. Ein Beispiel wäre ein zusätzliches Reinigungsbecken für eine Erweiterung um 2.000 EW. Wenn dieses Ansuchen als Neubau ausgewiesen würde, sind diese Kosten für einen Gesamtinvestitionskostenvergleich nicht geeignet.

Die Unterteilung in Neubau und Anpassung ist daher eine sehr wesentliche. Für die Kostenanalyse wurden Kosten für Neubau und Anpassung separat behandelt.

4.4 Ausbaugröße

4.4.1 Einwohnergleichwerte

Umfangreiche Untersuchungen der Abwassertechnische Vereinigung e.V in St. Augustin, 1983, haben gezeigt, dass jedem Einwohner eine durchschnittliche Schmutzbelastung pro Tag zuzuordnen ist. Eine Möglichkeit ist es, diese Schmutzbelastung auf die organische Substanz zu beziehen, und zwar auf die Summe der gelösten und ungelösten Bestandteile, die zum Beispiel durch ihren biochemischen Sauerstoffbedarf in fünf Tagen quantitativ angegeben werden kann. Nach den einwohnerspezifischen Schmutzwerten fallen im Mittel 60 g BSB₅ (Biochemischer Sauerstoffbedarf) pro Einwohner und Tag an. Laut Kainz et al., 2002, versteht man nach der heute geltenden Definition unter BSB₅ den Sauerstoffverbrauch für die Oxidation der Kohlenstoffverbindungen. Der BSB₅ als Maß für den Gehalt an biologisch abbaubaren Kohlenstoffverbindungen ist demnach die Menge des innerhalb von 5 Tagen bei einer Temperatur von 20 °C von den Mikroorganismen für die Kohlenstoffoxidation verbrauchten Sauerstoffs in [mg/l]. Die Ausbaugröße wird als Einwohnergleichwert angegeben (60g BSB₅/d entspricht 1 Einwohner). Der Quotient aus der täglichen Fracht (Gesamtfracht des Entwässerungsgebietes) von häuslichem und industriellem Schmutzwasser [l/d] oder Schmutzwasserinhaltsstoffen [g/d] und der abgeschätzten, täglichen Fracht eines Einwohners an häuslichem Schmutzwasser [l/E*d] oder Schmutzwasserinhaltsstoffen [g/E*d] ermittelt (Kainz et al., 2002).

Übliche Annahmen:

Schmutzwasser	200 l/E*d	Bezeichnung EW ₂₀₀
BSB ₅	60 g/E*d	Bezeichnung EW ₆₀

$$EW_{60} = \frac{BSB_5 [\text{Fracht in g/d}]}{60 \text{ g BSB}_5/\text{E} * \text{d}}$$

EW₆₀.....Einwohnergleichwert
BSB₅.....Biochemischer Sauerstoffbedarf

4.4.2 Einteilung nach Ausbaugröße

Die Einteilung nach Ausbaugröße in vier Gruppen wurde aus zwei Gründen vorgenommen. Zum einen müssen die Anlagen den Bestimmungen bezüglich der Grenzwerte der 1. Abwasseremissionsverordnung entsprechen, wobei die Emissionsbegrenzungen in Abhängigkeit des Bemessungswertes in Größenklassen festgelegt sind. Zum anderen ergaben andere Untersuchungen, dass die spezifischen Investitionskosten mit zunehmender Ausbaugröße abnehmen.

Die Gruppeneinteilung wurde wie nachfolgend vorgenommen:

50 – 500	EW ₆₀
501 – 1.000	EW ₆₀
1.001 – 5.000	EW ₆₀
5.001 <	EW ₆₀

50 – 500 EW₆₀:

Unter Kleinkläranlagen versteht man Abwasserreinigungsanlagen bis zu einer Ausbaugröße von 500 EW. Die Bau- und Bemessungsgrundsätze von Kleinkläranlagen für eine Ausbaugröße von 50 bis 500 sind in der ÖNORM B 2502 – 2 festgelegt.

Einen weiteren Anlass zu dieser Einteilung gibt die Abwasseremissionsverordnung, die verschiedene Begrenzungen für Anlagen bis 500 EW und darüber vorschreibt. Die spezifischen Kosten machen für den Neubau in dieser Einteilung zwischen 250 und 1.350 Euro pro Einwohnergleichwert aus und liegen durchschnittlich bei 650 Euro pro Einwohnergleichwert. Für Anlagen mit einem Bemessungswert über 1.000 EW liegen die durchschnittlichen spezifischen Kosten bei 450 Euro. Bei Anlagen dieser Größenklasse handelt es sich fast ausschließlich um Neuerrichtungen. 56 Neubauten wurden für Kostenvergleiche dieser Größe herangezogen. Innerhalb dieser Ausbaugröße wurde nur eine Anpassung für eine Abwasserreinigungsanlage zur Förderung beantragt. Anlagen dieser Ausbaugröße findet man hauptsächlich im ländlichen Raum.

501 – 1.000 EW₆₀:

Die Festlegung der Größenklassen laut Verordnung bestimmt zwar eine Einteilung von 500 bis 5.000 EW, die Emissionsbegrenzungen laut Verordnung erfordern aber eine Unterscheidung zwischen Anlagen unter bzw. über 1.000 EW. Vier Anlagen dieser Ausbaugröße wurden angepasst, wobei Kosten von 26 Ansuchen für Neubauten in den Kostenvergleichen dieser Arbeit zu finden sind. Die spezifischen Investitionskosten streuen ähnlich stark wie bei Anlagen zwischen 50 und 500 EW. Der Durchschnittswert für Neuerrichtungen liegt bei 550 Euro.

1.001 – 5.000 EW₆₀:

Anlass zu dieser Unterteilung gab die Einteilung nach Größenklassen in der Abwasseremissionsverordnung, in der eine Gruppe bis 5.000 Einwohnerwerten vorgegeben ist. Die spezifischen Kosten der Anlagen streuen bis 2.500 EW stark, darüber liegen diese doch in einem engeren Intervall. Der Durchschnittswert bei Neubauten beträgt 430 Euro pro Einwohnerwert. Mit 54 beantragten Neubauten gegenüber acht Anpassungen überwiegen die Neuerrichtungen.

5.001 < EW₆₀:

Insgesamt wurden für diese Arbeit Daten von nur 26 Anlagen, jeweils 13 Neubauten und Anpassungen, größer als 5.000 Einwohnerwerte, in Betracht gezogen. Eine weitere Unterteilung wäre daher nicht mehr sinnvoll gewesen. Viele Ansuchen betreffen bestehende Anlagen, für die ein Anlagenteil neu errichtet wird und diese Kostengruppe als Neubau zur Förderung beantragt wird. Die spezifischen Kosten sind aus diesem Grund bei Neubauten zum Teil extrem niedrig und liegen unter 400 Euro. Der Durchschnittswert für Neubauten beträgt 120 Euro pro Einwohnergleichwert.

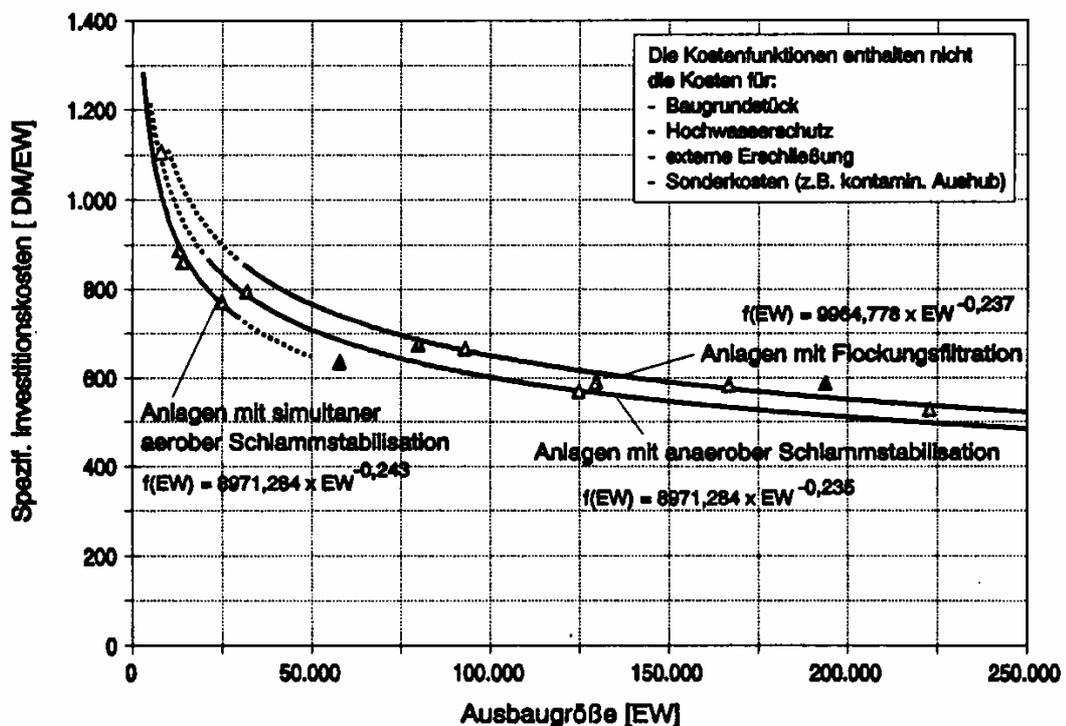
4.4.2.1 Spezifische Investitionskosten

Abbildung 13: Beispiel für eine Darstellung von spezifischen Investitionskosten in Abhängigkeit der Ausbaugröße (Bohn, 1993)

Bereits in der Vergangenheit wurden immer wieder Arbeiten verfasst, die sich mit den Kosten der Abwasserentsorgung beschäftigen. Die Untersuchungen von Bohn, 1993, dienen als Vorlage für angestellte Überlegungen. Abbildung 13 soll veranschaulichen, dass die Spezifischen Investitionskosten mit zunehmender Größe abnehmen. Die starke Abnahme im Bereich bis 10.000 EW bestätigte die gewählte Gruppeneinteilung von Ausbaugrößen.

4.5 Regionen

Vom Auftraggeber wurde vorgegeben, auch regionale Unterschiede herauszuarbeiten und dabei Trends aufzuzeigen.



Abbildung 14: Topographische Karte Bundesland Steiermark (Ausflugsziele, 2003)

Mit der Einteilung in Regionen werden regionale Kosteneinflüsse berücksichtigt. Die Unterteilung wurde in Absprache mit der FA 19A durchgeführt und ergab eine Einteilung in drei Regionen. Besser wäre die Einteilung in sieben Regionen gewesen, die der Einteilung der sieben Baubezirksleitungen entsprochen hätte. Eine Einteilung in sieben Gruppen hätte aber zur Folge gehabt, dass zu wenige Vergleichsdaten für die einzelnen Gruppen vorhanden, und daher kein Vergleich möglich gewesen wäre. Die topographischen Verhältnisse sind im Norden in weiten Teilen ähnlich. Der Süden ist, abgesehen von einigen gebirgigen Gebieten zum Bundesland Kärnten, gleichmäßig hügelig. Die Kläranlage für Graz in Gössendorf wurde in der Analyse nicht berücksichtigt. Anlagen in Graz Umgebung sind von den Verhältnissen denen des weiteren Umlandes ähnlich. Betrachtet man die Anzahl der Anlagen, entfiel die Aufteilung in Regionen gleichmäßig. Die Kosten für Neubauten von 151 Anlagen wurden untersucht. Die Unterteilung ergab je nach Region 41, 51 oder 59 Anlagen. Die drei Regionen wurden mit römischen Ziffern versehen und so anonymisiert.

4.6 Anlagentypen

4.6.1 Allgemein

Bezüglich der Wahl des Anlagentyps sind laut Kainz et al., 2002, für Abwasserreinigungsanlagen keine Vorschriften vorhanden. Die Emissionsbegrenzungen sind, unabhängig vom Anlagentyp, laut 1. Abwasseremissionsverordnung einzuhalten. Grundsätzlich ist eine Kläranlage nach dem Wasserrechtsgesetz zu erbauen, welches als Grundlage für eine Errichtung gilt. In der Steiermark unterliegt ein Bauwerk den Bestimmungen des Steiermärkischen Baugesetzes. Dies gilt auch für Abwasserreinigungsanlagen.

Mit der Unterteilung in Anlagentypen wurde versucht aufzuzeigen, welcher Typ für welche Region bevorzugt wird und welcher Typ für welche Ausbaugröße wirtschaftlich bezüglich der Investitionskosten ist. Als Beispiel dient Abbildung 13 (siehe Seite 43), in der für jeden Anlagentyp eine Kostenfunktionskurve dargestellt wurde und so ein direkter Vergleich möglich ist. Wenn sich die Kurven schneiden, kann man den Schnittpunkt als Grenze betrachten, ab der einem anderen System der Vorrang zu geben ist.

4.6.2 Belebungsverfahren

(Kainz et al., 2002; Kläranlage online 2002; Verwaltung Land Steiermark, 2002; Universität Bremen 2003)

Belebungsanlagen sind biologische Abwasserreinigungsverfahren nach dem Belebtschlammverfahren. Sie unterscheiden sich von Tropfkörperanlagen insbesondere dadurch, dass die schmutzabbauenden Bakterien und Kleinstlebewesen sich nicht auf festen Flächen ansiedeln (Immobilisation), sondern frei im Wasser schwebende Belebtschlammflocken bilden. Der Einsatzbereich des Belebungsverfahrens ist weder nach unten noch nach oben begrenzt. Eine besondere Bauform ist das „Belebungsbecken im Aufstauprinzip“, welches noch genau erläutert wird. Dieses Verfahren wird bis zu einer Ausbaugröße von 2.500 EW angewendet.

Der bei der Abwasserreinigungsanlage entstehende Klärschlamm wird in der Schlammbehandlung behandelt und ist ein Gemisch aus den im Rohabwasser enthaltenen Feststoffen (Primärschlamm) und der in der biologischen Stufe gebildeten Biomasse (Sekundärschlamm). Der Schlamm hat einen hohen Wasseranteil von ungefähr 97 % und geht ohne Behandlung rasch in anaerobe Prozesse über. Es werden grundsätzlich zwei Schlammbehandlungsverfahren angewendet, das der anaeroben Schlammfäulung und der aeroben Schlammstabilisierung. Anlagen mit anaerober Schlammfäulung wurden für die Kostenvergleiche in einer eigenen Gruppe zusammengefasst.

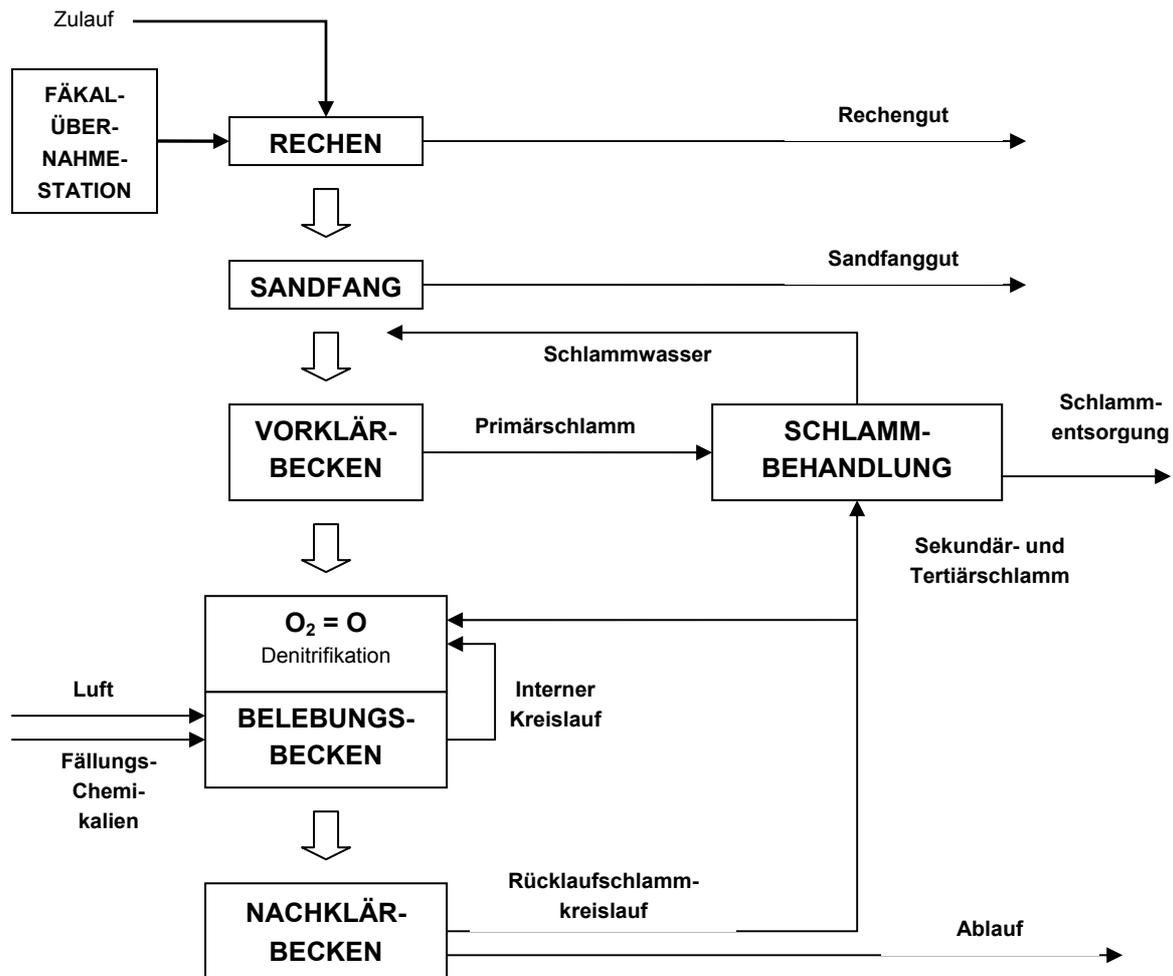


Abbildung 15: Fließschema einer städtischen Abwasserreinigungsanlage (Kainz et al., 2002)

Aerobe Schlammstabilisierung:

Durch ständige Belüftung wird erreicht, dass die im Klärschlamm enthaltenen organischen Substanzen umgewandelt werden. Die Umwandlung erfolgt durch Abbauprozesse, bei denen durch aerobe Mikroorganismen der Schlamm so weit abgebaut wird, dass er nicht mehr faulfähig ist. Abwasserreinigungsanlagen mit aerober Schlammstabilisierung sind daher besonders für Siedlungen und kleine Gemeinden mit wenigen Tausend Einwohnern geeignet. Eine große Zahl von Firmen bietet typisierte, zum Teil vorgefertigte Schlammstabilisierungsanlagen in unterschiedlichen Größen im Durchlaufbetrieb oder Aufstaubetrieb an.

4.6.2.1 Aufstauverfahren

(Kainz et al., 2002; Verwaltung Land Steiermark, 2002)

Eine besondere Bauform ist das „Belebungsbecken mit Aufstaubetrieb“. Anlagen bis zu einer Ausbaugröße von 500 EW werden zu einem großen Teil in dieser Weise gebaut. Ein Beispiel ist das „System Dr. Renner“. In der Steiermark werden bis zu einer Größe von 2.500 EW Anlagen nach diesem Verfahren gebaut. Beim Verfahren nach dem Aufstauprinzip sind die üblichen Komponenten, Belebungsbecken, Nachklärbecken und fallweise auch Vorklärbecken, in einem Becken vereinigt. Was in der Durchlaufanlage räumlich getrennt ist, erfolgt in Aufstauanlagen durch zeitliche Staffelung.

Bei dieser Betriebsweise wechseln drei Phasen:

- Belüftungsphase
- Absetzphase
- Abziehphase

Das gegebenenfalls vorgeklärte Abwasser wird in das Becken eingeleitet und gemeinsam mit dem vorhandenen Belebtschlamm belüftet. Der Vorgang kann von Belüftungspausen unterbrochen werden. Bei dieser Betriebsart ist die Belüftung während der Tagesstunden in Betrieb, ohne dass ein Abfluss von Abwasser aus dem Belebungsbecken erfolgt. Der Wasserspiegel steigt entsprechend dem Zufluss zur Anlage an. Nach einer gewissen Zeit, bei Kleinkläranlagen meist in der Nacht, wird die Belüftung ausgeschaltet. In der Absetzphase gibt es keinen Abfluss, der Wasserspiegel steigt weiter an und der Belebtschlamm sedimentiert. Nach einer Absetzphase wird mittels eines Drucklufthebers eine Tagesfracht geklärtes Abwasser abgepumpt und in den Vorfluter abgeleitet. Danach wird der Druckluftheber abgestellt, die Belüftung wieder in Betrieb genommen und der Zyklus beginnt von vorne. Das Ein- und Ausschalten der Belüftung und des Drucklufthebers erfolgt automatisch über eine Schaltuhr. Bei größeren Aufstauanlagen wird nicht nur ein einziger, sondern mehrere Zyklen pro Tag vorgesehen.

4.6.2.2 Belebungsanlagen im Durchlaufbetrieb

(Kainz et al., 2002; Universität Bremen 2003; Verwaltung Land Steiermark, 2002)

Einzelne Prozessschritte werden bei Durchlaufanlagen in separaten Behältern durchgeführt. Der Vorteil liegt in der problemlosen Bewältigung großer, kontinuierlich anfallender Abwassermengen. Der Anlagentyp hängt im Wesentlichen von den zu behandelnden Abwassermengen ab. Belebungsanlagen im Durchlaufbetrieb bestehen im Wesentlichen aus einem, fallweise auch aus zwei Belebungsbecken mit Belüftungseinrichtung, dem Nachklärbecken mit Schlammrückführung und einem separaten oder integrierten Schlamm Speicher. Das Abwasser wird durch frei

schwimmende Bakterienflocken gereinigt und mittels Gebläse mit Sauerstoff versorgt und durchgemischt. Anschließend muss in einem Nachklärbecken der entstehende Schlamm vom gereinigten Abwasser getrennt werden.

Das Nachklärbecken hat die Aufgabe,

- den Belebtschlamm durch Sedimentation vom gereinigten Abwasser zu trennen,
- den abgesetzten Schlamm einzudicken, damit er mit einem hohen Feststoffgehalt in das Belebungsbecken zurückgeführt werden kann (Rücklaufschlamm) und
- den Belebtschlamm vorübergehend zu speichern, wenn durch eine kurzfristige Erhöhung des Zuflusses zum Belebungsbecken mehr Schlamm in das Nachklärbecken verfrachtet wird.

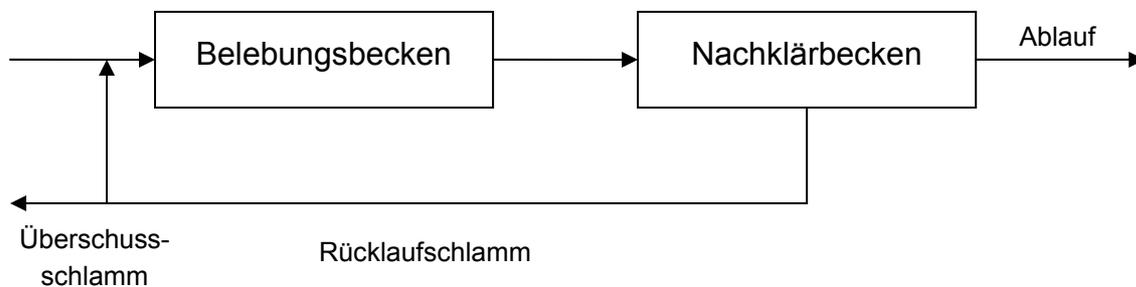


Abbildung 16: Schlammkreislauf beim Belebungsverfahren mit Nachklärbecken (Kainz et al., 2002)

Ein Großteil des Schlammes wird zur Anreicherung des Belebungsbeckens in dieses zurückgeführt. Das gereinigte Abwasser kann frei auslaufen. Der Rücklaufschlamm wird wieder dem Belebungsbecken zurückgeführt. Der Überschussschlamm wird mit dem Primärschlamm abgepumpt. Das Nachklärbecken bildet mit dem Belebungsbecken eine verfahrenstechnische Einheit. Es steht über dem Rücklaufschlamm-Kreislauf in einem eigenen hydraulischen Kreislauf mit dem Belebungsbecken. Die Schlammrückführung muss gesichert und verstopfungsfrei arbeiten, weil sonst die Abwasserreinigung mangels Bakterien nicht funktionieren kann. Eine besondere Beachtung kommt der Anordnung und Bemessung der Überlaufrinnen zu. Es muss verhindert werden, dass der Belebtschlamm durch die Sogwirkung in den Ablauf gelangt. Die An- und Zuordnung von Tauchwänden, Überlaufrinnen und Räumlichkeiten bedarf sorgfältiger konstruktiver Überlegungen. Kontinuierlich durchflossene, mit einem Vorklärbecken und einem nachgeschalteten Nachklärbecken kombinierte Belebungsbecken sind für Groß- und Kleinkläranlagen sehr häufig angewendete „technische“ Bauteile. Abwasserreinigungsanlagen mit einem Bemessungswert über 2.500 EW werden fast ausschließlich nach dem Belebungsverfahren mit Durchlaufbetrieb erbaut.

4.6.3 Anaerobe Schlammstabilisierung

Bezugnehmend auf Kainz et al., 2002, wird bei der anaeroben Schlammstabilisierung der Klärschlamm in geschlossenen Behältern ohne Luftzutritt ausgefault. Die Behälter werden als Faulbehälter oder Faulturm bezeichnet. Die Schlammfäulung liefert Energie in Form von Faulgas. Die Betriebsführung ist schwierig und erfordert einen hohen technischen Aufwand, sowie eine sorgfältige Wartung durch geschultes Personal. Sie kommt für größere Abwasserreinigungsanlagen mit einer Ausbaugröße größer als 20.000 bis 30.000 EW in Frage. Das Verfahren der Schlammfäulung verläuft in zwei nacheinander ablaufenden Schritten. In der ersten Stufe werden faulfähige, organische Stoffe mit Hilfe anaerober Bakterien zu niedrigen Fettsäuren, Alkoholen, Kohlendioxid und Wasserstoff abgebaut. In der zweiten Stufe werden aus den vorhandenen Zwischenprodukten durch spezielle Bakterienstämme Methanbakterien, Ammonium, Kohlendioxid und vor allem Methan (Faulgas) gebildet. Der Übergang von der ersten zur zweiten Abbaustufe erfolgt zunächst nur langsam, mit einem allmählichen Ansteigen des pH – Wertes entwickelt sich immer stärker die Methangärung. Da Faulbehälter im Durchlaufbetrieb arbeiten, müssen die beiden Abbaustufen gleichzeitig nebeneinander ablaufen, ohne einander zu stören. Daher muss die Zugabe des Rohschlammes sorgfältig erfolgen. Zu den wichtigsten Einrichtungen zählt die Heizung. Durch das Aufheizen des Schlammes auf etwa 30 °C bis 35 °C werden die Faulvorgänge so beschleunigt, dass nur mehr ein Drittel des Volumens eines nicht beheizten Faulbehälters notwendig ist. Zur Intensivierung wird der Inhalt durch Pumpen oder Rührwerke umgewälzt. In der Gassammelhaube sammelt sich das Faulgas und wird zur weiteren Verwendung abgeleitet.

4.6.4 Andere Verfahren der Abwasserreinigung

Tropfkörper: (Universität Bremen, 2003; Verwaltung Land Steiermark, 2002)

Tropfkörper sind „technische“ Bauteile zur biologischen Behandlung vorgereinigten Abwassers. Dazu wird das Abwasser über grobporöses Füllmaterial mit großer Oberfläche, auf dem sich Mikroorganismen ansiedeln, verteilt. Die auf den Tropfkörpern lebenden Mikroorganismen bilden einen „biologischen Rasen“ und führen den biologischen Abbau der gelösten organischen Inhaltstoffe durch. Der Schlamm muss in einer Nachklärung vom gereinigten Abwasser getrennt werden. Die Sauerstoffversorgung erfolgt über Luft. Mittels Drehsprenger, Verteilerrinnen oder Spülkippen soll eine gleichmäßige Verteilung des Abwassers auf der Tropfkörperoberfläche gewährleistet werden. Als Füllmaterial, welches das Abwasser problemlos durchsickern lassen muss, gelangen Kunststoffkörper oder Kies mit einer großen Oberfläche zur Anwendung. Im Vergleich zum Belebungsverfahren ist bei Tropfkörpern der Energiebedarf niedriger, die Baukosten sind jedoch höher.

5 UNTERTEILUNG IN KOSTENGRUPPEN

5.1 Allgemein

Die von der FA 19C zur Verfügung gestellten Daten, welche die benötigte Informationen über Kosten beinhalten, waren die Ausgangsbasis der Kostenvergleiche und in weiterer Folge der Kostenanalyse.

Im Förderungsansuchen werden die Gesamtinvestitionskosten in fünf Gruppen unterteilt, die Nebenkosten werden getrennt ausgewiesen:

- Betriebsgebäude
- Steuerung und Überwachung
- Reinigung
- Schlammbehandlung
- Schlamm Entsorgung

Zusätzlich zum Vergleich der Gesamtinvestitionskosten wurden mit dieser vorgegeben Einteilung Vergleiche der einzelnen Kostengruppen vorgenommen. Vor allem bei Neubauten kann ein Vergleich der Gesamtinvestitionskosten durchgeführt werden. Eine Untersuchung der Kostengruppen soll zusätzliche Aufschlüsse für die Ursachenanalyse ergeben.

Bei Anlagen, die dem Stand der Technik angepasst wurden, ist ein Vergleich der Gesamtinvestitionskosten aufgrund der individuell unterschiedlichen Rahmenbedingungen nur sehr schwer möglich. Zum einen variiert die Höhe der Sanierungs- bzw. Anpassungskosten aufgrund des verschiedenen Alters der Anlagen. Zum anderen werden teilweise nur einzelne Anlagenteile saniert oder es wird das gesamte System erneuert und angepasst. Bezüglich der Anpassungen wurde das Hauptaugenmerk auf die Vergleiche in den Kostengruppen gelegt.

Wie bereits erwähnt, soll das Merkblatt zur Variantenuntersuchung der FA 19A eine Grundlage für Kostenschätzungen sein. In Anhang B dieses Merkblattes sind Standard - Kostenansätze angegeben, die mittels vorgegebener Kalkulationstabellen berechnet werden können. In Anhang C sind Richtwerte für die Ausführung und den Betrieb von Abwasserreinigungsanlagen angeführt, welche in Ausbaugrößen unterteilt sind. Diese Standardansätze und Richtwerte sollen bei der Planung einer Anlage als Vorlage dienen und eine Einteilung in Kostengruppen erleichtern.

Die Einteilung in Kostengruppen soll eine grundsätzliche Unterscheidung in hochbautechnische und elektrotechnische Bauteile bewirken, sowie Anlagenteile, die die eigentliche Reinigung und Schlammbehandlung betreffen, in jeweils einer Gruppe zusammenfassen. Die Kosten der Schlamm Entsorgung werden in einer eigenen Gruppe erfasst, welche in dieser Untersuchung zehn Anlagen beinhalten.

Bei der Zuordnung der Bauteile ist zwischen bautechnischen und ausrüstungstechnischen Investitionskosten zu differenzieren. Ausrüstungstechnische Bauteile werden unterschieden in Bauteile, die für Steuerung und Überwachung der gesamten Anlage anfallen, in maschinentechnische und tiefbautechnische Bauteile, die für die Reinigung benötigt werden, und in Bauteile, die für die Schlammbehandlung notwendig sind. Kosten, die für Erschließung, Infrastruktur und Gebäude anfallen, werden der Gruppe „Betriebsgebäude“ zugeteilt.

Eine genaue Zuteilung der Kosten in Gruppen ist zum Teil schwer durchzuführen. Wenn Kosten nicht exakt zuzuordnen sind, hängt es grundsätzlich vom Planer ab, wo welche Kosten eingerechnet werden.

Welche Anlagenteile in welche Kostengruppe fallen, wird in den nachfolgenden Kapiteln erläutert. Die zu errichtenden Anlagenteile hängen immer von der Größe der Anlage und der Notwendigkeit einzelner Bauteile ab. Wenn bei einer Anlage nur sehr geringe Kosten im Bereich Schlammbehandlung anfallen, werden diese in die Kostengruppe Reinigung eingerechnet. Die Unterscheidung der Kosten ist für eine detaillierte Einteilung in Kostengruppen nicht deutlich genug und hängt vom Planer ab, der im Förderungsansuchen die Kosten für Bauteile den einzelnen Kostengruppen zuteilt.

5.2 Betriebsgebäude

Neben den der Abwasser- und Schlammbehandlung dienenden Bauwerken wie Becken und Behälter gehören laut Abwassertechnische Vereinigung e.V in St. Augustin, 1983, zumindest zu größeren Kläranlagen auch mehrere Hochbauten. Diese lassen sich in Betriebsgebäude, Rechenhaus, Gebläsestation, Versuchsanlage, Gebäudeteile von Pumpwerken, Schlammentwässerungs- und gegebenenfalls Schlammverbrennungsgebäude sowie Gaskraftstation, Werkstatt und Garagen unterscheiden. Die maschinentechnischen oder elektrischen Teile in den Gebäuden werden den entsprechenden Kostengruppen zugerechnet. Die Standorte werden im Rahmen der Lageplangestaltung der Kläranlage festgelegt. Entscheidend ist dabei eine sinnvolle Anordnung der Bauwerke und eine entsprechende Anlage von Wegen bzw. Zufahrten. Zum Beispiel muss die Rechenanlage in einem beheizten Rechenhaus errichtet werden, um Störungen durch Vereisungen im Winter zu vermeiden. Bei einer kleinen Anlage, die vielleicht nur wenige Stunden in der Woche gewartet werden muss, wird man sich auf ein kleines Betriebsgebäude beschränken.

50 – 500 EW₆₀:

Nach den Richtwerten des Merkblattes des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 19A, 2002, zur Variantenuntersuchung (Version 4.0, Anhang D) sind bezüglich Außenanlagen die Umzäunung und die Beleuchtung der Kostengruppe Betriebsgebäude zuzurechnen. Dazu zählen auch die Kosten für Grundstücke, Elektroanschlüsse, Wasseranschlüsse, Postanschlüsse und Zufahrten. Bis 200 EW reicht ein Wartehäuschen mit 10 m², das mit einem Gebläseraum, einem Schaltschrank und einem Abstellraum ausgerüstet ist. Wie bereits erwähnt, werden Ausrüstungsgegenstände in den Räumen des Betriebsgebäudes den entsprechenden Kostengruppen zugeordnet. Zum Beispiel werden Maschinenteile im Gebläseraum zum Bereich Reinigung gerechnet. Betriebsgebäude von Kläranlagen mit einer Ausbaugröße bis 500 EW sollen eine Fläche von 10 bis 14 m² haben und zusätzlich mit einem Sanitärbereich und einem Labor ausgeführt werden. Die einzelnen Räume sind im Merkblatt zur Variantenuntersuchung mit Richtwerten für die Größe gegeben (z.B.: Labor: 8 m²).

501 – 1.000 EW₆₀:

Das Betriebsgebäude soll zirka eine Größe zwischen 26 und 34 m² aufweisen. Die Richtwerte der FA 19A sind dieselben wie für Anlagen bis 500 EW und auch bezüglich Aufschließung und Außenanlagen fallen keine zusätzlichen Kosten an.

1.001 – 5.000 EW₆₀:

Abwasserreinigungsanlagen dieser Ausbaugröße sollen je nach Größe ein Betriebsgebäude mit einer Grundfläche von bis zu 100 m² beinhalten. Mittelgroße

Anlagen bieten gewöhnlich die Möglichkeit, das Betriebsgebäude mit Maschinen- und Installationsräumen zusammenzufassen.

Im Einzelnen sind für das Betriebsgebäude folgende Räume vorzusehen:

- Gebläseraum
- Schaltwarte
- Sanitärbereich
- Aufenthaltsraum
- Labor
- Arbeits- und Abstellraum (bis 2.000 EW)
- Lagerraum und Werkstätte (2.000 bis 5.000 EW)

Weiters fallen Kosten für diverse Anschlüsse, Zufahrten, sowie für Grundstück, Beleuchtung, Umzäunung und befestigte Flächen, an.

> 5.001 EW₆₀:

Richtwerte für Anlagen mit einem Bemessungswert über 5.000 EW sehen grundsätzlich eine Fläche des Gebäudes über 100 m² vor. Große Anlagen erfordern im Allgemeinen mehrere Gebäude, zum Teil sogar mehr als ein Betriebsgebäude. Die Anordnung der Gebäude erfolgt nach den Erfordernissen des Kläranlagenbetriebs. Der Betrieb in Graz – Gössendorf mit der Ausbaugröße von 400.000 EW besteht zum Beispiel aus einem mehrstöckigen Betriebsgebäude, einer Werkstatt, Garagen, einer Versuchsanlage, einem Gebläsehaus, einem Rechenhaus mit Sand-, Schotter und Grobsandfang und einem Kesselhaus. Wegen der bei dieser Ausbaugröße zu erwartenden häufigen Besichtigungen sind zweckmäßigerweise ein Besucher- und Vortragsraum mit WC sowie ausreichend Parkplätze vorzusehen.

5.3 Steuerung und Überwachung

Ziel des Einsatzes von Steuerungs- und Regeltechnik auf Kläranlagen ist laut Abwassertechnische Vereinigung e. V in St. Augustin, 1983, die Verbesserung der Reinigungsleistung bei hoher Prozessstabilität, die Reduzierung der Betriebskosten sowie eine Einsparung an Investitionskosten durch eine intensivere Ausnutzung der Reaktionsräume. Grundsätzlich zählen zur Kostengruppe Steuerung und Überwachung alle Leitungen, Sender, Computer, Schieber, Instrumente und sonstige elektronische Einrichtungen. Die Schächte, Räume und benötigten Bauteile, welche für diese Ausrüstungsgegenstände errichtet werden müssen, gehören nicht in den Bereich Steuerung und Überwachung. Im Merkblatt des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 19A, 2002, zur Variantenuntersuchung, Anhang D, sind Richtwerte bezüglich der Steuerungselemente gegeben.

Für Anlagen bis 500 EW sind folgende Einrichtungen vorzusehen:

- Mess- und Regeltechnik (einfache Steuerung)
- Einrichtungen des Probeentnahmeschachtes und Ablaufmengenmessung
- Störfallmeldung
- Einfache Messeinrichtung (bis 200 EW) bzw. einfache Laborausrüstung (bis 500 EW)
- Schaltschrank und Labor (3 – 5 m²) im Betriebsgebäude

Für Abwasserreinigungsanlagen bis 1.000 EW muss die Laborausrüstung den Bestimmungen des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes (ÖWAV) entsprechen. Die Ablaufmengenmessung sollte kontinuierlich erfolgen. Die Mindestanzahl der Probenahmen pro Untersuchungsjahr ist in der 1. Abwasseremissionsverordnung geregelt. Es wird zwischen Fremd- und Eigenüberwachung unterschieden und in Abhängigkeit der Größenklassen und Parameter die genaue Anzahl der Probenahmen vorgegeben.

Anlagen mit einem Bemessungswert über 1.000 EW sind bezüglich steuerungs- und überwachungstechnischer Elemente mit nachstehenden Vorgaben zu errichten:

- Schaltwarte (10 – 15 m² bis 5.000 EW, 15 – 20 m² über 5.000 EW)
- Labor (8 – 15 m² bis 5.000 EW; 15 – 20 m² über 5.000 EW)
- Laborausrüstung (laut ÖWAV – Regelblatt Nr. 7)
- Probeentnahmeschacht (Zu- und Ablauf)
- Kontinuierliche Zu- und Ablaufmengenmessung
- Mess- und Regeltechnik mit Prozesssteuerung

5.4 Reinigung

Den Hauptanteil einer Abwasserreinigungsanlage stellen die Anlagenteile, die in die Kostengruppe „Reinigung“ entfallen. Dazu zählen die mechanische Reinigungsstufe mit Rechanlage und Sandfang, die biologische Reinigungsstufe mit Vorklär-, Nachklär-, und Belebungsbecken sowie alle maschinellen Einrichtungen. (Kainz et al., 2002)

Kleine Kompaktanlagen und Anlagen mit Aufstauprinzip bestehen, wie bereits erläutert, nur aus einem Becken, große Anlagen bestehen aus mehreren Reinigungsstufen.

Anlagen mit einer Ausbaugröße bis 500 EW sind mit einem einfachen Rechen, einem Belebungsbecken und einem Nachklärbecken ausgestattet. Früher wurden die Rechanlagen mit einem Fein- und einem Grobrechen gebaut, heute wird nur mehr ein Feinrechen oder Sieb eingesetzt. Das Nachklärbecken kann in runder, trichterförmiger oder rechteckiger Form ausgeführt werden und hat eine Räumeinrichtung. Die Verbindungsleitungen zwischen Belebungsbecken und Nachklärbecken können offen oder geschlossen ausgeführt werden und als Rücklaufschlammumpfen haben sich Schneckenpumpen bewährt. Die dafür anfallenden Kosten fallen in die Kostengruppe Reinigung, ebenso Kosten, die für die Probeentnahme- und Ablaufmessschächte sowie die Kosten, die für maschinelle Einrichtungen im Gebläseraum entstehen.

Belebungsbecken bei Abwasserreinigungsanlagen bis 1.000 EW werden zweistraßig ausgeführt. Die geometrische Form des Beckens hat keine Auswirkung auf den Reinigungsprozess, das Becken muss aber mit der Belüftungseinrichtung abgestimmt werden, die einen wesentlichen Bauteil in der Belebungsanlage darstellt. Bei Anlagen größer als 1.000 EW ist eine kompakte und geschlossene Fäkalübernahmestation und eine Phosphatfällstation zu errichten. Die Hauptbauteile der Phosphatfällstation sind Pumpen, Rohrleitungen und Behälter. Als zusätzliche Einrichtung ist bei Anlagen größer als 2.000 EW ein belüfteter Sand- und Fettfang und Schotter- und Grobsandfang vorzusehen. Der Sandfang besteht aus einem Becken, einer Belüftung und einer fahrbaren Brückenkonstruktion zur Räumung.

Die Hauptbestandteile deren Kosten in der Kostengruppe Reinigung anfallen, können folgendermaßen dargestellt werden:

- Sandfang
- Vorklärbecken
- Umgebungsbauwerk
- Rücklaufschlammumpfenwerk
- Belebungsbecken
- Nachklärbecken

Zur Kostengruppe Reinigung zählen auch Kosten für Schächte, maschinelle Einrichtungen, Schlammleitungen oder Überlaufbecken. Das Vorklärbecken wird nur bei Kläranlagen mit anaerober Schlammstabilisierung errichtet.

Das Abwasser wird zunächst mechanisch gereinigt und dann im Belebungs- und Nachklärbecken einer biologischen Reinigung unterzogen. Dies sind die Bereiche, die der Kostengruppe Reinigung zugeteilt werden. Die Schlammbehandlung wird in einer eigenen Gruppe zusammengefasst.

5.5 Schlammbehandlung

Es wird grundsätzlich zwischen der aeroben und der anaeroben Schlammstabilisierung unterschieden. Da beim Verfahren der simultanen aeroben Schlammstabilisierung die Reinigung des Abwassers und die aerobe Schlammstabilisierung gleichzeitig erfolgen, wird nur ein Becken benötigt. Laut Merkblatt zur Variantenuntersuchung der FA 19A muss bei jeder Kläranlage ein Halbjahresschlamm Speicher gebaut werden, der zwischen 100 und 500 m³ groß sein muss. Bei Anlagen über 5.000 EW ist bei mobiler oder stationärer Schlammentwässerung ein überdachtes Schlamm Lager vorzusehen.

Anlagen ab 30.000 EW können wirtschaftlicher mit der Schlammbehandlung der anaeroben Schlammfäulung betrieben werden. Bei diesem Verfahren wird in geschlossenen Behältern, die meist aus Stahlbeton hergestellt werden, der Klärschlamm ohne Luftzufuhr ausgefäult. Zu jedem Faulbehälter gehören aufwendige, technische Installationen:

- Rohrleitungen für die Zuleitung des Frischschlammes sowie für die Entnahme des Faulbehälters, des Trübwassers und des Schwimmschlammes
- Vorrichtung für die Einmischung des Frischschlammes
- Beheizung des Faulbehälters
- Gassammelhaube

Bei kleinen Anlagen sind Kosten für Behälter, Schlamm Speicher und Zusatzstoffe in diese Kostengruppe einzurechnen. Bei größeren Anlagen fallen zusätzlich Kosten für die Fäulung und Schlammentwässerung an.

5.6 Schlamm Entsorgung

Eine besondere Beachtung verlangt die schadlose Beseitigung des bei der Abwasserreinigung anfallenden Klärschlammes. (Kainz et al., 2002) Wegen der gegenüber früheren Jahren verschärften Anforderungen an die Schlammbeschaffenheit bei landwirtschaftlicher Verwendung sind zwecks besserer Ausnutzung für die Deponierung gut entwässerte Klärschlämme notwendig. Mit der Schlammbehandlung wird der Schlamm in eine nicht mehr faulfähige Form übergeführt und in seiner Menge reduziert. Der Schlamm wird eingedickt und mit maschinellen Einrichtungen entwässert. Der Grad der Entwässerung richtet sich nach der Art der Schlammabeseitigung. Für die Schlamm Entsorgung kommen vor allem folgende Möglichkeiten in Betracht:

- Landwirtschaftliche Verwertung
- Deponierung in Schlammteichen oder auf Deponien (nur mehr bis 31.12.2003 möglich)
- Verbrennung und Deponierung der Rückstände

Anzustreben ist die landwirtschaftliche Verwertung, Voraussetzung dafür ist allerdings die weitgehende Fernhaltung von Schadstoffen (z.B.: Schwermetalle, etc). Landwirtschaftlich nicht verwertbarer Schlamm wird derzeit noch künstlich entwässert und auf Deponien gelagert, dies ist aber ab 1. Jänner 2004 aufgrund der neuen Deponieverordnung nicht mehr erlaubt.

In den letzten Jahren wurden in der Steiermark einige Verbandskläranlagen gebaut und Kooperationsgemeinschaften gebildet. Zum Beispiel wurde mit der Errichtung der Verbandskläranlage Pöllau eine mobile Klärschlamm entwässerung angeschafft und im Rahmen einer Kooperationsgemeinschaft mit den umliegenden Verbänden und Gemeinden erfolgt die Entwässerung der Nassschlämme von insgesamt 50.000 Einwohnergleichwerten. Auf diese Weise ist es für kleinere Gemeinden möglich, Schlämme zu entwässern und zu entsorgen. Die Schlamm entwässerung und Schlamm Entsorgung in Graz - Gössendorf wurde ausgelagert und von der AEEVG (Abfallentsorgung und Verwertung Graz) übernommen. Der entwässerte Schlamm wird bis Ende 2003 in der Deponie Frohnleiten entsorgt. Danach wird das nicht mehr möglich sein, weil eine Deponierung nur mehr bei einem Gehalt an organischen Kohlenstoff unter 5 % gestattet sein wird. Der Weg führt zwangsläufig zur Schlammverbrennung.

Bisher sind Kosten im Bereich der Schlamm Entsorgung für Trocknungsanlagen, Siebpressen, Trocknungsbeete und Container angefallen, Transportkosten gehören jedoch nicht in diese Gruppe. Die Entsorgung war bislang im landwirtschaftlichen Bereich und auf Deponien problemlos möglich, wird aber, wie bereits erwähnt, in Zukunft nicht mehr möglich sein.

5.7 Nebenkosten

Nebenkosten sind Planungskosten. Die Aufgaben des Planers werden mit dem Werkvertrag, LSW 2000, Version 2002/1 festgelegt:

- Planungsphase
 - Vorentwurf
 - Entwurf
 - Einreichung
 - Details
 - Technische und kaufmännische Oberleitung und Koordinierung der Planungsphase
- Ausschreibungsphase
- Bauaufsicht
- Planungs- und Baustellenkoordination

Als Grundlage für die Berechnung des Honorars dient die Honorarordnung. Die endgültige Honorarermittlung erfolgt nach den tatsächlichen Herstellungskosten des Bauabschnitts.

6 DATEN

6.1 Technische Daten der FA 19A

Der Zuständigkeitsbereich der FA 19 liegt in der Wasserwirtschaft und Abfallwirtschaft. Die FA 19A Referat III ist für die Koordinierung und Beratung bei Abwasserentsorgungsplanungen verantwortlich.

Zum Unterschied zur FA 19C, in der es nur Daten von geförderten Bauvorhaben gibt, existieren in der Abteilung 19A Informationen zu allen Kläranlagen der Steiermark. In Einzelfällen gibt es keine Aufzeichnungen. Die Gemeinden und Abwasserverbände informieren in solchen Fällen das Amt der Steiermärkischen Landesregierung unvollständig oder geben die Informationen über den neuesten Stand nicht weiter.

Die Datenbank enthält folgende Informationen:

- Kanalnummer (z.B.: 102)
- ARA Name (z.B.: Bad Gams – Hohenfeld - Dörfel)
- Gemeindenummer (z.B.: 61 210)
- Gemeindegemeinde (z.B.: Bad Gams)
- EW Konsens und EW Ausbau (z.B.: 1.750 EW und 1.800 EW)
- Inbetriebnahme (z.B.: 1981)
- Systemnummer (z.B.: 2)
- System von bis (z.B.: von 31.12.1990 bis 1.1.2010)
- System (z.B.: Bel für Belebungsanlage)
- Fließschema

Jede Kläranlage wird mit einer eigenen Kanalnummer und Gemeindenummer sowie einem eigenen Kläranlagennamen und Gemeindegemeindenamen beschrieben. Da in einer Gemeinde auch mehrere Anlagen vorhanden sein können, wird jeder Abwasserentsorgungsbetrieb mittels einer Kanalnummer und einem Namen genau definiert. Weiters besteht die Möglichkeit, dass eine Gemeinde die Anlage in einer Nachbargemeinde bauen lässt.

Der Einwohnergleichwert - Konsens ist die Ausbaugröße beim Antrag auf Förderung, der Einwohnergleichwert - Ausbau, ist die tatsächliche Ausbaugröße nach der Kollaudierung. Das Jahr der Erstinbetriebnahme wird ebenso vermerkt wie die Systemnummer. Eine Systemnummer drei sagt beispielsweise aus, dass nach dem Neubau das System zweimal angepasst wurde und zum jetzigen Zeitpunkt die dritte Adaptierung in Betrieb ist. Als zusätzliche Information wird der Zeitraum mit genauem Datum angegeben, in dem das laufende System Gültigkeit besitzt. Weiters gibt die Datenbank Auskunft über das grundsätzliche System. Dabei wird zwischen Belebungsanlage, Tauchtropfkörper und Belebungsanlage mit pflanzlichem Boden- oder Sandfilter unterschieden. Mit Hilfe des Fließschemas erhält man technische

Informationen über Anlagenteile. So sind Aufzeichnungen, ob die Anlage mit einem Feinrechen, Grobrechen, einem belüfteten Sandfang oder Fettfang ausgestattet ist, vorhanden. Des Weiteren gibt es Angaben über die Zahl der Belebungsbecken und Nachklärbecken. Wenn es sich um eine Anlage mit Aufstauprinzip handelt, wird sie als Einbecken-, SBR- oder Kompaktanlage bezeichnet. Bezüglich der Klärschlammbehandlung sind Informationen über Schlamm Speicher, Schlammstabilisierung, Eindicker, Entwässerung oder Schlammfaulräume abrufbar. Die Angaben über Faulbehälter, Schlammfaulanlage und Faultürme bezeichnen eine anaerobe Schlammstabilisierung. Mit diesen Informationen über das Fließschema lässt sich die Gruppeneinteilung der Anlagentypen durchführen.

6.2 Kostendaten der FA 19C

Die Aufgabe der FA 19C ist die Abwicklung der Bundes- und Landesförderungen für Maßnahmen der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung. Wie bereits erwähnt, existieren nur Daten von geförderten Anlagen. Wenn Gemeinden, Verbände, Genossenschaften oder Unternehmer für eine kommunale Abwasserentsorgung über 50 EW eine Förderung beantragen, muss ein Förderungsantrag für Bund und Land eingereicht werden. Aus diesen Förderungsanträgen wurden die Kostenschätzungen der Planer, Ausbaugröße und Antragsdaten entnommen und ein Datensatz erstellt. Folgende Informationen sind abrufbar:

- Antragsnummer (z.B.: 9100488)
- KOSI (Kommissionssitzung, z.B.: 260)
- Status (z.B.: Vertrag angenommen)
- EW (Einwohner, z.B.: 820 EW)
- EW Einwohnerequivalente, z.B.: 1.550 EW)
- EW und Kosten in € der 5 Kostengruppen
- Anpassung / Neubau / Sanierung
- Nebenkosten in €
- Gesamtkosten in €

Jedem Antrag wird vom Bund eine Antragsnummer zugeteilt, die in den ersten beiden Ziffern das Antragsjahr enthält. Mit jeder Kommissionssitzung werden mehrere Anträge, sowohl Anträge für Kanäle als auch für Kläranlagen, bearbeitet. So kann mit der Nummer der Sitzung festgelegt werden, wann diese stattgefunden hat und welche Bestimmungen zu diesem Zeitpunkt gegolten haben. Im Feld „Status“ wird ein Vermerk über den derzeitigen Stand der Förderung gemacht. Man weiß somit, ob der Vertrag angenommen, noch Unterlagen nachgefordert oder ob der Antrag storniert wurde. Stornierte Anträge wurden für die durchgeführten Kostenvergleiche gestrichen. Die Mehrheit der eingereichten Anträge befasst sich mit Kanälen, die nicht in den Themenbereich dieser Arbeit fallen. Daher wird auf diesen Teil der Daten nicht näher eingegangen.

In einem eigenen Bereich der Anträge wird die Information über die Kläranlagen eingetragen. Hier sind neben den Einwohnerequivalenten auch die tatsächlichen Einwohnerzahlen angegeben, wobei es sich bei den Anträgen um eine Anpassung an den Stand der Technik, einen Neubau oder um eine Sanierung handeln kann.

Zu jeder der fünf Kostengruppen werden die jeweiligen Einwohnerequivalente sowie die Kosten in Euro erfasst. Neben den Gesamtkosten werden die Nebenkosten in einer eigenen Spalte ausgewiesen. Die Datenbank enthält alle Anträge für Kanäle und Kläranlagen seit 1991.

6.2.1 Kosten der Förderungsanträge

Unter den Kosten der Förderungsanträge sind förderfähige Baukosten zu verstehen. Nach den Förderungsrichtlinien für kommunale Abwasserentsorgungsanlagen in der Steiermark gelten die Bestimmungen aus „Kommunale Siedlungswasserwirtschaft – Förderungsrichtlinien 1999 in der Fassung 2001“ gemäß § 3 Abs. 1 Pkt. 4 - 10 sowie Pkt. 12 – 16. Im § 3, „Gegenstand der Förderung“, wurde von der Kommunalkredit Austria AG festgelegt, welche Kosten förderbar und welche nicht förderbar sind. Auf die gesetzlichen Richtlinien und Förderungsrichtlinien wurde bereits in Kapitel 3 dieser Arbeit eingegangen. Für die Abwicklung der Bauvorhaben gelten die Landesdurchführungsbestimmungen für die Siedlungswasserwirtschaft, die in Kapitel 3 erläutert wurden.

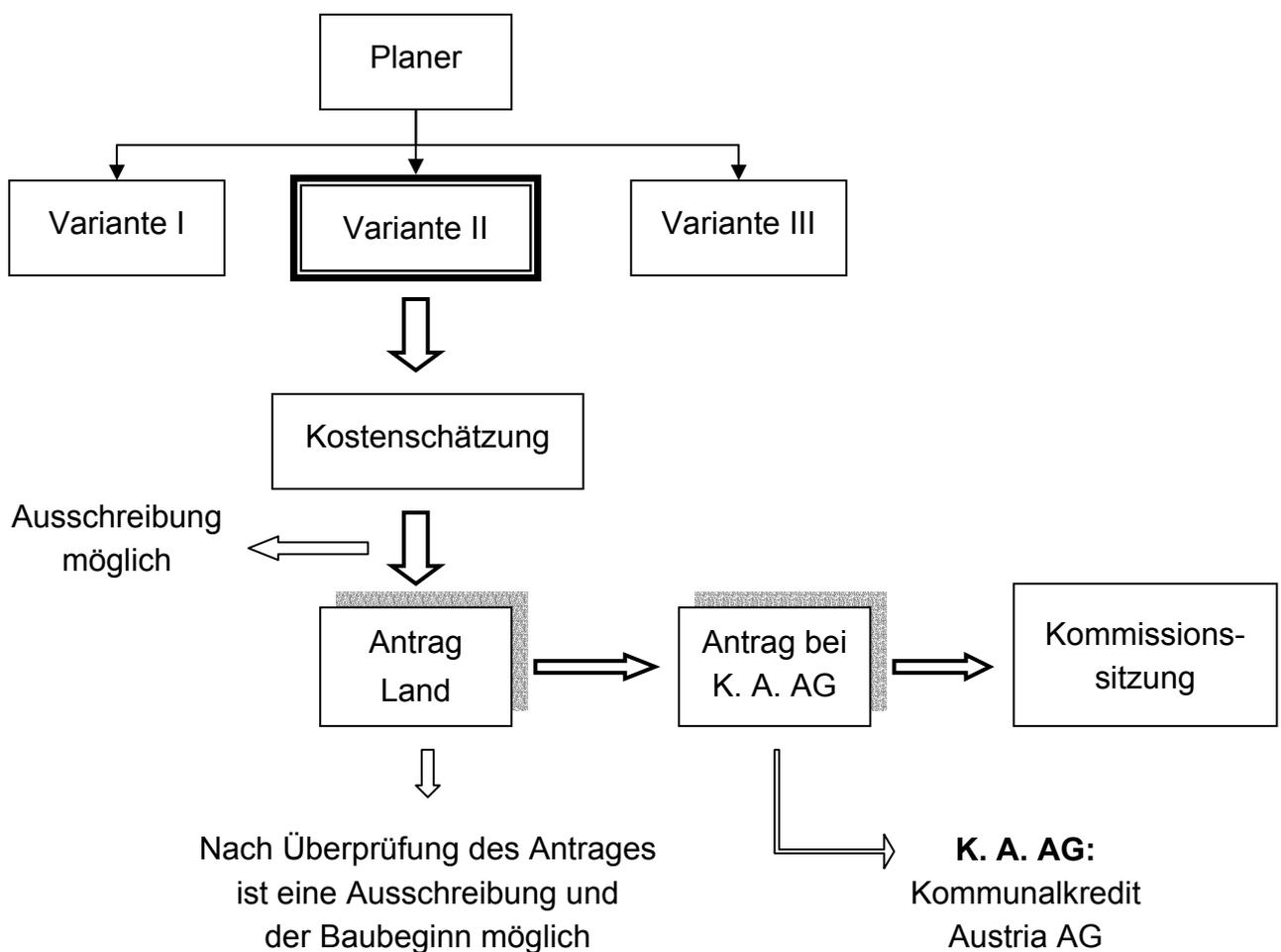


Abbildung 17: Ablauf eines Bauvorhabens von der Planung bis zum Baubeginn bzw. Kommissionssitzung

Grundsätzlich setzt sich der von der Gemeinde beauftragte Planer mit dem Amt der Steiermärkischen Landesregierung in Verbindung und reicht das Ansuchen zur Förderung einer Abwasserreinigungsanlage bei der FA 19A ein. Danach werden vom Planer Varianten mit Kostenschätzungen ausgearbeitet und es wird eine Variantenuntersuchung durchgeführt. Das Amt der Steiermärkischen Landesregierung prüft diese mit Hilfe des Merkblattes der Variantenuntersuchung. Zur besseren Vergleichbarkeit von Projekten muss die Kostenvergleichsrechnung zumindest eine Variantenberechnung enthalten, die auf Basis der „Standard - Kostenansätze“ errechnet wurde. Diese sollen Richtwerte für den Planer zur Berechnung der Kostenschätzungen sein. Die „Standard - Kostenansätze“ sind dem Merkblatt zur Variantenuntersuchung zu entnehmen. Damit soll eine verstärkte Einbindung des Landes bereits in der Planungsphase bewirkt werden. Dies erfolgt unter der Berücksichtigung der Anforderungen der Wasserwirtschaft und unter der Wahrung der ökologischen, volks- und betriebswirtschaftlichen Zweckmäßigkeiten (LSW 2000). Für die Beratung bei abwassertechnischen Grundsatzfragen ist die FA 19A zuständig. Mittels des Variantenentscheides wird ein Vorschlag zur Ausführungsvariante vorgenommen. In Abbildung 17 ist die Variante II als ökologisch, betriebs- und volkswirtschaftlich günstigste Variante dargestellt. Der Planer führt bei der ausgewählten Variante eine Kostenschätzung durch. Erfahrungen, von Baufirmen angebotene Preise vergangener Bauvorhaben sowie die bereits erwähnten Standardansätze bilden die Grundlage für die Kostenschätzungen in den Anträgen. Diese Kostenschätzungen sind Plankosten für die Ausführung einer Abwasserreinigungsanlage. Die gesetzliche Mehrwertsteuer und Skonto sind in diesen Kostenansätzen enthalten. Mit dieser Kostenschätzung wird ein Förderungsantrag beim Amt der Steiermärkischen Landesregierung eingereicht. Der Planer kann in Ausnahmefällen vor dem Antrag eine Ausschreibung vornehmen, Angebotspreise einholen und die so ermittelten Kosten einreichen, was jedoch die Ausnahme darstellt.

Zwischen dem Auftragnehmer und Auftraggeber wird ein Werkvertrag abgeschlossen, für den es eigene Bestimmungen gibt. Laut Werkvertrag LSW 2000, Anhang F, „Gelbe Linie“, 2.2, haben Kostenschätzungen für einen neu beantragten Bauabschnitt sowie für zukünftige Bauabschnitte auf Preisbasis des Antragsjahres zu erfolgen. Die Kostenschätzung, bezogen auf das Antragsjahr, ist anhand regionaler, gleichartiger und aktueller Ausschreibungsergebnisse zu erstellen. In den Förderungsrichtlinien der Kommunalkredit Austria AG, § 7, „Förderungsansuchen und Unterlagen“, Pkt. 4, sind Bestimmungen enthalten für Anlagen, in die mehrere Gemeinden das Abwasser leiten:

Betrifft ein Förderungsansuchen gemäß Abs. 3 Anlagen, die für mehr als eine Gemeinde errichtet werden, so sind in den Unterlagen zum Förderungsansuchen die geschätzten Kosten den betroffenen Gemeinden zuzuordnen. Die zuständige Baubezirksleitung nimmt das Förderungsansuchen entgegen und überprüft das Ansuchen. Es folgt die Bestätigung der Richtigkeit, Vollständigkeit und

Übereinstimmung mit den Planungsvorgaben und den Vorgaben der Förderungsrichtlinien. Im Einvernehmen mit der FA 19C wird bei einzelnen Stichproben eine vertiefte Prüfung gemäß Vereinbarung zum Umweltförderungsgesetz 1993 vorgenommen. Die Baubezirksleitung übermittelt das vollständige Förderungsansuchen, einschließlich der Prüfliste, an die FA 19C.

Folgende sieben Baubezirksleitungen sind in der Steiermark, je nach Region, für die Ansuchen zuständig:

1. Graz Umgebung
2. Leibnitz
3. Feldbach
4. Hartberg
5. Liezen
6. Judenburg
7. Bruck

Nach diesem Schritt wird der Förderungsantrag in Wien bei Kommunalkredit Austria AG eingereicht. Laut Förderungsrichtlinien der Kommunalkredit Austria AG § 7, „Förderungsansuchen und Unterlagen“, sind Förderungsansuchen im Wege des Amtes der Landesregierung an die Abwicklungsstelle, die Kommunalkredit Austria AG, zu stellen. Nachdem das Ansuchen nach Wien weitergegeben wurde, kann mit der Ausschreibung und dem Baubeginn begonnen werden. Nach § 4, „Allgemeine Vorraussetzungen“, Abs. 3 muss das Land die Maßnahme begutachtet haben und muss seitens des Landes eine eindeutige Beurteilung hinsichtlich der Förderungsfähigkeit vorliegen. Laut § 1, Abs. 1, ist das Ziel der Förderung von Maßnahmen zur Wasserversorge, Wasserversorgung, Abwasserentsorgung oder Schlammbehandlung der Schutz des ober- und unterirdischen Wassers vor Verunreinigungen, die Versorgung der Bevölkerung mit hygienisch einwandfreiem Trinkwasser und die Beurteilung von Nutz- und Feuerlöschwasser.

Nach der Bestätigung der Förderung bei Kommunalkredit Austria AG wird das Ansuchen bei einer Kommissionssitzung behandelt.

Die Kosten der Daten, die in dieser Arbeit untersucht werden, stammen von Kommunalkredit Austria AG. In den meisten Fällen sind in den Datensätzen Plankosten enthalten. Daher wurde eine Untersuchung der Plankosten für Kläranlagen, welche in den Förderungsansuchen enthalten sind, durchgeführt. Der Status ist abhängig vom Stand des Antrages und von einer eventuellen Aktualisierung der Daten nach der Kollaudierung.

Die Anträge können folgenden Status besitzen:

Storniert

1. Noch keine Zusicherung
2. Erfasst und im Bearbeitungsstadium
3. Erfasst und auf Unterlagen wartend
4. Unterlagen für Bearbeitung nachgefordert
5. Für die Kommissionssitzung vorbereitet
6. Förderverträge versandt, noch nicht angenommen
7. Vertrag angenommen
8. Endabrechnung überprüft und Investitionszuschuss ausbezahlt
9. Endabrechnung überprüft und Annuitätenzuschuss läuft (25 Jahre)

Stornierte Ansuchen wurden für die Kostenvergleiche nicht berücksichtigt. In den Anträgen mit Status eins bis sieben sind grundsätzlich Kostenschätzungen enthalten. In den Ansuchen mit dem Status acht und neun sind kollaudierte, das heißt tatsächliche Kosten, enthalten. Aus Vergleichen und Erfahrungen der kontrollierenden Organe sind Kostenschätzungen in den meisten Fällen höher. Gründe dafür können besondere Umstände während der Bauzeit oder ein neues Gesetz während der Durchführung des Ansuchens bzw. Bauvorhabens sein. Für die Kostenvergleiche wurden nur Ansuchen mit dem Status eins bis sieben verwendet. Diese Kosten sind Sollkosten für die Bauausführung und werden als solche behandelt und analysiert.

6.3 Index

6.3.1 Allgemeines

Die zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallenden Kosten einzelner Anlagen sind aufgrund der Geldwertänderung nicht unmittelbar vergleichbar. Vielmehr müssen alle Kostengrößen auf die Kaufkraftverhältnisse eines Basisjahres bezogen werden (einheitlicher Preisstand). Da sich die Kosten aus verschiedenen Kostengruppen zusammensetzen und kein einheitlicher Index für diese Sparte veröffentlicht wird, musste eine Umrechnung festgelegt werden. Die Aufteilung der Indizes auf die fünf Kostengruppen wird in Kapitel 6.3.2 behandelt.

Untersucht wurden Anlagen in dem Zeitraum von 1991 bis 2001. Ausgangsbasis sind die Antragsdaten mit dem jeweiligen Antragsjahr. Für die Berechnung wurden mehrere Indizes benötigt, welche in unterschiedlicher Weise veröffentlicht werden (monatlich und/oder für ein Quartal, Lohn und Sonstiges, Industrie und Gewerbe). Daher wurde für jeden Index ein jährlicher Mittelwert der Steigerung berechnet. Als Basisjahr wurde 2002 festgelegt und die Veränderungen wurden bis 1991 in Tabellenform beschrieben.

6.3.1.1 Baupreisindex

Der Herausgeber des Baupreisindex ist die Statistik Austria und die Indizes werden vierteljährlich veröffentlicht. (Österreichisches Statistisches Zentralamt, 1998) Der Baupreisindex wird, zu einem von der Statistik Austria festgelegten Prozentsatz, in Hochbau und Tiefbau unterteilt. In weiterer Folge spaltet er sich in den Bereich Hochbau in Wohnhaus- und Siedlungsbau und in Sonstiger Hochbau. Der Baupreisindex für Tiefbau gliedert sich mit prozentueller Aufteilung in die drei Sparten Straßenbau, Brückenbau und Sonstiger Tiefbau. Der Bereich Sonstiger Tiefbau setzt sich aus 31 repräsentativen Einzelleistungen innerhalb von acht Leistungsgruppen zusammen. Für die Leistungs- und Einzelleistungsgruppen werden wiederum Gewichtungen festgelegt.

Die Grundlage für den Baupreisindex bilden jene Preise, zu denen Bauarbeiten vergeben werden. Bei allen Indizes werden Vertragsabschlusspreise erfasst, das heißt Preise, die bei der Erteilung des Auftrages beiderseits akzeptiert wurden. Die Mitteilung der Preise an die Statistik Austria für die Bereiche Straßen-, Brücken- und sonstiger Tiefbau erfolgt mittels Preisberichte durch die Landesbaudirektionen und Sondergesellschaften. Diese sind für die Auftragsvergabe von Straßen-, Brückenbauvorhaben sowie für Projekte der Wasserver- und entsorgung (sonstiger Tiefbau) zuständig. Im Hochbau stammen die Preise direkt von den Bauunternehmen.

6.3.1.2 Baukostenveränderungen

Die Baukostenveränderungen, laut Wirtschaftskammer Österreich, 2003, bilden eine der wichtigsten Grundlagen für die Umrechnung veränderlicher Preise von Bauleistungen, herausgegeben vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit. Die Baukostenveränderungen werden monatlich veröffentlicht und erscheinen üblicherweise im jeweils ersten Heft der Österreichischen Bauzeitung pro Monat mit einer Nachlaufzeit von eineinhalb Monaten. Die Baukostenveränderungen sind entsprechend der ÖNORM B 2111 Werte, die zur Umrechnung veränderlicher Preise von Bauleistungen verwendet werden. Diese ÖNORM enthält Bestimmungen, nach denen bei Änderungen der vereinbarten Preisumrechnungsgrundlagen die Preise von Bauleistungen in Verträgen zu veränderlichen Preisen umzurechnen sind (ÖNORM B 2111, Ausgabe: 2000-05-01).

Die Baukostenveränderungen werden für drei Bereiche publiziert:

- für die Sparte Hochbau (Baukostenveränderungen)
- für den Siedlungswasserbau (Baukostenveränderungen für den Umwelt- und Wasserwirtschaftsfond)
- für Sonderbauvorhaben (Baukostenveränderungen für Sonderbauvorhaben, z.B. Tunnelbau, Deponiebau, Kraftwerksbau)

Für den Lohn bilden die „Empfehlungen des Bundesministeriums für Finanzen für die Berücksichtigung von Kostenveränderungen auf dem Lohnsektor bei laufenden Verträgen zu veränderlichen Preisen“ die Basis, für den Bereich Sonstiges nicht Objekt bezogene Warenkörbe. Die Kostengrundlagen für die Warenkörbe werden entweder auf Basis von Großhandelspreisen oder auf Basis von eigenen Erhebungen des Wirtschaftsministeriums (z.B. im Bereich der Kostengrundlagen für Sonderbauvorhaben) ermittelt.

Bis Jänner 2000 wurde die ÖNORM gemäße Abminderung in den Veröffentlichungen berücksichtigt. Die Abminderung erfolgte nach Pkt. 2.7.2 der ÖNORM B 2111 (Ausgabe 1. Jänner 1992). Seit Februar 2000 stellt das Bundesministerium die Baukostenveränderungen nur mehr in unabgeminderter Form zur Verfügung.

Für den Bereich Hochbau werden typische Warenkörbe für Baumaterialien Praxis bezogen für die einzelnen Arbeitskategorien zusammengestellt. Zusätzlich werden eventuelle Empfehlungen des Bundesministeriums für Finanzen für die Berücksichtigungen eingetretener Kostenerhöhungen auf dem Lohnsektor bei laufenden Bauvorhaben mit eingerechnet.

Herausgegeben wird der Anteil von Lohn und Sonstiges für die einzelnen Arbeitskategorien, z.B. für die Arbeitskategorie Elektro – Installation mit 54 % Lohnanteil und 46 % Anteil Sonstiges. Zusätzlich wird der Anteil jeder Arbeitskategorie am Wohnungsbau in Prozent angegeben, zum Beispiel für die Arbeitskategorie Elektro – Installation mit 4,30 % (Bauhandbuch 2002).

Die Baukostenveränderungen für den Umwelt und Wasserwirtschaftsfonds werden für die Bereiche Erdarbeiten, Kanäle, Wasserleitungen, Baugewerbe oder Bauindustrie, Wiederherstellung von Bitumendecken und für maschinelle Einrichtungen, für den Bereich „Sonstiges“ einheitlich für alle Bundesländer veröffentlicht. Die Indizes für Lohn müssen mit den Baukostenveränderungen aus den Arbeitskategorien entnommen werden.

Für die Baukostenveränderungen der Sonderbauvorhaben wird eine Warenliste mit insgesamt 52 Baustoffen, wie zum Beispiel Aluminiumwaren, Ankerstahl oder Bentonit, herausgegeben.

6.3.1.3 Zeitgrundgebühr

Die Zeitgrundgebühr wird als Stundensatz eines Ziviltechnikers in der Kalkulation angesetzt. Unter dem Begriff Ziviltechniker sind Architekten, Ingenieurkonsulenten und Ziviltechnikergesellschaften zu verstehen.

Der Wert der Zeitgrundgebühr wird in dieser Diplomarbeit für die Anpassung der Nebenkosten verwendet. Herausgegeben wird die Zeitgrundgebühr in Verbindung mit der Verordnung der Bundeskammer der Architekten und Ingenieurkonsulenten. Die Erhöhung der Zeitgrundgebühr setzt sich zu 60 % aus der Kollektivvertragserhöhung und zu 40 % aus der Verbraucherpreisindexsteigerung zusammen. Die Gewerkschaft der Privatangestellten handelt die Kollektivvertragserhöhung für Angestellte von Ziviltechnikern aus. Die Zeitgrundgebühr wird seit 1960 veröffentlicht und kann je nach Tätigkeit mit Leistungsfaktoren multipliziert werden. Der Leistungsfaktor 0,5 ist zum Beispiel für Gehilfen, der Faktor eins ist für Diplomingenieure und der Faktor zwei ist bei Tätigkeiten eines Sachverständigen zu verwenden.

Die neue Honorarordnung verwendet den Begriff Zeitgrundgebühr nicht mehr. Die Zeitgrundgebühr wird jedoch mit der Bezeichnung „Basiswert“ als Rechenwert weitergeführt, da in noch bestehenden Honorarordnungen, Sondervereinbarungen und Tarifen darauf Bezug genommen wird.

Für die Honorarberechnung nach Zeitaufwand werden nun 3 Leistungskategorien eingeführt und für jede Kategorie ein Stundentarif festgesetzt (s. § 5 Allgemeiner Teil der Honorarordnung). Für die Zuordnung zu den Leistungskategorien ist die Art der Tätigkeit maßgebend.

6.3.2 Berechnung

Für Kläranlagen gibt es keinen eigenen Index zur Umrechnung. Jede der fünf Kostengruppen muss aufgrund der unterschiedlichen Bauelemente mit einem eigenen Index umgerechnet werden. Da nicht bei allen Anlagen Kosten in allen fünf Kostengruppen anfallen, musste jede getrennt betrachtet und berechnet werden. Die elektronischen, tiefbautechnischen und maschinentechnischen Bauteile wurden

jeweils gesondert behandelt und als Summe wieder als Gesamtkosten zusammengefasst. Trotz der großen Anzahl von Anlagen wurde versucht, einen einheitlichen und der Praxis entsprechenden Index zu finden.

Nach Absprache mit Hr. Ing. Manninger, FA 19A, wurde eine einheitliche Berechnung für alle Anlagen und Kostengruppen festgelegt.

Es wurden Anlagen ab dem Jahre 1991 für die Kostenvergleiche herangezogen, und die dafür benötigten Indizes ab 1991 wurden für die Umrechnungen aus den jeweiligen Quellen entnommen und auf das Basisjahr 2002 bezogen. Die Werte sind den Tabellen 3 – 6 zu entnehmen.

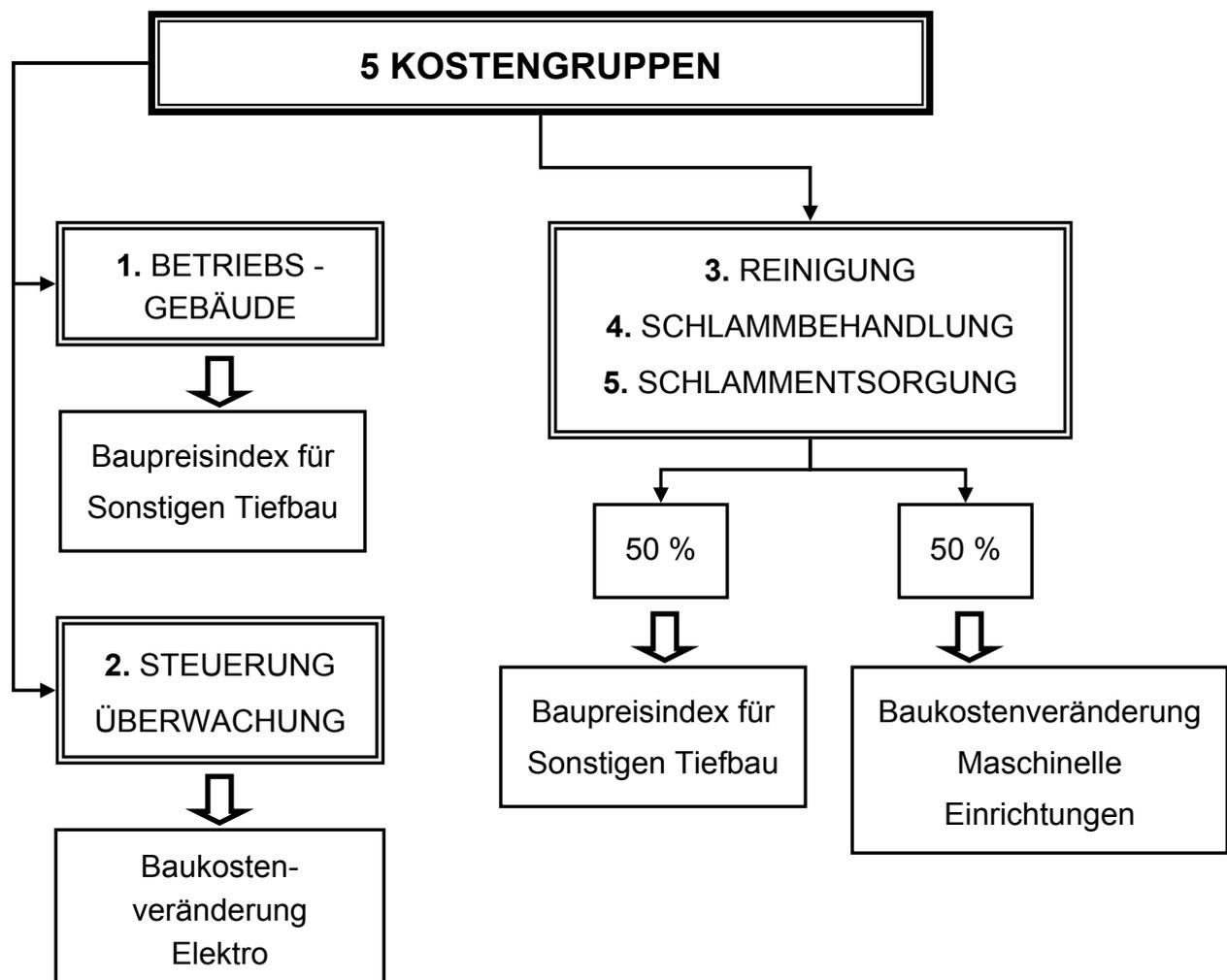


Abbildung 18: Übersicht der Indizes der Kostengruppen

Die Nebenkosten werden gesondert behandelt. Da die Nebenkosten die Bereiche Bauplanung, Projektierung und Koordination betreffen, wird zur Umrechnung dieser Kosten die Zeitgrundgebühr verwendet.

Die Umrechnung erfolgt nach folgender Formel:

$$\text{Kosten}_{2002} = \text{Kosten}_{1995} * (\text{Index}_{1995} / \text{Index}_{2002})$$

6.3.2.1 Betriebsgebäude

Auf diese Kostengruppe entfallen Infrastruktur, Anschlüsse und bei größeren Anlagen das Betriebsgebäude selbst mit dessen vorgeschriebenen Einrichtungen. Der Anteil des Betriebsgebäudes wird aus den Gesamtkosten herausgenommen und mit einem eigenen Index umgerechnet. Die Kosten, die das Betriebsgebäude betreffen, werden mit dem Baupreisindex für sonstigen Tiefbau bereinigt. Aus der Veröffentlichung des Baupreisindex, die von der Statistik Austria stammt, wurden die durchschnittlichen Veränderungen gegenüber dem Vorjahr in Prozent entnommen und für die Umrechnung der Kosten herangezogen.

Jahr	Index	Veränderung in % gegenüber zum Vorjahr
1991	111,80	
1992	109,80	2,00
1993	107,80	2,00
1994	106,00	1,80
1995	103,70	2,30
1996	100,80	2,90
1997	98,40	2,40
1998	97,70	0,70
1999	98,90	-1,20
2000	99,00	-0,10
2001	99,50	-0,50
2002	100,00	-0,50

Tabelle 3: Baupreisindex für den Sonstigen Tiefbau ab 1991 (Basis: 2002 = 100,00) (Statistik Austria)

6.3.2.2 Steuerung und Überwachung

In diese Gruppe fallen die Kosten für Leitungen, Instrumente, Sender und Schieber, welche sich fast ausschließlich aus Elektroinstallationen zusammensetzen. Daher

wird diese Kostengruppe ebenfalls aus den Gesamtkosten herausgenommen und mit den Baukostenveränderungen für die Arbeitskategorie Elektro umgerechnet.

Dieser monatlich veröffentlichte Index wird getrennt für Gewerbe und Industrie veröffentlicht und zusätzlich noch in Lohn und Sonstiges unterteilt. Der Anteil Lohn erscheint in jedem Bundesland, für den Anteil „Sonstiges“ gibt es einen einheitlichen Wert für Österreich. Da die Kosten für die Kläranlagen nur auf ein Jahr bezogen werden können, wurde zunächst für Index ein Durchschnittswert für das entsprechende Jahr ermittelt. Aus den Werten Industrie und Gewerbe wurde wiederum ein Mittelwert für den Anteil Lohn und für den Anteil Sonstiges errechnet. Danach wurden die Indizes nach ihren Anteilen an der Arbeitskategorie für Lohn und Sonstiges gewichtet.

Die bis zum Jänner 2000 erfolgten Veröffentlichungen enthielten ÖNORM – gemäße, abgeminderte Werte. Daher mussten die Indizes ab Februar 2000 für den Anteil Lohn mit 0,94 und für den Anteil Sonstiges mit 0,98 abgemindert werden. Die Ergebnisse der erläuterten Berechnungen werden in Tabelle 4 in tabellarischer Form dargestellt.

Jahr	Index	Veränderung in % gegenüber dem Vorjahr
1991	134,31	-
1992	129,53	4,78
1993	125,35	4,18
1994	121,00	4,35
1995	115,57	5,43
1996	111,58	3,99
1997	108,22	3,36
1998	106,85	1,37
1999	104,78	2,07
2000	103,61	1,17
2001	102,10	1,51
2002	100,00	2,10

Tabelle 4: Baukostenveränderungen für die Arbeitskategorie Elektro – Industrie und Gewerbe, Lohn, Sonstiges ab 1991 (Basis: 2002 = 100,00) (Österreichische–Bauzeitung, 1992 - 2002)

6.3.2.3 Reinigung, Schlammbehandlung, Schlammentsorgung

Die Kosten für Reinigung, Schlammbehandlung und Schlammentsorgung wurden jeweils nach demselben Prinzip umgerechnet. Arbeiten für Vor- und Nachklärbecken, Messschächte und allgemeine maschinelle Einrichtungen fallen in den Bereich Reinigung. Für die Kostengruppen Schlammbehandlung und Schlammentsorgung ergeben sich Kosten für Behälter, Trocknungsanlagen, Siebpressen, Container etc. Die Kosten dieser drei Gruppen wurden daher zu jeweils 50 % mit dem Baupreisindex für „Sonstigen Tiefbau“ und mit den Baukostenveränderungen für den Umwelt- und Wasserwirtschaftsfonds für Maschinelle Einrichtungen umgerechnet. Die Werte für den Baupreisindex sind in Kapitel 6.3.2.1 erläutert und in Tabelle 3 tabellarisch dargestellt. Die Indizes für Maschinelle Einrichtungen werden monatlich für alle Bundesländer veröffentlicht. Es wurde ein Durchschnittswert für jedes Jahr errechnet, wobei die Indizes ab Februar 2000 mit 0,98 abgemindert wurden. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die zeitlichen Veränderungen der Gruppe Maschinelle Einrichtungen.

Jahr	Index	Veränderung in % gegenüber dem Vorjahr
1991	141,90	-
1992	135,31	6,59
1993	128,72	6,59
1994	123,86	4,86
1995	119,66	4,20
1996	114,26	5,40
1997	113,51	0,75
1998	109,76	3,75
1999	108,61	1,15
2000	105,27	3,34
2001	102,75	2,52
2002	100,00	2,75

Tabelle 5: Baukostenveränderungen für den Umwelt- und Wasserwirtschaftsfonds, Maschinelle Einrichtungen ab 1991 (Basis 2002 = 100,00) (Österreichische-Bauzeitung, 1992 - 2002)

6.3.2.4 Nebenkosten

Die Nebenkosten beinhalten Bauaufsicht, Projektleitung, Statik und Aufgaben, die einem Zivilingenieurbüro unterliegen. Diese Kosten wurden daher mit der jährlichen Steigerung der Zeitgrundgebühr auf das Basisjahr 2002 bezogen. Aus der jährlichen Zeitgrundgebühr wurde die prozentuelle Steigerung errechnet und in der Tabelle 6 dargestellt.

Jahr	Betrag [ATS]	Index	Veränderung in % gegenüber dem Vorjahr
1991	616	133,60	-
1992	616	133,60	0,00
1993	651	126,42	7,18
1994	683	120,50	5,92
1995	718	114,62	5,87
1996	721	114,15	0,48
1997	745	110,47	3,68
1998	745	110,47	0,00
1999	745	110,47	0,00
2000	780	105,51	4,96
2001	802	102,62	2,89
2002	823	100,00	2,62

Tabelle 6: Index und jährliche Entwicklung der Zeitgrundgebühr ab 1991 (Basis 2002 = 100,00) (Bundeskammer der Architekten und Ingenieurkonsulenten)

6.3.3 Vergleich errechneter mittlerer Index - Verbraucherpreisindex

(Statistik Austria, 2003)

Um die Entwicklung der Indizes, mit denen die Kosten der Kläranlagen umgerechnet wurden, gegenüber der Steigerung des Verbraucherpreisindex vergleichen zu können, wurden die Verläufe in einem Diagramm (Abbildung 19) dargestellt.

Für den Index der Kläranlagen wurden die Summen der Kostengruppen aller Kläranlagen gebildet und die prozentuellen Anteile an den Gesamtkosten errechnet. Mit diesen Verhältnissen und der Aufteilung der Indizes auf die Kostengruppen (Abbildung 18) wurde für jedes Jahr (1992 bis 2002) ein Durchschnittswert für die

Veränderung in Prozent gegenüber dem Vorjahr errechnet. Aus dem Jahr 1991 stand nur ein Ansuchen zur Verfügung, deshalb wurde mit diesem Vergleich erst bei den Daten für das Jahr 1992 begonnen.

Der Verbraucherpreisindex wird von der Statistik Austria veröffentlicht und gibt die Inflation in Österreich an. Die Statistik Austria wird dabei von einem Expertengremium aus Ministerien, Österreichischer Nationalbank, Sozialpartnern etc. beraten. Das Indexteam muss dabei auf EU Verordnungen und Kosteneffizienz achten. Bei den Indexpositionen werden umso mehr ausgewählt, je größer die Bedeutung ist und je größer die Streuung der Preisentwicklung bisher war. Es wird eine Gewichtung von 100 Untergruppen vorgenommen und Aufzeichnungen von 7.100 Haushalten in Österreich eingearbeitet. Auf der Ebene der Untergruppen werden schließlich Expertenauskünfte, Firmenangaben und Sekundärstatistiken verwendet. Der Verbraucherpreisindex ist das statistische Instrument, mit dem die Entwicklung des Preisniveaus auf der Konsumentenstufe gemessen wird. Für den Vergleich mit den Indizes der Kläranlagen wurde ein durchschnittlicher Jahreswert herangezogen.

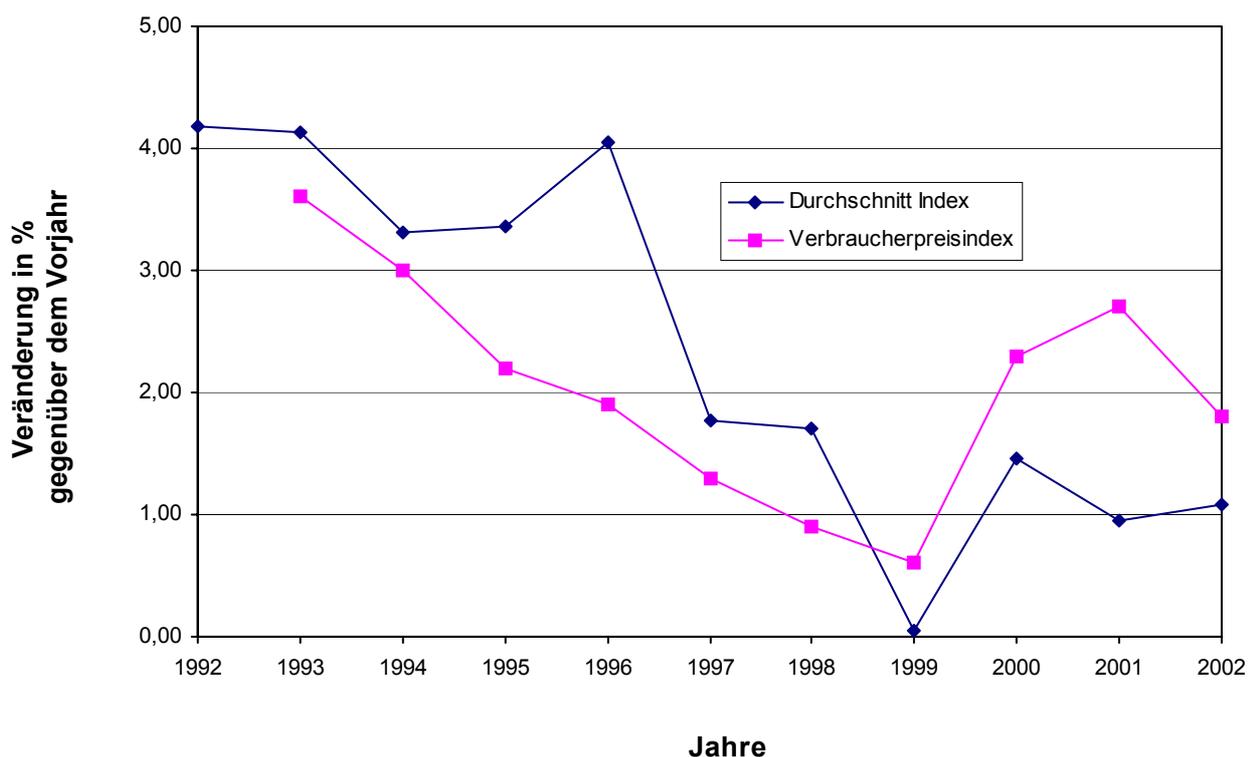


Abbildung 19: Vergleich der Durchschnitts – Indizes von Kläranlagen und der Verbraucherpreis – Indizes von 1993 bis 2002

Die beiden Indizes lassen in den untersuchten Jahren eine sehr ähnliche Entwicklung erkennen. Nur im Jahre 1996 war die Steigerung des Durchschnittsindex doppelt so hoch wie die des Verbraucherpreisindex.

6.4 Darstellung und Aufbau der Daten

Aufgrund der getrennten Datenerfassung bezüglich Kosten und technische Daten von Kläranlagen, mussten die Daten der Anlagen sortiert, verglichen und zu einer Datenreihe zusammengeführt werden. Die technischen Daten der FA 19A wurden mit den Kostendaten der FA 19C betreffend Ausbaugröße, Gemeindegemeinde und Antragsnummer verglichen und gleichzeitig einer Kontrolle unterzogen. Bei Anlagen mit fehlenden Daten musste zusätzlich eine Datenerhebung mit den zuständigen Referenten durchgeführt werden.

Die Information über den technischen Stand der Anlage wird von Verbänden und Gemeinden, das heißt von den Betreibern, nach der Fertigstellung an das Amt der Steiermärkischen Landesregierung übermittelt. Zum einen können die von den Verbänden ursprünglich angegebenen Daten für den Förderungsantrag ungenau sein und zum anderen können sich in der Bauphase noch Veränderungen bezüglich der Ausbaugröße ergeben haben. Zusätzlich kann vorkommen, dass Betreiber nach der Inbetriebnahme keine oder nur ungenaue Informationen der FA 19A zukommen lassen.

Die Plausibilitätsprüfung erfolgte in 3 Stufen:

- Überprüfung der Kostendaten
- Überprüfung der Technischen Daten
- Überprüfung der Übereinstimmung beider Daten

Bei knapp über 120 Anlagen stimmten Name und Nummer der Gemeinde, Einwohnergleichwert und Jahr überein. In über 81 Fällen war eine Abklärung mit den jeweils zuständigen Referenten notwendig. Es wurde eine Liste der Anlagen, die Unstimmigkeiten enthielten, aufgestellt und diese nach Bezirken der Steiermark und deren zuständigen Referenten sortiert. Die Steiermark ist im Bereich der Abwasserentsorgung in insgesamt neun Referate aufgeteilt.

Folgende Probleme mussten bei der Datenerhebung geklärt werden:

- Anpassung an den Stand der Technik oder Neubau
- Ausbaugröße
- Gemeindegemeinde
- Fehlende Beschreibung des Fließschemas
- Kosten von nur einer Kostengruppe vorhanden

Aufgrund der Novelle zum Wasserrechtsgesetz 1959 (Bundesgesetzblatt Nr. 252/1990) musste bei allen bestehenden Anlagen eine Anpassung an den Stand der Technik durchgeführt werden. Bei einigen Anlagen wurde nur eine Anpassung durchgeführt, andere Anlagen wurden fast zur Gänze neu gebaut. Die dritte Variante war eine Anpassung über die vorhandene Ausbaugröße mit einer Erweiterung im Zuge desselben Bauvorhabens. Ein Beispiel dafür wäre eine Anpassung der

Ausbaugröße von bereits bestehenden 4.000 EW und gleichzeitig ein Ausbau um 6.000 EW auf eine Ausbaugröße von 10.000. Die Erweiterung um 6.000 EW könnte man in die Gruppe Neubau einteilen. Da aber im Zuge einer Anpassung verhältnismäßig kostengünstig eine Aufstockung durchgeführt werden kann, ist schwer eine Aufteilung in Anpassung und Neubau festzulegen. Allgemein muss gesagt werden, dass bei allen Anträgen für Anpassungen nur schwer zu unterscheiden ist, welche Teile der Anlage neu gebaut und welche nur saniert oder angepasst wurden. Um eine passende Klassifizierung durchführen zu können, wurden über diese Anlagen von den zuständigen Referenten genauere Information eingeholt und mit deren Unterstützung eine Einteilung vorgenommen.

Die Gegenüberstellung der Kostendaten und technischen Daten ergab in vielen Fällen Probleme in Bezug auf die Ausbaugröße. Gründe dafür sind mehrere Anlagen in einem Bezirk, ungenaue Datenangaben bei den Förderungsanträgen oder eine Änderung der Ausbaugröße während des Bauvorhabens.

Bei Unstimmigkeiten der Gemeindenummer stellte sich bei fast allen betroffenen Anlagen heraus, dass Gemeinden eine Anlage in einer Nachbargemeinde errichtet hatten. Im Förderungsantrag ist die Gemeindenummer der Gemeinde vermerkt, welche den Antrag stellte. In den technischen Informationen ist in so einem Fall die Nummer der Gemeinde enthalten, in der die Kläranlage ihren Standpunkt hat. Nach der Bestätigung der zuständigen Referenten wurden diese Anlagen in die Kostenvergleiche aufgenommen.

Daten von Anlagen ohne Information über das Fließschema, wurden in Zusammenarbeit mit den Mitarbeitern der FA 19C ergänzt. Die Information des Fließschemas musste detailliert vorliegen, um eine Einteilung in Anlagentypen möglich zu machen.

Bei der Überprüfung der Kostengruppen wurden Anträge, bei denen Kosten nur in einer Kostengruppe anfielen, eingehender untersucht. Wenn nur Anlagenteile einer Kostengruppe erneuert oder angepasst wurden und nur geringe Kosten dafür anfielen, wurden diese nicht für die Kostenvergleiche verwendet. Zum Beispiel wurden die Kosten für den Neubau eines Feinrechens und Blockheizkraftwerks bei einer Anlage nicht für die Analyse herangezogen. Bei einer anderen Anlage wurde nur ein Faulturn neu gebaut. Diese Datenreihen wurden in dieser Arbeit nicht miteinbezogen.

Stornierte Anträge und Teichkläranlagen wurden für die Kostenvergleiche ebenfalls ausgeschlossen, ebenso wenig wurden Sanierungen berücksichtigt. Die Anzahl von Anträgen, die als Sanierungen eingereicht wurden, war nicht ausreichend, um eine eigene Gruppe zu bilden.

Für die Einteilung musste eine Anonymisierung durchgeführt werden. Um eine Nachvollziehbarkeit, welche Anlagen welche Kosten verursacht haben, zu unterbinden, wurden den Anlagen Nummern von 1 bis 187 nach dem Zufallsprinzip zugeteilt.

Da die Bezirke nicht in den Datenreihen enthalten waren, mussten diese ergänzt werden. Nachdem festgelegt wurde, welche Bezirke in welche Region fallen, konnte die Einteilung in drei Regionen für die Steiermark erfolgen. Um die Zuteilung der Regionen zu den Anlagen zu erschweren, wurde den 3 Gruppen jeweils eine römische Ziffer gegeben.

Zur Übersicht für die Preisanpassung wurde das Datum der Antragstellung und die dazugehörigen Indizes nach Jahren sortiert. Die fünf Kostengruppen Betriebsgebäude, Steuerung und Überwachung, Reinigung, Schlammbehandlung und Schlammentsorgung sowie die Gesamtkosten und Nebenkosten wurden dabei jeweils separat betrachtet. Auf die Wahl der Indizes und auf die Umrechnung wird in Kapitel 6.3 eingegangen. Die auf das Jahr 2002 bezogenen und bereinigten Kosten waren die Grundlage für den Kostenvergleich.

7 KOSTENVERGLEICH

7.1 Kosten

7.1.1 Kostenvergleiche in der Abwasserwirtschaft

Grundsätzlich wird bei den Kosten der Abwasserwirtschaft zwischen Investitions- und Betriebskosten unterschieden. Kommunale Abwassereinigungsanlagen können nach Bohn, 1993, dann als wirtschaftlich bezeichnet werden, wenn bei Einhaltung der geforderten Reinigungsleistung die jährlichen Gesamtkosten minimiert werden. Die jährlichen Gesamtkosten einer Anlage werden in der Terminologie der Abwassertechnik meist als Jahreskosten oder auch als durchschnittliche jährliche Nutzungskosten bezeichnet. Die Nutzungskosten enthalten alle regelmäßig und unregelmäßig anfallenden Kosten während der Investitions- und Betriebsphase.

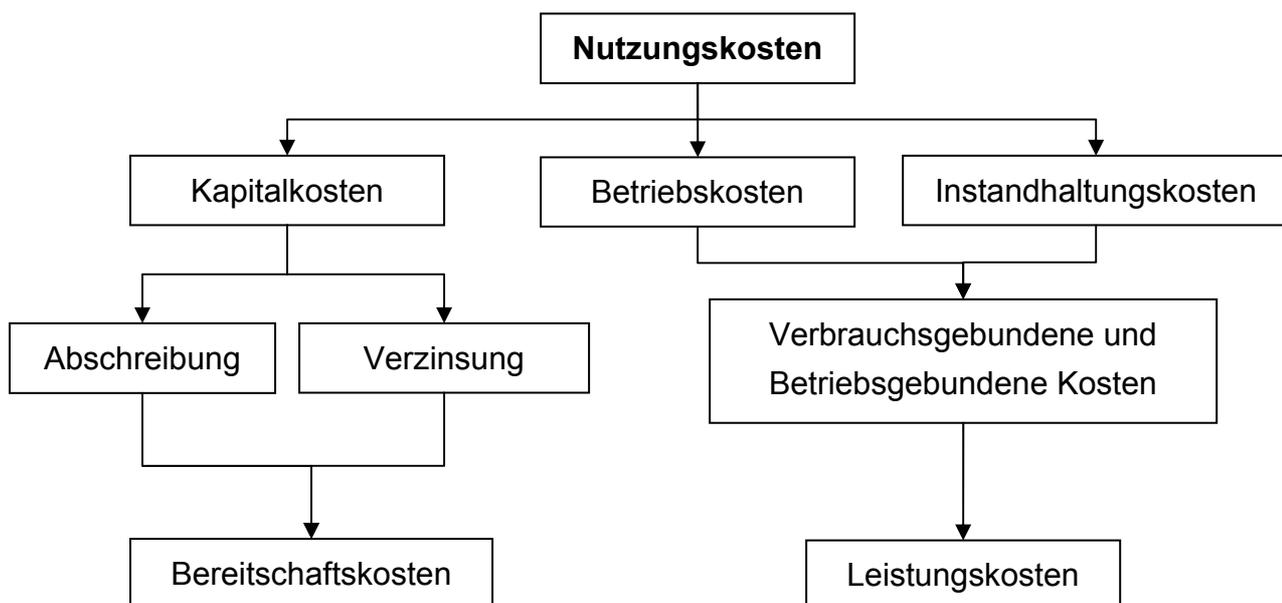


Abbildung 20: Hauptbestandteile der Nutzungskosten kommunaler Kläranlagen

Die Nutzungskosten setzen sich aus Kapitalkosten sowie Betriebskosten und Instandhaltungskosten zusammen. Unter Kapitalkosten wird die Summe der jährlichen kalkulatorischen Abschreibung und kalkulatorischen Verzinsung des investierten Kapitals verstanden. Das investierte Kapital wird mit den Investitionskosten bzw. Anschaffungskosten für die Investition gleichgesetzt. Investitionskosten enthalten die Baukosten inklusive sämtlicher Baunebenkosten.

Die Betriebs- und Instandhaltungskosten, die auch als laufende Kosten bezeichnet werden können, stellen diejenigen Bestandteile der Nutzungskosten dar, die außer den Kapitalkosten bei der Nutzung des Investitionsobjektes anfallen. Sie entstehen nach Herstellung der Leistungsbereitschaft durch den Betrieb der Anlage.

7.1.2 Investitionskosten

7.1.2.1 Allgemein

Im Rahmen der Kostenvergleichsrechnung ist bei der Kostenermittlung im Allgemeinen nach Investitionskosten / Reinvestitionskosten und laufenden Kosten für Betrieb und Unterhaltung zu unterscheiden.

Unter Investitionskosten versteht man laut Amt der Steiermärkischen Landesregierung, FA 19A, 2002, einmalig aufzuwendende Kosten (auch Anlage- oder Herstellungskosten genannt), die zur Erstellung, zum Erwerb und zur Erneuerung von Anlagen (Reinvestitionskosten) erforderlich sind.

Die Investitionskosten waren und sind vor allem dann von Interesse, wenn es darum geht, bei konkreten Bauprojekten in einem Variantenvergleich unterschiedliche Konzepte kostenmäßig gegenüberzustellen.

7.1.2.2 Verwendete Investitionskosten

Wie bereits im Kapitel 6.2.1. genau beschrieben, wurden für die Untersuchung die Kosten aus den Förderungsansuchen, welche Plankosten für die Bauausführung von Kläranlagen sind, herangezogen. Diese Ansuchen beinhalten ausschließlich einmalig anfallende Kosten, die zur Herstellung von Anlagen benötigt werden. Betriebskosten, Instandhaltungskosten und Reinvestitionskosten werden nicht berücksichtigt. Da es sich bei den Daten um Kosten aus dem Förderungsantrag handelt, wurden nur Kosten untersucht, die für die Erstellung einer Abwasserreinigungsanlage benötigt werden und förderfähig sind. Kosten, die für anderwärtig genutzte Bereiche anfallen, wie zum Beispiel ein Seminarraum für die Gemeinde, sind nicht in den Förderungsanträgen enthalten. Nicht förderfähige Kosten sind in den Förderungsrichtlinien 1999, in der Fassung 2001 (Kommunale Siedlungswasserwirtschaft), festgelegt und sind zum Beispiel Anschluss- und Verbindungsentgelte, Instandhaltungskosten und Betriebsmittel.

Insgesamt standen über 220 Förderungsanträge zur Verfügung. 187 Anlagen wurden nach einer Plausibilitätskontrolle in einem Kostenvergleich untersucht. Die große Anzahl von Anlagen erschwert eine Untersuchung der Betriebskosten. Hinsichtlich der Annahmen, die solchen Kostenermittlungen zugrunde liegen, existieren jedoch keine allgemein gültigen Ansätze. So gibt es beispielsweise keine generell akzeptierte Grundlage bezüglich des Personalbedarfs von Abwasserreinigungsanlagen. Auch hinsichtlich anderer Kostenfaktoren existieren

keine allgemeinen Ansätze, wie z.B. bezüglich des Energiebedarfs oder des zu erwarteten Schlammanfalls bei unterschiedlichen Verfahren der Abwasserreinigung. Die vorhandenen Aufzeichnungen der Anlagen sind für die Untersuchung der Betriebskosten zu ungenau. Die Grundlage für die Untersuchung waren hiermit Kostenschätzungen bzw. Plankosten, die für die Ausführung eines Bauvorhabens einer Abwasserreinigungsanlage benötigt werden. Nicht berücksichtigt wurden Betriebs-, Instandhaltungs- und Reinvestitionskosten.

Die Einteilung der Gesamtkosten in Kostengruppen und die jeweils enthaltenen Kosten sind dem Kapitel 6 zu entnehmen.

7.1.3 Spezifische Investitionskosten

7.1.3.1 Bezugsgrößen und Kennzahlen

Um Kostenvergleiche durchführen zu können, ist es erforderlich, Kosten unterschiedlicher Anlagen auf technische Kenngrößen zu beziehen, um auf diese Weise zu spezifischen Kosten, die im Weiteren als "Kennzahlen" bezeichnet werden, zu gelangen. (ÖWAV, 2001)

Wesentlich ist, dass „vergleichbare“ technische Kenngrößen eingesetzt werden, um einen sinnvollen Kostenvergleich anstellen zu können. Diese vergleichbaren technischen Kenngrößen werden "Bezugsgrößen" genannt.

Unter "Bezugsgröße" versteht man generell eine Größe, die einen Bezug der Kosten auf vergleichbare Einheiten erlaubt. Sie stellt eine Größe dar, die als Divisor der jeweiligen Kosten bei der Ermittlung der "Kennzahl" fungiert. Die Wahl der Bezugsgröße hat einen unmittelbaren Einfluss auf die ermittelten Kennzahlen.

Für Kostenkennwerte sollte weitestgehender kausaler Zusammenhang mit den jeweiligen Bezugseinheiten bestehen, das heißt die Bezugsgrößen sollen Einflussfaktoren der Investitionskosten darstellen.

Im Bereich der Abwasserentsorgung wird diese Bezugsgröße stets ein Parameter sein, der die Größe bzw. die Belastung der Abwasseranlagen beschreibt, wie z.B. "angeschlossene Einwohner", Kanallängen, "Einwohnerwerte", Schmutzfrachten etc. Die Investitionskosten von Abwasseranlagen stehen in keinem Zusammenhang zur tatsächlichen "Belastung" der Anlagen, sondern sind nur von der (Ausbau-)Größe der Anlage abhängig. Bezugsgrößen für die Investitionskosten von Abwasserreinigungsanlagen sind daher die Ausbaugrößen laut Projekt.

Bereits in der Vergangenheit sind immer wieder umfangreiche Arbeiten verfasst worden, die sich mit den Kosten der Abwasserentsorgung beschäftigten. In einer Arbeit von Bohn (1993) wurde auf verschiedene Bezugsgrößen für Herstellungs- und Betriebskosten eingegangen. Da kommunale Kläranlagen aus unterschiedlichen verfahrenstechnischen Ausrüstungsgegenständen und Anlagensystemen bestehen, wurde eine Klassifikation der klärtechnischen Ausrüstung vorgenommen. Für eine abgegrenzte und systematische Kostenplanung wurde eine

Kostenelementgliederung mit Unterkostengruppen und Grobelementen gebildet. Als Bezugseinheiten wurden, zum Beispiel für die Belebungsanlage [kg BSB₅/D] oder für das Nachklärbecken, [€/m³] Bemessungsvolumen gewählt. Weil die Unterteilung sehr genau durchgeführt werden kann, kann man für jeden Anlagenteil (zum Beispiel Siebanlage, Niederdruckbelüftung oder Faulraumheizung) eine eigene Bezugseinheit auswählen. Wenn eine genaue Unterteilung nicht möglich ist, werden die Kosten mit Einwohnergleichwerten als Bezugseinheit in Kostenvergleichen untersucht.

7.1.3.2 Wahl der Bezugsgröße

Aufgrund des Umfanges der Arbeit wurde eine Einteilung in nur fünf Kostengruppen vollzogen, daher wurde als Bezugsgröße für alle Kostengruppen die Einheit „Einwohnergleichwert“ gewählt. Die Einteilung in Kostengruppen ist in Kapitel 5 beschrieben. Die Nebenkosten wurden, wie bereits erwähnt, separat behandelt und wurden im Verhältnis zu den Gesamtkosten dargestellt.

7.1.4 Vergleichbarkeit der Investitionskosten

Die Gesamtinvestitionskosten beim Neubau und der Erweiterung kommunaler Kläranlagen sind von zahlreichen örtlichen spezifischen Randbedingungen abhängig. Zu den primären Kosteneinflussfaktoren zählen nach Bohn, 1993, vor allem:

- Topographische Verhältnisse des Anlagestandortes
- Baugrundverhältnisse des Anlagenstandortes
- Art des Kanalisationssystems (Misch- oder Trennsystem)
- Ausbaugrad und Art der Regenwasserbehandlung
- Hydraulisch und biologisch – chemische Belastung der Anlage
- Belastbarkeit des Vorfluters
- Art des Abwasserreinigungsverfahrens
- Art der Klärschlammbehandlung
- Art der Reststoffversorgung und Klärverwertung
- Grad der Automatisierung zur Messung, Steuerung und Regelung
- Anforderungen an Betriebssicherheit und Prozessstabilität
- Konstruktive und architektonische Ausbildung der Bauwerke

Zusätzlich zu den vorgenannten primären Einflussfaktoren der Investitionskosten können auch die schwer quantifizierbaren Sekundäreinflüsse, wie beispielsweise regionale Marktverhältnisse, konjunkturelle Preisverhältnisse oder spezielle Vergabepraktiken, die Investitionskosten maßgebend bestimmen.

Bei Neubauten kommunaler Kläranlagen sind Ausbaugröße und Anlagenkonzeption primäre Einflussfaktoren der Gesamtinvestitionskosten. Kostenkennwerte bezogen auf die Ausbaugröße, angegeben in [€/EW], bilden dann eine geeignete

Vergleichsbasis. Zusätzlich wurde eine Einteilung in Regionen vorgenommen. Der Streubereich wird dann vorwiegend von den sekundären Kosteneinflüssen verursacht. Die Kostenvergleiche sind von der Anzahl der Anlagen je Gruppe abhängig. Die Erstellung der Diagramme wird im Kapitel 7.3 erläutert.

7.1.5 ÖNORM B 1801 – Kosten im Hoch- und Tiefbau, Kostengliederung

Die ÖNORM B 1801 – 1 (1. Mai 1995) enthält Bestimmungen und Abgrenzungen bzw. die Gliederung von Kosten im Hoch- und Tiefbau. Die ÖNORM soll die standardisierte Basis für die Kostenermittlung, Kostenkontrolle und Kostensteuerung im Hoch- und Tiefbau sein. Die in dieser ÖNORM aufgezeigte planungsorientierte und ausführungorientierte Kostengliederung ermöglicht die erforderliche Durchgängigkeit der Kostendaten während der Objekterrichtung, von der Grundlagenermittlungsphase bis zur Inbetriebnahmephase. Diese ÖNORM legt Begriffe und Unterscheidungsmerkmale fest und bildet damit die Voraussetzungen für die Vergleichbarkeit der Ergebnisse von Kostenermittlungen.

7.1.5.1 Anwendungsbereich

Die ÖNORM B 1801 ist anzuwenden für die Ermittlung, Gliederung und Darstellung der Kosten von Baumaßnahmen des Hoch- und Tiefbaues in allen Phasen der Objekterrichtung, von der Grundlagenermittlung bis zur Inbetriebnahme.

Für die Anwendung im Tiefbau sind die in dieser ÖNORM angeführten Gliederungsarten dem jeweiligen Objekt angepasst entsprechend zu ergänzen.

7.1.5.2 Begriffsbestimmungen

Kosten sind Aufwendungen für Güter, Lieferungen, Leistungen und Aufgaben, die für Planung und Ausführung von Baumaßnahmen erforderlich sind.

Unter der Kostenermittlung versteht die ÖNORM B 1801 – 1 die Vorausberechnung der bestehenden Kosten bzw. die Feststellung der tatsächlich entstandenen Kosten.

7.1.5.3 Objektgliederung

Der Aufbau der Objektgliederung stützt sich auf die Nutzungsarten der Objekte. Die Objekte sind entsprechend ihrer Nutzung dem Überwiegungsprinzip gemäß zuzuordnen.

- 1 Wohnen
- 2 Büro
- 3 Produktion

- 4 Verkauf, Lager, Verteilen
- 5 Bildung, Kultur, Sport
- 6 Heilen, Pflegen
- 7 Sonder- und Schutzbauten
- 8 Ver- und Entsorgung
- 9 Verkehr

Die Objektwidmungscodes sehen eine zweistellige Nummerierung für Nutzungsarten vor. Kläranlagen fallen in die Objektgruppe 8, Ver- und Entsorgung und haben in Bezug auf die Objektnutzung den Objektcode 8.5 (Bauwerke und Anlagen für die Abwasserbeseitigung).

7.1.5.4 Kostenermittlung

Die Kostenermittlungen dienen als Grundlage für die Kostenkontrolle, Planungs-, Vergabe- und Ausführungsentscheidungen sowie als Nachweis der entstandenen Kosten. Die Phasen eines Objekt - Lebenszyklus gliedern sich in:

- Objektentwicklung
- Objekterrichtung
- Objektnutzung
- Objektbeseitigung

Die ÖNORM B 1801 gilt für die Kostenermittlung während der Objekterrichtung. Die Objekterrichtung unterteilt sich in folgende Phasen:

- Grundlagenermittlungsphase
- Vorentwurfsphase
- Entwurfsphase
- Ausführungsphase
- Inbetriebnahmephase

7.1.5.5 Kostengliederung

Der Aufbau der Kostengliederung stützt sich auf einzelne Kostenbereiche. Die Kostenbereiche werden zu übergeordneten Gruppen zusammengefasst. Über die Kostengliederung der ÖNORM B 1801 hinaus können die Kosten entsprechend den technischen Merkmalen oder den herstellungsmäßigen Gesichtspunkten oder nach der Lage des Bauwerks im Umfeld bzw. auf dem Grund weiter untergliedert werden. Die Kostenbereiche werden zu verschiedenen Gruppierungen (Bauwerkskosten, Baukosten, Errichtungskosten, Gesamtkosten) zusammengefasst. Die Untergliederung der Kostenbereiche kann planungsorientiert nach Elementen

(Grobelemente, Element, Elementtyp) oder ausführungsorientiert nach Leistungen (Leistungsgruppe, Unterleistungsgruppe, Leistungsposition) erfolgen.

Kostenbereich	Zusammenfassung von Kostenbereichen			
0 Grund				Gesamt- kosten
1 Aufschließung				
2 Bauwerk - Rohbau	Bauwerks- kosten	Bau- kosten	Errichtungs- kosten	
3 Bauwerk - Technik				
4 Bauwerk - Ausbau				
5 Einrichtung				
6 Außenanlagen				
7 Honorare				
8 Nebenkosten				
9 Reserven				

Abbildung 21: Zusammenfassung von Kostenbereichen für den Hoch- und Tiefbau

Nach ÖNORM B 1801 - 1 sind diese Elemente für den Hochbau vorgesehen. Bei Bedarf sind für den Tiefbau entsprechende Elemente innerhalb der Grobelemente zusätzlich zu bilden und gesondert zu kennzeichnen.

7.1.5.6 Kostengliederung von Kläranlagen

Wie bereits erwähnt, sind für Anwendungen im Tiefbau die Gliederungsarten dem jeweiligen Objekt angepasst entsprechend zu ergänzen. Da in dieser Arbeit nur die Kosten des Förderungsantrages untersucht werden, wird auch nur auf diese Kosten Bezug genommen. Die Grobelemente Grund, Nebenkosten und Reserven sind in den Gesamtinvestitionskosten nicht enthalten. Die Elemente, die in den Kostenbereich „Honorare“ fallen, wurden bei der Erstellung der Förderanträge in der Kostengruppe „Nebenkosten“ zusammengefasst. Die in Abbildung 21 dargestellten Kostenbereiche eins bis sechs und die dazugehörigen Grobelemente sind für die Anwendungen in der Kostengruppe „Betriebsgebäude“ geeignet. Für die Kostengruppen „Steuerung und Überwachung“, „Reinigung“, „Schlammbehandlung“ und „Schlamm Entsorgung“ sind die Gliederungsarten den jeweiligen Abwasserreinigungsanlagen anzupassen und zu ergänzen. Aufgrund der unterschiedlichen Anlagentypen und Ausführungsvarianten kann man keine einheitliche Gliederung vornehmen. Zusätzlich erfolgte die Aufteilung der Kosten auf die Kostengruppen bei jedem Förderungsantrag unterschiedlich.

7.2 Umfang und Darstellung der Daten

7.2.1 Allgemein

Nachdem die Daten untersucht und einer Plausibilitätsprüfung unterzogen wurden, wurden die Kosten von 187 Förderungsanträgen verglichen. Die Daten wurden im Kapitel 9 in Diagrammen mit Kostenfunktionskurven dargestellt. Die Funktionskurven werden in jener Diplomarbeit mittels statistischer Analyse beschrieben. Die Aufgabe war es, mittels Diagrammen Trends aufzuzeigen, die Entwicklung der letzten Jahre zu zeigen und drei ausgewählte Regionen zu vergleichen. Es wurden Diagramme für Gesamtinvestitionskosten und für alle fünf Kostengruppen gebildet. Grundsätzlich wurden Kosten für den Neubau von Kläranlagen und Kosten für Anpassungen an den Stand der Technik getrennt miteinander verglichen. Diese Einteilung musste vorgenommen werden, weil sich Kosten für Neubau und Anpassung an den Stand der Technik aufgrund der verschiedenen Rahmenbedingungen zu sehr unterscheiden. Auf die Gruppeneinteilung wurde in Kapitel 4 eingegangen. Ein Beispiel für eine sehr detaillierte Unterteilung ist das Diagramm in Abbildung 22 mit Anlagen von einer Ausbaugröße zwischen 50 und 500 EW in der Region drei und vom Anlagentyp A.

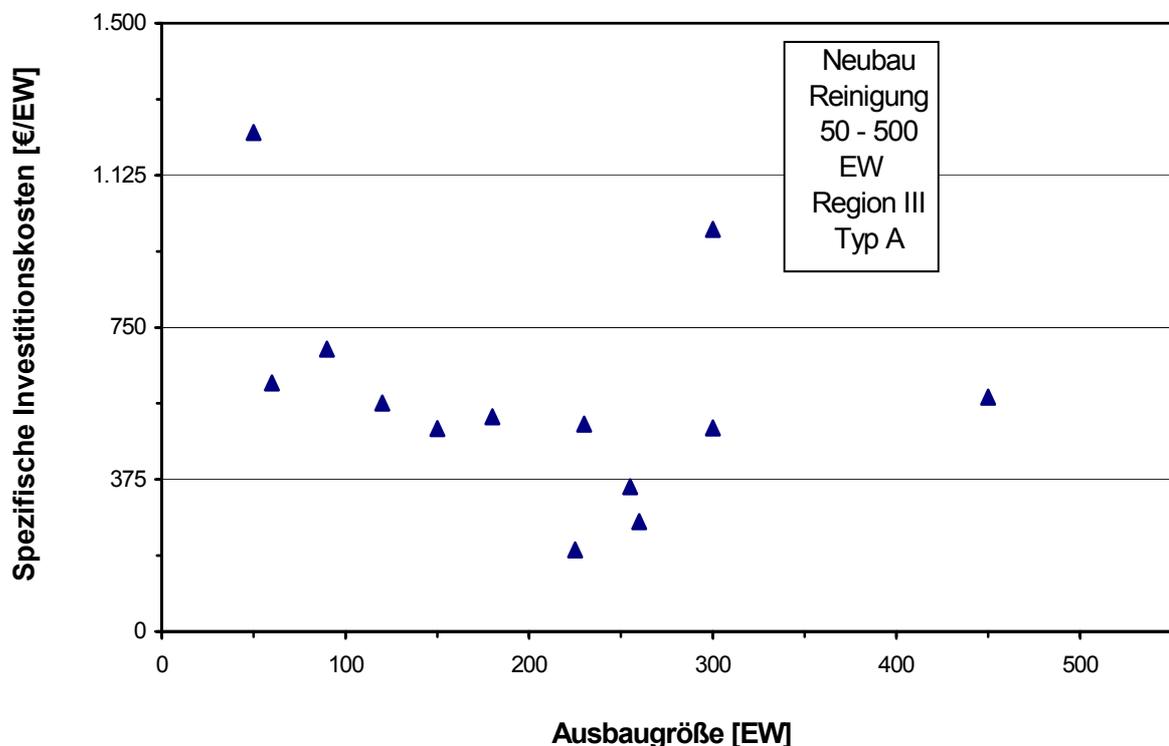


Abbildung 22: Diagramm – Spezifische Investitionskosten für Neubauten der Kostengruppe Reinigung, 50 – 500 EW, Region III und Anlagentyp A

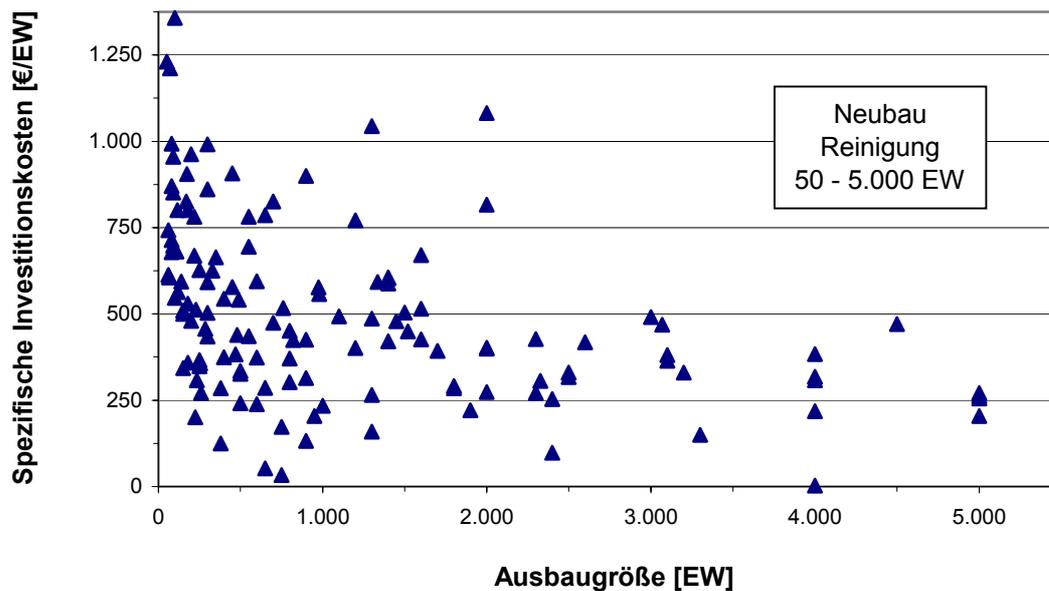


Abbildung 23: Darstellung der spezifischen Investitionskosten bei Neubauten der Kostengruppe Reinigung mit einer Ausbaugröße von 50 bis 5.000 EW

Zunächst wurden Diagramme erstellt, welche nur die Unterteilung in Anpassung und Neubau berücksichtigen (Abbildung 23).

Aus den Diagrammen, die alle Anlagen enthalten, kann man grobe Trends erkennen. Anlagen, deren Kosten sich stark abheben, wurden entweder herausgenommen und genauer untersucht oder vorgemerkt.

Auf der Ordinate werden die spezifischen Investitionskosten, wie in Kapitel 7.1.3. beschrieben, und auf der Abszisse die Ausbaugröße aufgetragen. Je nach Anzahl der Anlagen wurden die Nummern der Anlagen, die der Anonymisierung dienen, in den Diagrammen eingefügt. Die Anzahl der Anlagen in Abbildung 23 ist zu groß, um die einzelnen Nummern im Diagramm zu notieren, eine Zuordnung der Nummern wäre nicht mehr möglich. In Diagrammen mit weniger als 50 Anlagen wurden die Nummern abgebildet und es besteht so für den Auftraggeber die Möglichkeit, jeden Punkt im Diagramm einer Gemeinde zuzuteilen.

Um einen Trend erkennen zu können, wurde beim Erstellen der Diagramme eine Mindestzahl von sechs Anlagen festgelegt. Bei der detailliert vorgenommenen Einteilung nach Neubau, Ausbaugröße, Region und Anlagentyp verblieben in den meisten Fällen nur mehr wenige Anlagen. Aufgrund dieser feinen Gruppeneinteilung war es notwendig die Mindestzahl so gering anzusetzen. Mehr Aussagekraft haben Diagramme mit 30 oder mehr Anlagen. Das Diagramm in Abbildung 22 ist ein Beispiel für eine Darstellung mit detaillierter Gruppeneinteilung und enthält insgesamt 13 Anlagen.

Diagramme mit folgender Unterteilung wurden erstellt:

- 50 – 100.000 EW (keine weitere Unterteilung)
- 50 – 25.000 EW (keine weitere Unterteilung)
- 50 – 7.500 EW (keine weitere Unterteilung)
- 50 – 5.000 EW (keine weitere Unterteilung)
- 50 – 5.000 EW Region I
- 50 – 5.000 EW Region II
- 50 – 5.000 EW Region III
- 50 – 5.000 EW Anlagentyp A
- 50 – 5.000 EW Anlagentyp B
- 50 – 5.000 EW Anlagentyp C

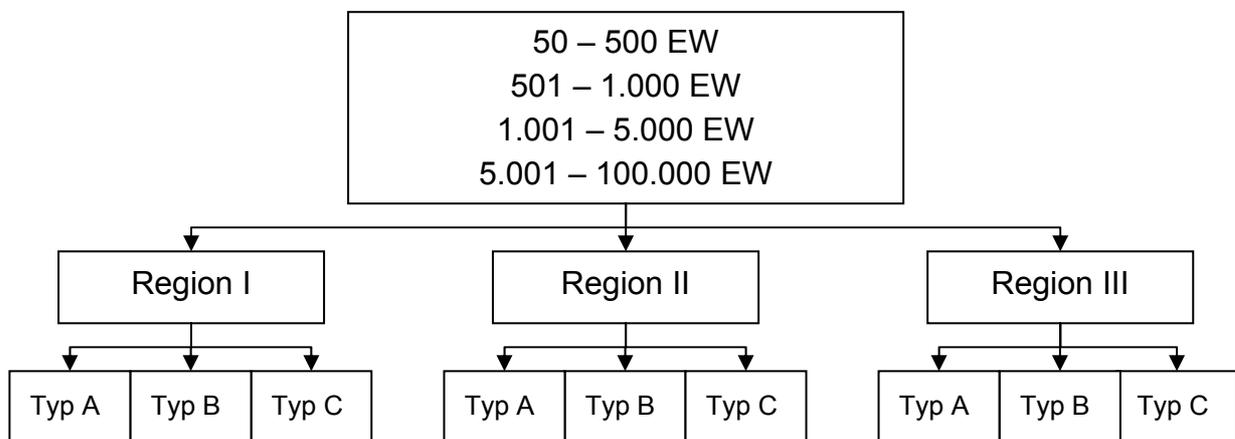


Abbildung 24: Gruppeneinteilung zur Erstellung der Diagramme

Die Auflistung der Diagramme im oberen Bereich der Abbildung 24 soll eine Übersicht der Diagramme geben, mit denen grobe Trends aufgezeigt werden und Regionen und Anlagentypen untereinander verglichen werden. Die Einteilung im unteren Bereich der Abbildung soll die detaillierte Unterteilung deutlich machen und den Vergleich von Anlagen gleichen Typs, gleicher Größe und Region möglich machen.

7.2.2 Anpassung an den Stand der Technik

Insgesamt wurden 34 Förderungsanträge für Anpassungen an den Stand der Technik mit deren Kosten untersucht. Die Antragsdaten der Abwasserreinigungsanlage Graz – Gössendorf waren in den Datenreihen enthalten, wurden aber nicht berücksichtigt, da die Daten mit 400.000 EW die Analyse verfälscht hätten und es wäre nicht möglich gewesen, diese Anlage zu

anonymisieren. Die folgende Tabelle soll eine Übersicht geben, für wie viele Abwasserreinigungsanlagen Anträge für die entsprechenden Regionen, Anlagentypen, Ausbaugrößen und Kostengruppen eingebracht wurden.

Gruppe:	Anzahl der Anlagen:	Gruppe:	Anzahl der Anlagen:
Region I	15 Stk.	Typ A	19 Stk.
Region II	8 Stk.	Typ B	2 Stk.
Region III	11 Stk.	Typ C	13 Stk.
Betriebsgeb.	21 Stk.	50 – 500 EW	1 Stk.
Steuerung/Überw.	26 Stk.	501 – 1.000 EW	4 Stk.
Reinigung	32 Stk.	1.001 – 5.000 EW	8 Stk.
Schlammbeh.	20 Stk.	5.001 – 100.000 EW	21 Stk.
Schlammments.	7 Stk.		

Tabelle 7: Anzahl der Abwasserreinigungsanlagen in Regionen, Anlagentypen, Ausbaugrößen und Kostengruppen unterteilt, für Anpassungen an den Stand der Technik

Auffallend in Tabelle 7 ist, dass fast ausschließlich Anlagen ab 1.000 EW angepasst wurden. Aufgrund der Abwasseremissionsverordnung 1990 mussten alle Anlagen mit Vorgaben an den Stand der Technik angepasst werden, da aber bis zu diesem Zeitpunkt beinahe nur Abwassereinigungsanlagen über 1.000 EW in Betrieb waren, betreffen Anpassungen daher fast nur Kläranlagen mit dieser Ausbaugröße.

Mit den aufbereitenden Daten wurden in Folge Diagramme mit spezifischen Gesamtinvestitionskosten und Investitionskosten der Kostengruppen gebildet.

Da bei jeder Anlage verschiedene Anlagenteile erneuert wurden, kann man bei Kosten für Anpassungen nicht von spezifischen Investitionskosten sprechen. Das Hauptaugenmerk lag daher nicht in der Kostenanalyse von Anpassungen, sondern von Neubauten. Eine genaue Analyse der Kostenvergleiche erfolgt im Kapitel 9, Statistische Analyse.

7.2.3 Neubau

Kosten von 151 Förderungsanträgen konnten für Kostenvergleiche und Kostenanalyse verwendet werden. Da es sich fast ausschließlich um Neuerrichtungen handelt, ist es möglich, von spezifischen Kosten zu sprechen und diese zu vergleichen. In wenigen Fällen wurden bei bestehenden Anlagen Anlagenteile neu gebaut und diese als Neubau mit einem Förderungsantrag eingereicht. In diesen Fällen ist der Begriff „Anpassung“ und „Neubau“ nur schwer zu

unterscheiden. Wenn bei bestehenden Anlagen ein Teil neu errichtet wird, sind meist die Voraussetzungen bereits vorhanden oder können alte Anlagenteile noch genutzt werden und es fallen nicht so hohe Kosten an wie bei einem reinen Neubau. Deshalb wurden für die Kostenanalyse die Jahre der Erstinbetriebnahme mit den Antragsjahren verglichen und bei der Unterscheidung in der Datenbank ein Vermerk gemacht.

Die Auswahl der Diagramme und die Unterteilung für Neubauten erfolgte nach demselben System wie für Anpassungen. Dies wird in Kapitel 7.2.1. erläutert.

7.2.3.1 Gesamtinvestitionskosten und Investitionskosten der Kostengruppen

Gruppe:	Anzahl der Anlagen:	Anzahl der Anlagen:
	Bis 5.000 EW	Bis 100.000 EW
Region I	47 Stk.	51 Stk.
Region II	56 Stk.	59 Stk.
Region III	35 Stk.	41 Stk.
Betriebsgeb.	88 Stk.	94 Stk.
Steuerung/Überw.	93 Stk.	99 Stk.
Reinigung	135 Stk.	145 Stk.
Schlammbeh.	46 Stk.	49 Stk.
Schlammments.	8 Stk.	10 Stk.

Gruppe:	Anzahl der Anlagen:	Anzahl der Anlagen:
	Bis 5.000 EW	Bis 100.000 EW
Typ A	93 Stk.	101 Stk.
Typ B	40 Stk.	41 Stk.
Typ C	0 Stk.	4 Stk.
50 – 500 EW	59 Stk.	
501 – 1.000 EW	26 Stk.	
1.001 – 5.000 EW	53 Stk.	
5.001 – 100.000 EW	13 Stk.	

Tabelle 8: Anzahl der Abwasserreinigungsanlagen für Neubauten, unterteilt in Regionen, Anlagentypen, Ausbaugrößen und Kostengruppen

Die Diagramme mit den Gesamtinvestitionskosten der Anlagen wurden, wie in Abbildung 24 dargestellt, für die weiterfolgende Kostenanalyse gebildet.

Wie bei der Darstellung der Gesamtinvestitionskosten wurden auch bei den Diagrammen der Kostengruppen zunächst grobe Diagramme mit allen Anlagen gebildet und danach eine Unterteilung in Regionen und Anlagentypen vorgenommen.

In diesen Diagrammen sind aufgrund der Übersichtlichkeit nur Anlagen bis zu einer Ausbaugröße von 5.000 EW enthalten.

Mit Hilfe der Statistik wurde eine passende Kostenfunktionskurve gesucht und in den Diagrammen dargestellt. Die Grundlagen der Statistik für die Kostenfunktionskurven werden in Kapitel 8 genauer erläutert. Weiters wurden mit einer Ursachenanalyse, im Kapitel 10, mögliche Gründe für erhöhte Investitionskosten aufgezeigt.

7.3 Aufteilung der Investitionskosten bei Neubauten

50 - 500 EW	501 - 1.000 EW	1.001 - 5.000 EW	5.001 - 80.000 EW
56 Anlagen 644 €/EW	26 Anlagen 547 €/EW	51 Anlagen 433 €/EW	13 Anlagen 126 €/EW

Gesamtkosten der Kläranlage:

Typ A	Typ B	Typ C						
€ 5.673.612	€ 2.457.043	€ 5.670.908	€ 5.196.965	€ 42.555.106	€ 11.722.652	€ 23.912.841	€ 1.154.045	€ 7.851.128
€ 8.130.655		€ 10.867.873		€ 54.277.758		€ 32.918.013		

Betriebsgebäude:

Typ A	Typ B	Typ C						
€ 465.417	€ 292.076	€ 465.417	€ 292.076	€ 597.502	€ 1.051.977	€ 1.363.236	€ 61.772	€ 436.037
8,2%	11,9%	8,2%	5,6%	1,4%	9,0%	5,7%	5,4%	5,6%
€ 757.494		€ 757.494		€ 1.649.478		€ 1.861.045		
9,3%		7,0%		3,0%		5,7%		

Steuerung und Überwachung:

Typ A	Typ B	Typ C						
€ 450.799	€ 199.930	€ 650.059	€ 600.699	€ 3.826.377	€ 2.757.001	€ 1.230.879	€ 181.682	€ 799.401
7,9%	8,1%	11,5%	11,6%	9,0%	23,5%	5,1%	15,7%	10,2%
€ 650.730		€ 1.250.758		€ 6.583.378		€ 2.211.962		
8,0%		11,5%		12,1%		6,7%		

Reinigung:

Typ A	Typ B	Typ C						
€ 4.667.005	€ 1.861.332	€ 4.117.010	€ 2.997.433	€ 32.577.197	€ 6.698.007	€ 18.127.002	€ 910.591	€ 4.389.439
82,3%	75,8%	72,6%	57,7%	76,6%	57,1%	75,8%	78,9%	55,9%
€ 6.528.337		€ 7.114.443		€ 39.275.204		€ 23.427.032		
80,3%		65,5%		72,4%		71,2%		

Schlammbehandlung:

Typ A	Typ B	Typ C						
€ 70.042	€ 96.437	€ 257.989	€ 456.015	€ 1.762.280	€ 940.440	€ 2.999.141	€ 0	€ 1.172.495
1,2%	3,9%	4,5%	8,8%	4,1%	8,0%	12,5%	0,0%	14,9%
€ 166.479		€ 714.003		€ 2.702.720		€ 4.171.636		
2,0%		6,6%		5,0%		12,7%		

Schlammentsorgung:

Typ A	Typ B	Typ C						
€ 20.348	€ 7.267	€ 48.349	€ 90.841	€ 0	€ 54.505	€ 192.583	€ 0	€ 1.053.756
0,4%	0,3%	0,9%	1,7%	0,0%	0,5%	0,8%	0,0%	13,4%
€ 27.616		€ 139.190		€ 54.505		€ 1.246.339		
0,3%		1,3%		0,1%		3,8%		

Tabelle 9: Übersicht der Kosten und deren Anteile an den Gesamtinvestitionskosten, aufgeteilt in Ausbaugröße, Kostengruppen und Anlagentypen (die Erläuterung folgt auf Seite 95)

1.1	1.2
2.1	2.2
3.1	3.2
4	
5	

Tabelle 10: Erläuterung zu Tabelle 9

1.1 und 1.2:	Bezeichnung des Anlagentyps
2.1 und 2.2:	Kosten aus allen Förderungsanträgen der jeweiligen Kostengruppe bzw. des Anlagentyps
3.1 und 3.2:	Prozentueller Anteil der jeweiligen Kostengruppe bzw. des Anlagentyps an den Gesamtinvestitionskosten
4:	Kosten aus allen Förderungsanträgen der jeweiligen Kostengruppe
5:	Prozentueller Anteil der jeweiligen Kostengruppe an den Gesamtinvestitionskosten

In Tabelle 9 sind ausschließlich Kosten von Förderungsanträgen für Neubauten im Zeitraum 1991 bis 2001 berücksichtigt, welche zum Kostenvergleich bzw. zur Kostenanalyse verwendet wurden. Für jede Gruppe sind Anzahl der Abwasserreinigungsanlagen und durchschnittliche Kosten in Euro pro Einwohnergleichwert eingetragen. Dafür wurden die Gesamtinvestitionskosten aller Anlagen jeder Gruppe summiert und durch die Summe der EW dividiert. Der aus Studien und Literatur bekannte Trend wird dadurch bestätigt. Mit steigender Ausbaugröße sinken die spezifischen Investitionskosten. Auffallend ist, dass die spezifischen Investitionskosten zwischen 5.001 und 80.000 EW sehr niedrig sind. Förderungsanträge für bestehende Anlagen, bei denen einzelne Anlagenteile neu gebaut wurden, welche auch als Neubau vermerkt sind, könnten dafür der Grund sein. In der Tabelle sind zunächst die Gesamtinvestitionskosten der jeweiligen Ausbaugröße für Anlagentyp A, B bzw. C angeführt, welche anonym sind und weiters ist die Summe daraus gegeben. Darunter sind die einzelnen Kostengruppen gegliedert aufgeführt.

Die Kostengruppe mit dem größten Kostenanteil, ist die Kostengruppe „Reinigung“. Die Kosten der Hauptbestandteile wie Belebungsbecken, Nachklärbecken oder Kompaktanlage mit allen maschinentechnischen Elementen werden in diese Gruppe eingerechnet. Im Vergleich weisen Anlagen des Typs B in der Kostengruppe „Reinigung“ verhältnismäßig geringe Kosten auf, im Bereich „Schlammbehandlung“ sind die Kosten im Unterschied zu Typ A höher.

Zur besseren Darstellung der Kostenanteile der fünf Kostengruppen an den Gesamtinvestitionskosten dient die Abbildung 25.

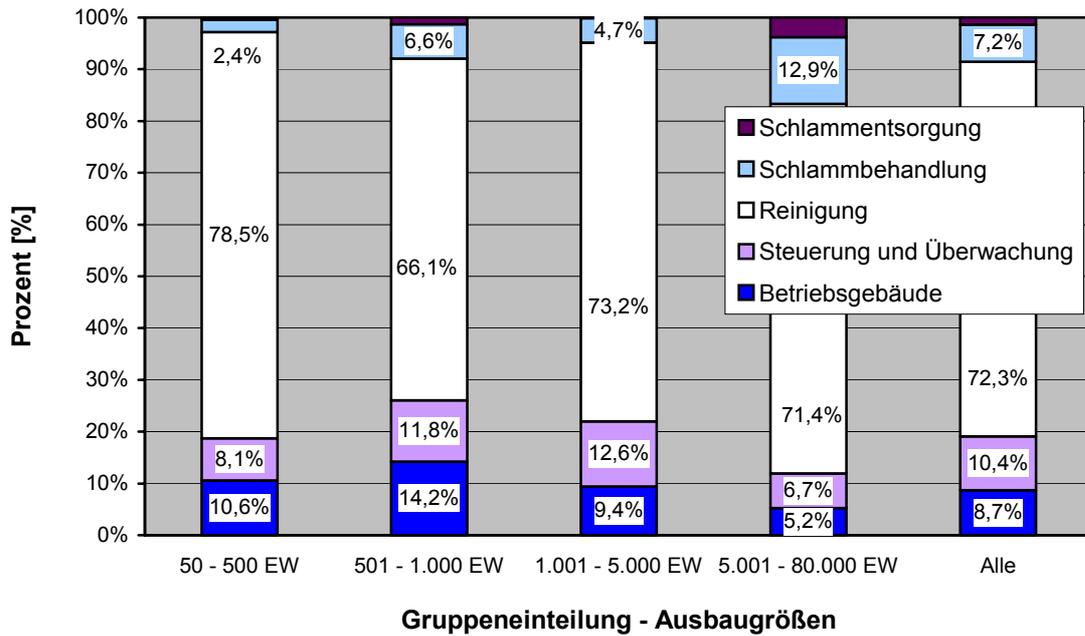


Abbildung 25: Prozentueller Anteil der Kostengruppen an den Gesamtinvestitionskosten, unterteilt in Ausbaugrößen

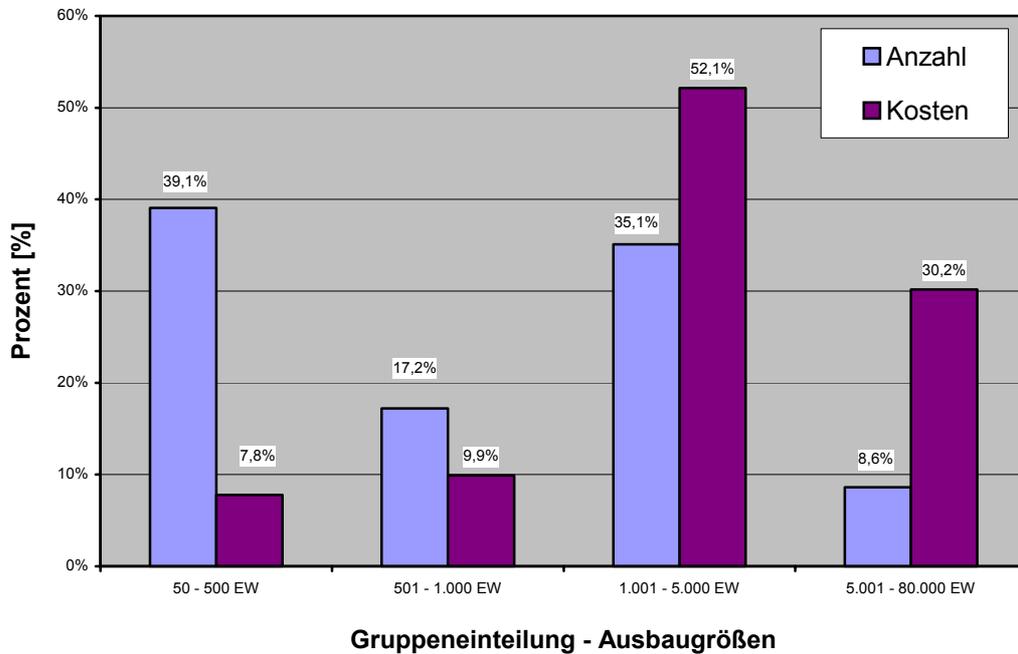


Abbildung 26: Anteil von Kläranlagen sowie Anteil der Kosten an Gesamtkosten in Prozent, eingeteilt in Ausbaugrößen

In Abbildung 26 fanden nur Kosten von Förderungsanträgen Berücksichtigung, die für die Kostenvergleiche verwendet wurden.

In jener Abbildung sind anteilmäßig die Anlagen jeder Ausbaugrößengruppe dargestellt und zur Veranschaulichung sind die prozentuellen Kostenanteile der einzelnen Gruppen an den Gesamtinvestitionskosten aller Anlagen aufgetragen. Die größte Anzahl an Anlagen stellt die Gruppe zwischen 50 und 500 EW dar, der Kostenanteil dieser Anlagen ist aber der geringste. Wenn man die Anzahl der Anlagen mit dem Kostenanteil vergleicht, fallen bei Anlagen über 5.000 EW verhältnismäßig die höchsten Kosten an. Aufgrund der großen Anzahl von Anlagen zwischen 1.000 und 5.000 EW wurden auch für diesen Bereich die höchsten Förderkosten angegeben.

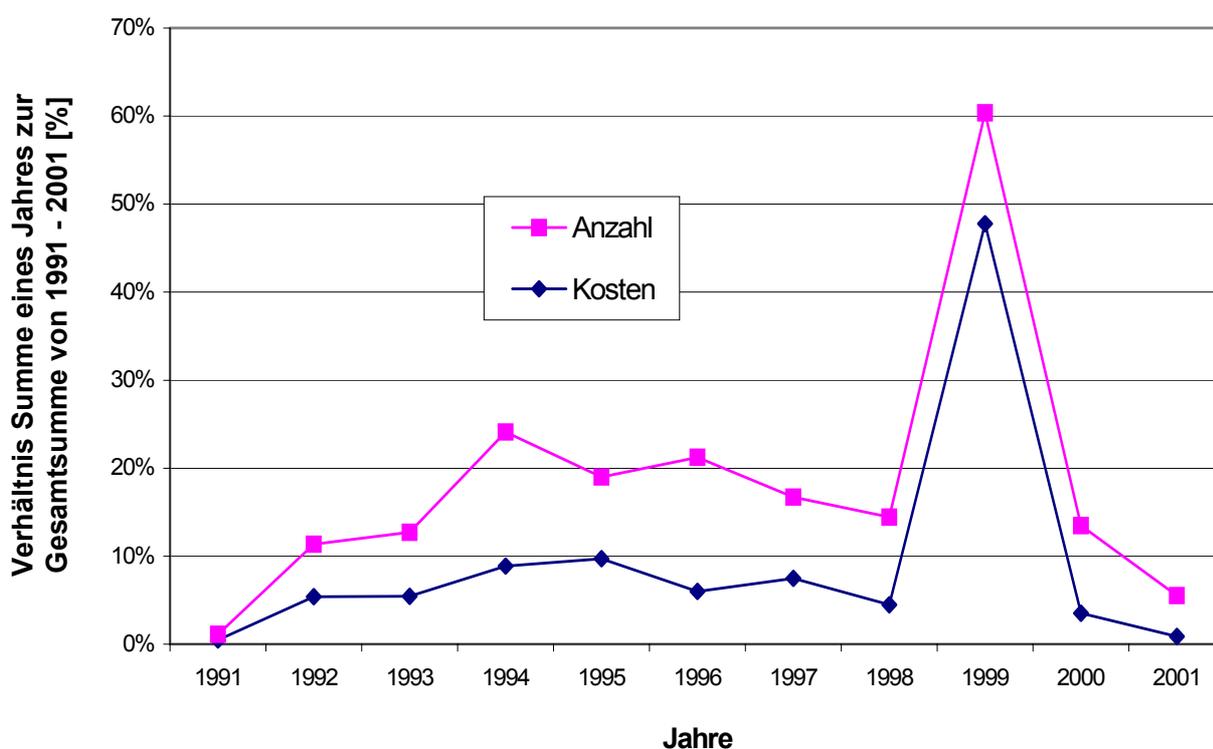


Abbildung 27: Anteil von Kläranlagen sowie Anteil der Kosten an den Gesamtkosten in Prozent der Jahre 1991 bis 2001

Abbildung 27 gibt eine Übersicht, wie viele Anlagen anteilmäßig in Prozent in den Jahren 1991 bis 2001 gefördert wurden. Zum Vergleich wurden die Gesamtkosten aller Anlagen eines Jahres im Verhältnis zu den Gesamtinvestitionskosten aller Anlagen von 1991 bis 2001 dargestellt.

Die Novelle zum Wasserrechtsgesetz 1959 und die Abwasseremissionsverordnung (Bundesgesetzblatt 1996/210) schreiben bei Anlagen bis 15.000 EW bis spätestens 1. Jänner 2001 die Entfernung von Phosphor vor. Da zwischen Antragsstellung und Inbetriebnahme zumindest ein bis zwei Jahre liegen, ist dies für die sehr hohen Förderungskosten im Jahre 1999 eine Erklärung.

8 EINFÜHRUNG IN DIE STATISTIK

8.1 Regressionsgerade - Prinzip der kleinsten Quadrate

8.1.1 Allgemein

(nach Kreysig, 1979)

Liegt eine Stichprobe von Beobachtungen

$$(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$$

aus einer zweidimensionalen (X, Y) – Grundgesamtheit vor, so werden diese n Zahlenpaare als Punkte in die xy – Ebene eingetragen. Stellt sich dabei heraus, dass diese Punkte nahezu auf einer Geraden liegen, so kann eine „Ausgleichsgerade“ oder Regressionsgerade von Y bezüglich X , die sich der Lage der Punkte möglichst gut anpasst, nach Augenmaß gezeichnet werden. Aus dieser Geraden ist ablesbar, welcher Wert Y zu einem vorgegebenen X – Wert etwa zu erwarten ist.

Abbildung 22 zeigt als typisches Beispiel die Höhe von Sojabohnenpflanzen in Abhängigkeit vom Alter. Das Zeitintervall (5 Wochen) ist relativ kurz. Dementsprechend passt sich das gezeichnete Geradenstück den Messwerten recht gut an. Würde man das Intervall nach rechts hin vergrößern, wäre eine geradlinige Annäherung nicht mehr zulässig, denn das Wachstum verlangsamt sich schließlich bis zum Stillstand.

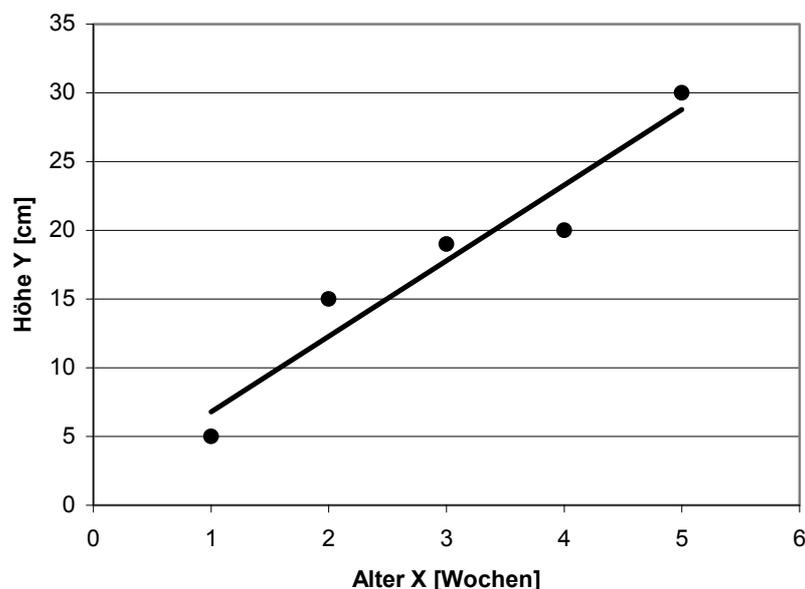


Abbildung 28: Regression der Höhe von Sojabohnenpflanzen bezüglich des Alters (Wentz & Stewart, 1924)

Die folgende Abbildung zeigt die Größe von Söhnen in Abhängigkeit von der Größe der Väter. Wie man sieht, besteht zwar die Tendenz, dass große Väter auch große Söhne haben, aber so, dass die Söhne kleiner als die Väter sind. Es besteht also ein Rückschritt (= Regress) zur Durchschnittsgröße der Menschen. Sinngemäß gilt dasselbe für kleine Söhne. Aus dieser Beobachtung, die zuerst von F. GALTON gemacht wurde, leiten sich die Worte Regression, Regressionsgerade, Regressionsrechnung her.

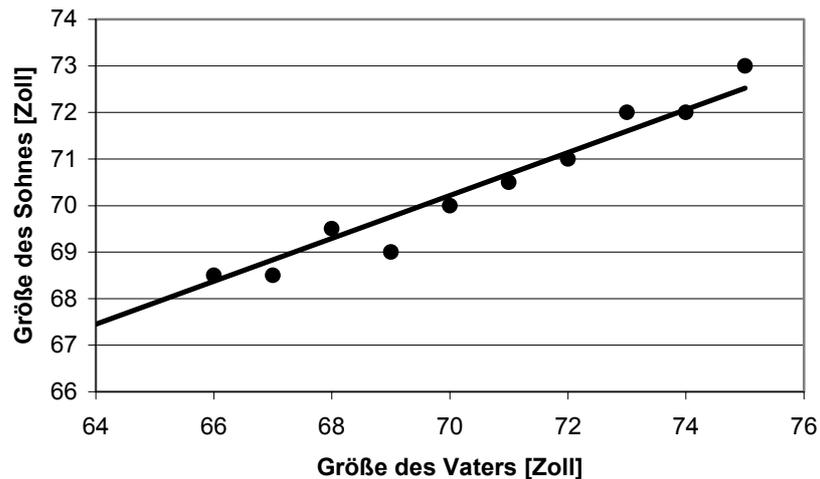


Abbildung 29: Regression der Größe des Sohnes bezüglich der Größe des Vaters (PEARSON & LEE, 1903)

In der vorherigen Abbildung liegen die Punkte nicht mehr genau auf einer Geraden. Da das Verfahren nach Augenmaß sehr starken subjektiven Einflüssen unterworfen ist, muss eine objektive Methode herangezogen werden. Eine solche ist das Gaußsche Prinzip der kleinsten Quadrate. Dieses Prinzip besagt, dass die Gerade so zu legen ist, dass die Summe der Quadrate aller Abstände der Punkte von der Geraden möglichst klein wird. Unter dem Abstand eines Punktes von der Geraden versteht man den vertikalen Abstand. X ist dabei die unabhängige, und Y die abhängige Variable. Die Differenz zwischen Messung und Schätzung wird als Residuum bezeichnet.

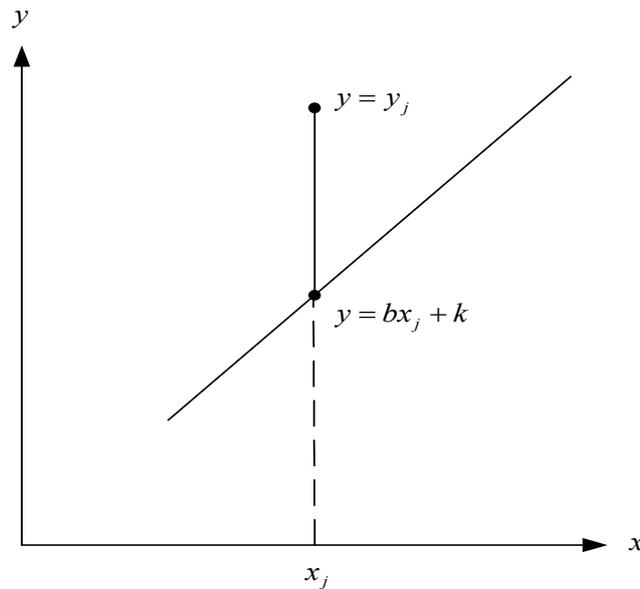


Abbildung 30: Berechnung des vertikalen Abstandes

8.1.2 Berechnung

(nach Kreysig, 1979)

Es wird vorausgesetzt, dass die x – Werte der Stichprobe nicht alle gleich sind. Ein Punkt (x_i, y_i) der Stichprobe hat von einer Geraden

$$y = bx + k \quad \text{Formel 8.1}$$

den vertikalen Abstand

$$| y_j - bx_j - k | \quad \text{Formel 8.2}$$

(vgl. Abbildung 30). Die Summe der Abstandsquadrate ist also

$$a = \sum_{j=1}^n (y_j - bx_j - k)^2. \quad \text{Formel 8.3}$$

Damit diese Funktion von b und k ein Minimum hat, muss

$$\frac{\partial a}{\partial b} = 0 \quad \text{und} \quad \frac{\partial a}{\partial k} = 0$$

sein.

Aus Formel 8.3 folgt durch Differentiation nun

$$\frac{\partial a}{\partial b} = -2 \sum_{j=1}^n x_j (y_j - bx_j - k)$$

$$\frac{\partial a}{\partial k} = -2 \sum_{j=1}^n (y_j - bx_j - k)$$

Diese Ausdrücke werden gleich null gesetzt. So ergibt sich

$$\sum_{j=1}^n x_j y_j - b \sum_{j=1}^n x_j^2 - k \sum_{j=1}^n x_j = 0$$

$$\sum_{j=1}^n y_j - b \sum_{j=1}^n x_j - nk = 0.$$

Berücksichtigt man $\bar{x} = \frac{1}{n}(x_1 + \dots + x_n)$ und $\bar{y} = \frac{1}{n}(y_1 + \dots + y_n)$ erhält man

$$b \sum_{j=1}^n x_j^2 + nk \bar{x} = \sum_{j=1}^n x_j y_j$$

$$b \bar{x} + k = \bar{y}.$$

Dieses System zweier linearer Gleichungen für die Unbekannten b und k hat, da nicht alle x -Werte gleich sind, die Lösung

$$b = \frac{\sum_{j=1}^n x_j y_j - n \bar{x} \bar{y}}{\sum_{j=1}^n x_j^2 - n \bar{x}^2}, \quad k = \bar{y} - b \bar{x}. \quad \text{Formel 8.4}$$

Aus Formel 8.10 und 8.11 ist ersichtlich, dass der Zähler von b gleich $(n-1)s_{xy}$ und der Nenner gleich $(n-1)s_1^2$ ist. Somit erhält man das Steigungsmaß b (Regressionskoeffizient)

$$b = \frac{s_{xy}}{s_1^2}. \quad \text{Formel 8.5}$$

Indem der Ausdruck für k in Formel 8.1 eingesetzt wird, wird

$$y = bx + \bar{y} - b\bar{x},$$

und dies ist gleichbedeutend mit

$$y - \bar{y} = b(x - \bar{x}) \quad \text{Formel 8.6}$$

Damit ist die Darstellung der Regressionsgerade aus dem Prinzip der kleinsten Quadrate hergeleitet. Nun wird Formel 8.4 für k in Formel 8.3 eingesetzt. So ergibt sich

$$a = \sum_{j=1}^n \left[\left(y_j - \bar{y} \right) - b \left(x_j - \bar{x} \right) \right]^2. \quad \text{Formel 8.7}$$

Da alle Glieder der Summe der Quadrate, also nichtnegativ sind, so ist a dann und nur dann gleich null, wenn jeder Summand null ist, wenn also für jedes $j = 1, 2, \dots, n$ die Beziehung

$$y_j - \bar{y} = b \left(x_j - \bar{x} \right)$$

gilt. Wegen Formel 8.6 bedeutet dies:

Die Summe der Abstandsquadrate (Formel 8.3) ist genau dann null, wenn alle Punkte der Stichprobe auf der Regressionsgeraden (Formel 8.6) liegen. Durch ausquadrieren von Formel 8.7 folgt

$$a = \sum_{j=1}^n \left(y_j - \bar{y} \right)^2 - 2b \sum_{j=1}^n \left(y_j - \bar{y} \right) \left(x_j - \bar{x} \right) + b^2 \sum_{j=1}^n \left(x_j - \bar{x} \right)^2.$$

Die Einführung der Varianz

$$s_2^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n \left(y_j - \bar{y} \right)^2 \quad \text{Formel 8.8}$$

der y -Werte der Stichprobe, ergibt sich aus den Formeln 8.10 und Formel 8.11

$$a = (n-1)[s_2^2 - 2bs_{xy} + b^2s_1^2].$$

Wegen Formel 8.5 kann man die beiden letzten Glieder zusammenfassen und erhält einfach

$$a = (n-1)(s_2^2 - b^2s_1^2). \quad \text{Formel 8.9}$$

Aufgrund von Formel 8.5 und des obigen Zwischenergebnisses folgt aus $a = 0$ demgemäß:

Alle Punkte der Stichprobe liegen genau dann auf der Regressionsgeraden, wenn

$$s_{xy}^2 = s_1^2 \cdot s_2^2$$

ist. Hierbei ist

$$s_1^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2 = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{j=1}^n x_j^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^n x_j \right)^2 \right] \quad \text{Formel 8.10}$$

die Varianz der x-Werte in der Stichprobe und

$$s_{xy} = \frac{1}{n-1} \left(\sum_{j=1}^n x_j y_j - n \bar{x} \bar{y} \right) = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})(y_j - \bar{y}). \quad \text{Formel 8.11}$$

s_{xy} heißt die Kovarianz der Stichprobe. Sie kann positiv, null oder negativ sein. Dasselbe gilt demnach auch für b . Ist b positiv, so spricht man von positiver bzw. negativer Regression.

Ist X die Zeit, so nennt man die Regression auch Trend. Dieser Begriff wird insbesondere in der Wirtschaftsstatistik gebraucht, weil man sich in diesem Gebiet häufig für zeitliche Entwicklungen (im Außenhandel, in der Produktion und im Verbrauch, bei den Löhnen, Preisen, Börsenkursen usw.) interessiert.

8.1.2.1 Beispiel zur Berechnung der Regressionsgeraden

Die unter 8.1.2. erläuterte Theorie soll nun anhand eines Beispiels angewandt werden. Untersucht werden die Gesamtinvestitionskosten von kommunalen Kläranlagen mit einer Ausbaugröße zwischen 50 bis 500 Einwohnergleichwerten eines bestimmten Anlagentyps. Dabei wurden folgende Beobachtungen gemacht:

Spezifischen Investitionskosten [€/EW] y_j	Ausbaugröße [EW] x_j
1.211,73	70
966,41	80
827,63	80
811,26	100
680,41	110
596,25	150
657,54	150
905,01	175
962,74	200
771,49	220
681,72	250
629,69	285
648,22	470

Tabelle 11. Spezifischen Investitionskosten in Abhängigkeit der Ausbaugröße

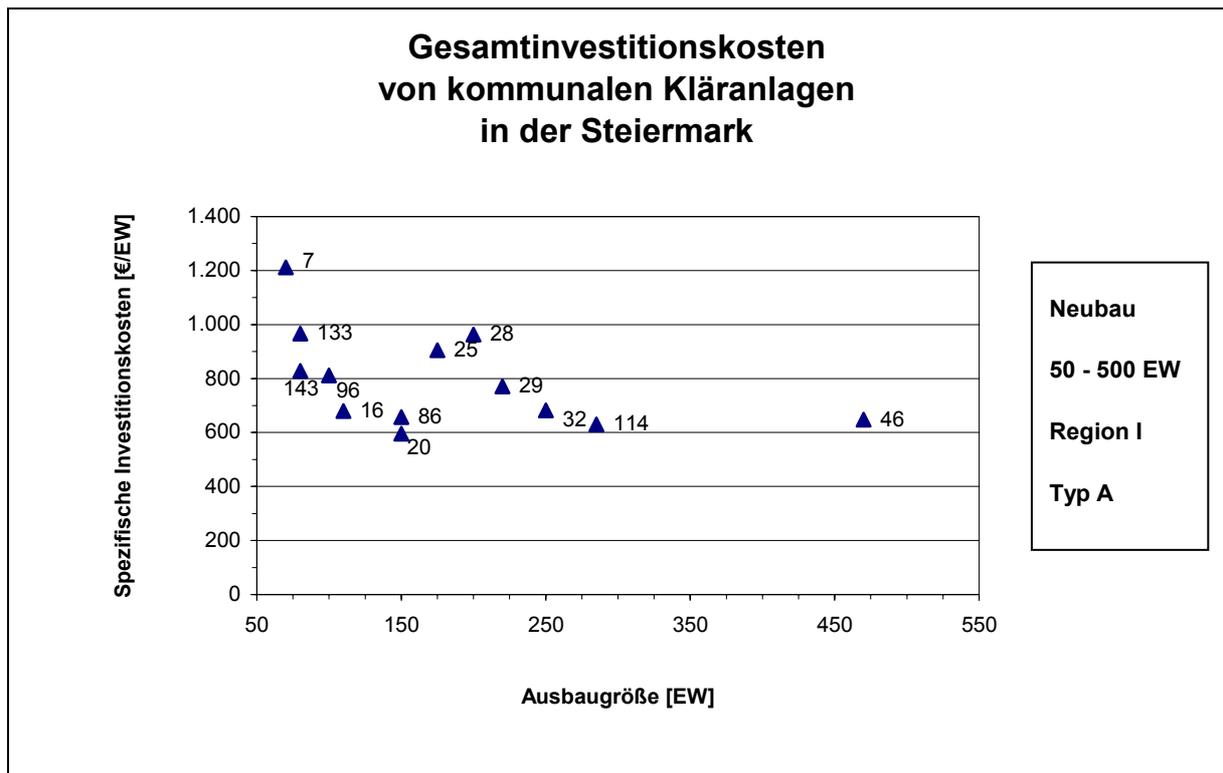


Abbildung 31: Darstellung der Gesamtinvestitionskosten von kommunalen Kläranlagen in der Steiermark. Neubau, 50-500 EW, Region I, Typ A

Es ist

$$\sum x_j = 2.340 \quad \text{und} \quad \sum y_j = 10.350,11.$$

Wegen $n = 13$ folgt hieraus

$$\bar{x} = \frac{2.340}{13} = 180 \quad \text{und} \quad \bar{y} = \frac{10.350,11}{13} = 796,16.$$

Weiters wird benötigt

$$\sum x_j^2 = 568.450, \quad \sum x_j y_j = 1.747.593,24, \quad \sum y_j^2 = 8.618.753,86.$$

Gemäß Formel 8.11 wird damit

$$s_{xy} = \frac{1}{12} \left(1.747.593,24 - \frac{2.340 \cdot 10.350,11}{13} \right) = -9.618,939.$$

Entsprechend aus Formel 8.10 erhält man den Wert

$$s_1^2 = \frac{1}{12} \left(568.450 - \frac{2.340^2}{13} \right) = 12.270,83.$$

So ergibt sich der negative Regressionskoeffizient

$$b = \frac{-9.618,939}{12.270,83} = -0,7839.$$

Die Regressionsgerade hat die Darstellung

$$y - 796,16 = -0,7839(x - 180).$$

Man kann die oben angeführte Formel auch in der üblichen Form schreiben:

$$y = -0,7839x + 937,26.$$

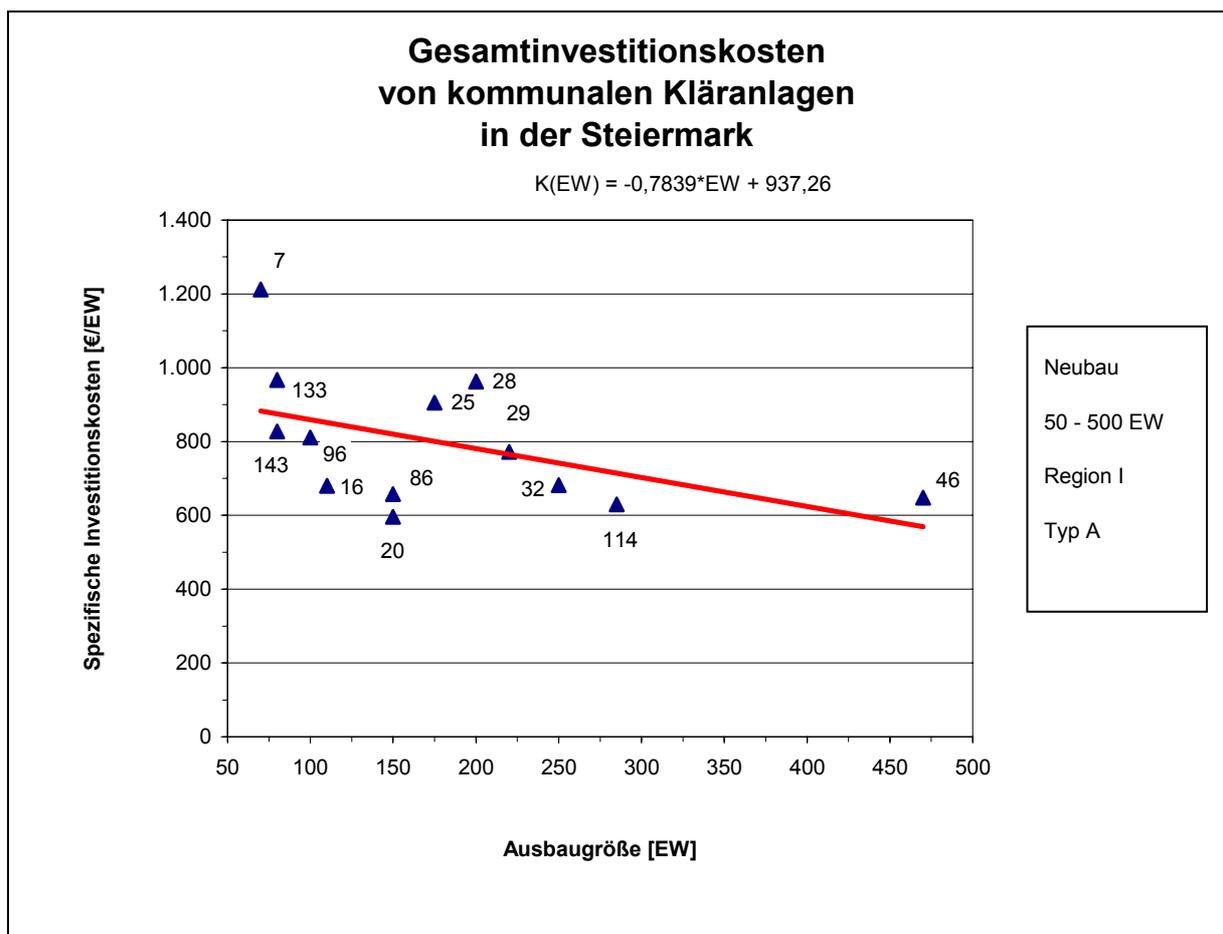


Abbildung 32: Darstellung der Gesamtinvestitionskosten von kommunalen Kläranlagen in der Steiermark mit linearer Kostenfunktion (Linearer Regression).
Neubau, 50-500 EW, Region I, Typ A

8.1.3 Bestimmung eines Konfidenzintervalles für den

8.1.4 Regressionskoeffizienten

(nach Kreysig, 1979)

Bei den bisherigen Überlegungen zur Regression war nichts über die Art der Verteilung der Variablen X und Y vorzusetzen. Um Konfidenzintervalle bestimmen oder Hypothesen testen zu können muss folgende Voraussetzung getroffen werden:

Für jedes feste $X = x$ ist Y normalverteilt mit dem Mittelwert

$$\mu(x) = \beta x + \chi$$

und der Varianz σ^2 . Letztere soll also nicht von x abhängen. Die folgende Tabelle zeigt, wie man ein Konfidenzintervall für den Regressionskoeffizienten β bestimmt.

1. Schritt.	Man wählt eine Konfidenzzahl \wp (95%, 99% oder dgl.).
2. Schritt.	Man bestimmt die Lösung c der Gleichung $F(c) = \frac{1}{2}(1 + \wp)$ aus der Tafel 8 der t - Verteilung mit $n - 2$ Freiheitsgraden (siehe Anhang).
3. Schritt.	Aus der Stichprobe $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ berechnet man s_1^2, s_2^2, b und a . Gemäß nach Formel 5.10, 5.8, 5.5 bzw. 5.9.
4. Schritt.	Man berechnet $l = c\sqrt{a} / s_1\sqrt{((n-1)(n-2))}.$ Das Konfidenzintervall ist $\text{KONF } \{b - l \leq \beta \leq b + l\}$

Tabelle 12. Bestimmung eines Konfidenzintervalles für den Regressionskoeffizienten β unter der obigen Voraussetzung

8.1.4.1 Beispiel zur Berechnung eines Konfidenzintervalles für den Regressionskoeffizienten

Für das Beispiel unter 8.1.2.1. wird ein Konfidenzintervall von 99% gewählt. Man bestimmt nun die Lösung c der Gleichung

$$F(c) = \frac{1}{2}(1 + \varphi) = \frac{1}{2}(1 + 0,99) = 0,995$$

Aus der Tafel 8 der t - Verteilung mit $13-2 (=11)$ Freiheitsgraden (siehe Anhang), erhält man $c = 3,11$. Anschließend werden s_1^2 , s_2^2 , b und a wie folgt bestimmt:

$$s_1^2 = \frac{1}{12} \left(568.450 - \frac{2.340^2}{13} \right) = 12.270,83$$

$$s_2^2 = \frac{1}{12} \left(8.618.753,86 - \frac{10.350,11^2}{13} \right) = 31.532,12$$

$$b = \frac{-9.618,939}{12.270,83} = -0,7839$$

$$a = (13-1) \cdot \left(31.532,12 - (-0,7839)^2 \cdot (12.270,83) \right) = 287.900,46 .$$

Weiterhin benötigt man

$$l = \frac{c\sqrt{a}}{s_1\sqrt{((n-1)(n-2))}} = \frac{3,11\sqrt{287900,46}}{110,77\sqrt{(12 \cdot 11)}} = 1,3112 .$$

Somit ist das Konfidenzintervall für den Regressionskoeffizienten mit

$$KONF \{ -2,0951 \leq \beta \leq 0,5273 \}$$

festgelegt.

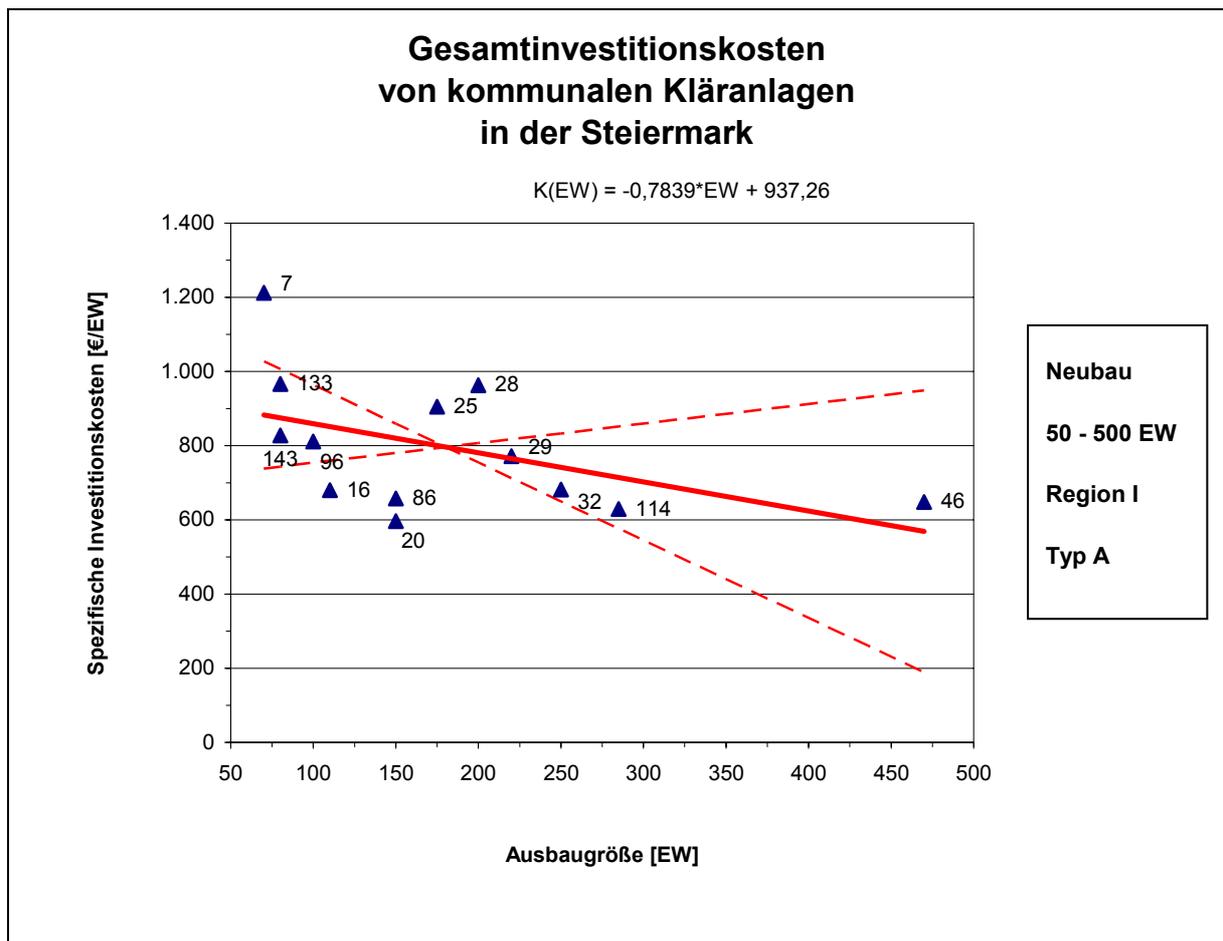


Abbildung 33: Darstellung des Konfidenzintervalles für den Regressionskoeffizienten

8.1.5 Bestimmung eines Konfidenzintervalles für den Mittelwert

(nach Kreysig, 1979)

Voraussetzung zur Bestimmung eines Konfidenzintervalles ist, dass für jedes feste $X = x$ ist Y normalverteilt mit dem Mittelwert

$$\mu = \beta x + \chi$$

Formel 8.12

und der Varianz σ^2 . Letztere soll also nicht von x abhängen.

1. Schritt. Man wählt eine Konfidenzzahl \wp (95%, 99% oder dgl.).

2. Schritt. Man bestimmt die Lösung c der Gleichung

$$F(c) = \frac{1}{2}(1 + \wp)$$

aus der Tafel 8 der t - Verteilung mit $n - 2$ Freiheitsgraden (siehe Anhang).

3. Schritt. Aus der Stichprobe $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ berechnet man s_1^2, s_2^2, b und a . Gemäß nach Formel 8.10, 8.8, 8.5 bzw. 8.9.

4. Schritt. Man berechnet y gemäß Formel 8.6 und

$$l = c \frac{h\sqrt{a}}{\sqrt{(n-2)}} \quad \text{mit} \quad h^2 = \frac{1}{n} + \frac{\left(x - \bar{x}\right)^2}{(n-1)s_1^2} .$$

Das Konfidenzintervall ist

$$\text{KONF} \{y - l \leq \beta \leq y + l\}$$

Tabelle 13. Bestimmung eines Konfidenzintervalles für den Mittelwert unter der obigen Voraussetzung

8.1.5.1 Beispiel zur Berechnung eines Konfidenzintervalles für den Mittelwert

Die ersten drei Schritte erfolgen gleich wie unter 8.1.3.1. Der Konfidenzintervall wird bestimmt durch

$$l = 3,11 \frac{h\sqrt{287.900,456}}{\sqrt{13-2}} = 503,14h \quad \text{und} \quad h = \sqrt{\left(\frac{1}{13} + \frac{(x-180)^2}{12 \cdot 12.270,83}\right)}.$$

[EW] x	h	$503,14h$	$937,26 - 0,784x$	Konfidenzintervall
70	0,40	201,26	882,39	681,70-1.083,07
80	0,38	191,19	874,55	683,07-1.066,03
80	0,38	191,19	874,55	683,07-1.066,03
100	0,35	176,10	858,87	684,30-1.033,44
110	0,33	166,04	851,03	684,01-1.018,06
150	0,29	145,91	819,68	674,69-964,66
150	0,29	145,91	819,68	674,69-964,66
175	0,28	140,88	800,08	660,38-939,78
200	0,28	140,88	780,48	638,49-922,47
220	0,30	150,94	764,80	615,73-913,88
250	0,33	166,04	741,29	574,26-908,31
285	0,39	196,22	713,85	517,82-909,88
470	0,81	407,54	568,83	163,79-973,87

Tabelle 14. Bestimmung des Konfidenzintervalles für den Mittelwert

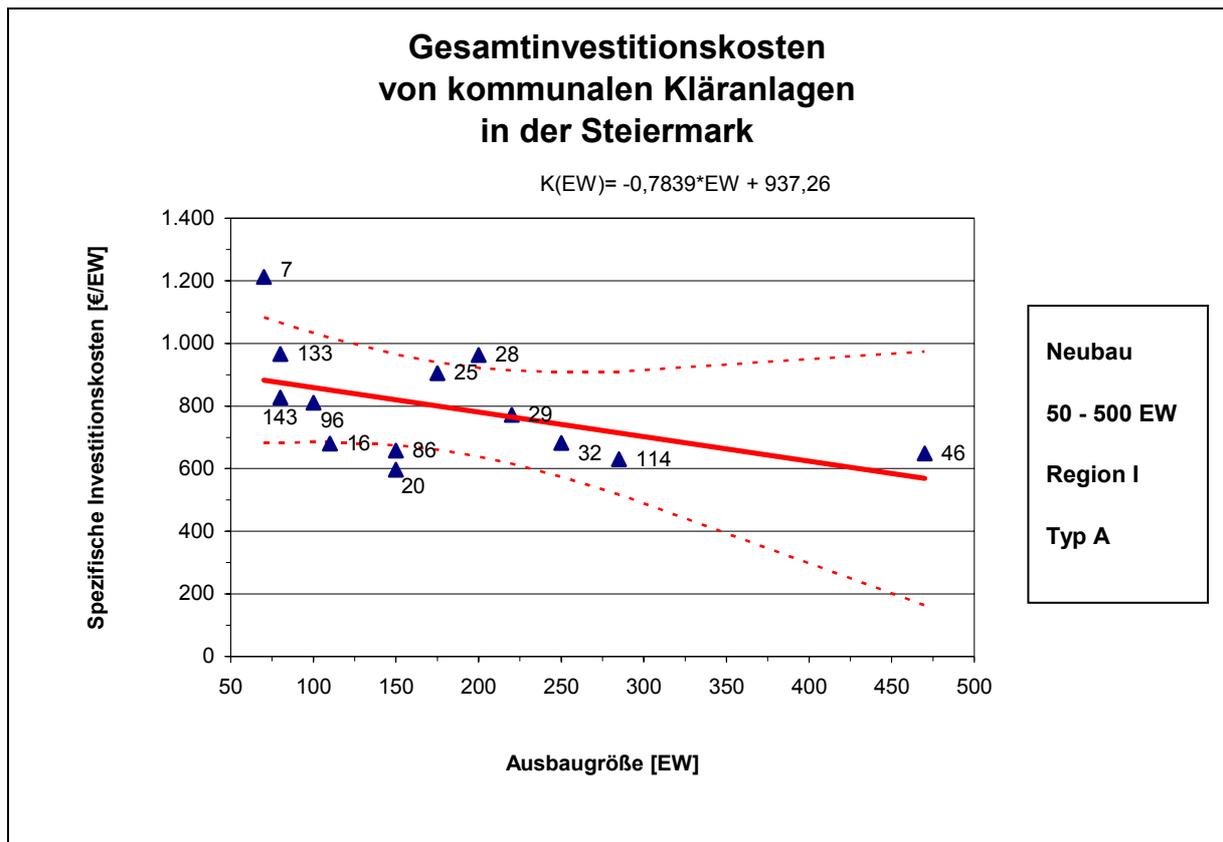


Abbildung 34: Darstellung des Konfidenzintervalles für den Mittelwert

Das Konfidenzintervall hat eine Länge von $2l$. Diese hängt nach der Wahl einer Konfidenzzahl und Vorgabe einer Stichprobe von x ab, da h von x abhängt. Sie wird für $x = \bar{x}$ am kleinsten. Je mehr man sich von $x = \bar{x}$ entfernt, desto größer wird die genannte Länge. Das wird verständlich, wenn man sich an das Konfidenzintervall für β (und Abbildung 33) erinnert.

8.1.6 Test beim Regressionskoeffizienten

(nach Kreysig, 1979)

Ein praktisch besonders häufiger und wichtiger Fall ist der Test der Hypothese $\beta = 0$. Trifft diese Hypothese zu, so bedeutet das, die Regressionsgerade der Grundgesamtheit verläuft waagrecht, und Y hängt gar nicht von X ab.

1. Schritt. Man wählt eine Signifikanzzahl α (5%, 1% oder dgl.)

2. Schritt. Man bestimmt die Zahl c aus

$$P(T \leq c) = 1 - \alpha$$

und der Tafel 8 der t -Verteilung mit $n-2$ Freiheitsgraden (siehe Anhang).

3. Schritt. Aus der Stichprobe $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ berechnet man s_1^2, s_2^2, b und a . Gemäß nach Formel 8.10, 8.8, 8.5 bzw. 8.9.

4. Schritt. Man berechne

$$t_0 = s_1 \sqrt{\frac{(n-1)(n-2)}{a}} \frac{b - \beta_0}{\sqrt{a}}.$$

Ist $t_0 \leq c$, so wird die Hypothese angenommen. Ist $t_0 > c$, so wird sie verworfen.

Tabelle 15. Test der Hypothese $\beta = \beta_0$ gegen die Alternative $\beta > \beta_0$ unter der in Abschnitt 8.1.3. gemachten Voraussetzung

8.1.6.1 Beispiel zum Test beim Regressionkoeffizienten

Man berechnet

$$t_0 = 110,77 \sqrt{\frac{(13-1)(13-2)}{287.900,46}} \frac{(-0,7839) - 0}{\sqrt{287.900,46}} = -1,86$$

Es ist $t_0 = -1,86 \leq c = 3,11$. Die Hypothese wird angenommen. Es tritt hier der Fall ein, dass die Hypothese $\beta = 0$ angenommen wird. In t_0 kommt a vor, und dies ist groß, da die Stichprobenwerte stark streuen. So wird t_0 klein. Aus dem numerischen Wert von b allein kann demnach noch kein Schluss gezogen werden.

Es wäre denkbar, dass eine andere Stichprobe von spezifischen Investitionskosten und Ausbaugröße das entgegengesetzte Ergebnis liefert, denn jeder Test ist mit einer Ungenauigkeit behaftet. Entsteht am Ergebnis ein Zweifel, sind weitere Stichproben zu erheben und mit deren Hilfe den Test zu wiederholen.

Anhand dieses Beispiels müsste der Umfang an Stichproben, da Y aus der Erfahrung sehr wohl von X abhängt, vergrößert werden. Da dies den Rahmen dieser Arbeit überschreiten würde, wird mit der vorhandenen Anzahl von Stichproben weitergerechnet.

8.1.7 Test der Linearität der Regression

(nach Kreysig, 1979)

Bisher ist die Annahme getroffen worden, dass die jeweilige betrachtete Regression linear ist. In vielen Fällen wird das zutreffen. In anderen Fällen wird man aber im Zweifel sein und möchte dann die genannte Annahme testen. Dies kann mit Hilfe der Methode der Varianzanalyse gemacht werden. Hierzu wird die Stichprobe $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ in jeweils alle diejenigen y -Werte gruppenweise zusammengefasst, für die das zugehörige x denselben Zahlenwert hat. Beispielsweise kann man im Fall der Stichprobe

(1,5) (2, 6) (1, 4) (4, 11) (1, 6) (2, 10) (2, 4)

drei Gruppen bilden und

(1, 4) (1, 5) (1, 6)	$x = 1$ $y = 4, 5, 6$
(2, 6) (2, 10)	$x = 2$ $y = 6, 10$
(4, 7) (4, 11)	$x = 4$ $y = 7, 11$

schreiben. Für jede Gruppe wird der Mittelwert berechnet. Ist die Regression linear, so müssen die Mittelwerte näherungsweise auf einer Geraden liegen, und zwar „verhältnismäßig genau“. Das heißt, ihre Abweichung von der Regressionsgeraden darf nicht zu groß sein im Verhältnis zur Abweichung der Werte einer Gruppe von ihrem jeweiligen Mittelwert. Es kommt darauf an, dass das Verhältnis

$$\frac{\text{Abweichung der Mittelwerte von der Regressionsgeraden}}{\text{Abweichung der } y\text{-Werte vom zugehörigen Mittelwert der Gruppe}}$$

nicht zu groß ist. Ist das Verhältnis nämlich groß, so muss der Zähler groß sein, verglichen mit dem Nenner. Das heißt, dann weichen die Gruppenmittelwerte stark von der Regressionsgeraden ab, obwohl die Werte innerhalb jeder Gruppe nur wenig vom Gruppenmittelwert abweichen, also wenig streuen, also nur geringe Zufallsabweichungen zeigen. In einem solchen Falle ist dann die Annahme oder Hypothese, dass lineare Regression vorliegt, zu verwerfen.

Um dies für die Berechnung in entsprechende Formeln kleiden zu können, müssen geeignete Bezeichnungen gewählt werden.

Dabei ist

- n der Stichprobenumfang
- r die Anzahl der Gruppen, also die Anzahl der zahlenmäßig verschiedenen x -Werte in der Stichprobe,
- $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_r$... die genannten x -Werte,
- n_i die Anzahl der y -Werte in der i -ten Gruppe, also die Anzahl der y -Werte in der Stichprobe, für die $x = x_i$ ist,
- $y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{ij}, \dots$ die y -Werte in der i -ten Gruppe, wobei also der erste Index die Gruppe bezeichnet und der zweite die Nummer des y -Wertes in der Gruppe,
- \bar{y}_i der Mittelwert der y -Werte in der i -ten Gruppe
- \bar{y} der Mittelwert aller y -Werte in der Stichprobe.

Es ist

$$n_1 + n_2 + \dots + n_r = n. \quad \text{Formel 8.13}$$

Weiterhin ist

$$\bar{y}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} y_{ij} = \frac{1}{n_i} (y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{in_i}) \quad \text{Formel 8.14}$$

und

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^{n_i} y_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r n_i \bar{y}_i. \quad \text{Formel 8.15}$$

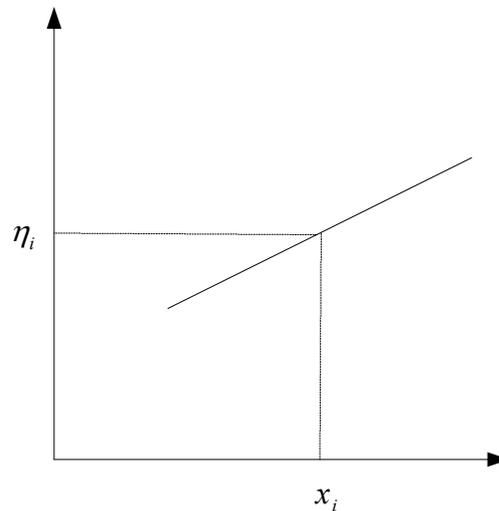


Abbildung 35: Abbildung zur Formel 8.16

Nun kommt die Zerlegung der Quadratsumme

$$q = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \eta_i)^2. \quad \text{Formel 8.16}$$

Hierbei ist (siehe Abbildung 35):

$$\eta_i = \bar{y} + b(x_i - \bar{x}). \quad \text{Formel 8.17}$$

Zerlegung von q in zwei Bestandteile q_1 und q_2 ,

$$q = q_1 + q_2 \quad \text{Formel 8.18}$$

Dabei rührt q_1 von der Streuung der Mittelwerte \bar{y}_i um die Regressionsgerade her und hat die Form

$$q_1 = \sum_{i=1}^r n_i \left(\bar{y}_i - \eta_i \right)^2. \quad \text{Formel 8.19}$$

Der zweite Bestandteil stammt von der Streuung innerhalb der Gruppen der Stichprobe und hat die Form

$$q_2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^{n_i} \left(y_{ij} - \bar{y}_i \right)^2. \quad \text{Formel 8.20}$$

Der Zerlegung entspricht der Tabelle 11. Das jetzige q enthält die Abweichungen von η_i und nicht die Abweichungen von \bar{y} . Dadurch scheiden wir die Variation infolge der Regression aus. Wir verlieren dabei jeweils einen Freiheitsgrad (Tabelle 16).

Variation	Freiheitsgrade	Quadratsumme	Durchschnittsquadrat
Mittelwert um die Regression	$r - 2$	q_1	$\frac{q_1}{(r-2)}$
Innerhalb der Gruppen	$n - r$	q_2	$\frac{q_2}{(n-r)}$
Insgesamt	$n - 2$	q	

Tabelle 16: Schema der Varianzanalyse zur Zerlegung

Die Zerlegung (Formel 8.18) kann man dazu benutzen, um zu testen, ob die Regression als linear angesehen werden darf. Tabelle 16 enthält die zugehörige Anweisung. Ist die Hypothese richtig, so ist (Formel 8.22) ein beobachteter Wert einer Zufallsvariablen V , die unter bestimmten Voraussetzungen eine F -Verteilung mit $(r - 2, n - r)$ Freiheitsgraden hat.

Die Berechnung erfolgt nun in folgenden Schritten:

1. Schritt. Aus der gegebenen Stichprobe berechnet man q und q_1 gemäß (Formel 8.21) bzw. (Formel 8.19), sodann $q_2 = q - q_1$ und

$$v_0 = \frac{q_1 / (r_2 - 2)}{q_2 / (n - r)}. \quad \text{Formel 8.22}$$

2. Schritt. Man wählt eine Signifikanzzahl α (5% oder 1%).
 3. Schritt. Man bestimmt die Lösung c der Gleichung

$$P(V \leq c) = 1 - \alpha$$

aus der Tafel 9b der F - Verteilung (siehe Anhang) mit $(r - 2, n - r)$

Freiheitsgraden. Ist $v_0 \leq c$, so wird die Hypothese angenommen. Ist $v_0 > c$, so wird diese verworfen.

Tabelle 17. Test der Hypothese, dass die Regression linear ist, unter der Voraussetzung, dass Y für jedes feste $X = x$ normalverteilt ist, wobei die Varianz nicht von X abhängt.

Wird die Hypothese angenommen, so bedeutet das nicht, dass eine Gerade die einzige mögliche oder die beste mit den Beobachtungen verträgliche Regressionslinie ist. Wird die Hypothese verworfen, so bedeutet dies, dass man die Regression nicht mehr als linear ansehen kann (abgesehen von der Irrtumsmöglichkeit, die bei jedem Test möglich ist).

8.1.7.1 Beispiel zum Test der Linearität der Regression

Es soll nun bewiesen werden, ob die Stichprobe als linear angesehen werden kann oder nicht. Man setzt

$$x_j = x_j^* + 70, \quad y_j = y_j^* + 596,25.$$

Ausbaugröße [EW]	Spezifische Investitionskosten [€/EW]		$x_j^* = x_j - 70$	$y_j^* = y_j - 596,25$	
70	1.211,73		0	615,48	
80	966,41	827,63	10	370,16	231,38
100	811,26		30	215,01	
110	680,41		40	84,16	
150	596,25	657,54	80	0	61,29
175	905,01		105	308,76	
200	962,74		130	366,49	
220	771,49		150	175,24	
250	681,72		180	85,47	
285	629,69		215	33,44	
470	648,22		400	51,97	

Tabelle 18. Test der Linearität der Regression

Durch einsetzen von $x_j^* = x_j - 70$ und $y_j^* = y_j - 596,25$ in die Gleichung $y = -0,7839x + 937,26$ erhält man

$$\eta_i^* = y^*(x_i^*) = -0,7839x_i^* + 286,137$$

Nun folgt die Berechnung von q_1 :

y_{ij}^*	n_i	\bar{y}_i^*	η_i^*	$\left(y_i^* - \bar{y}_i^*\right)^2$	$n_i \left(y_i^* - \bar{y}_i^*\right)^2$
615,48	1	615,48	286,14	108.468,30	108.468,30
370,16 231,38	2	300,77	278,30	505,14	1010,29
215,01	1	215,01	262,62	2.266,54	2.266,54
84,16	1	84,16	254,78	29.112,70	29.112,70
0 61,29	2	30,65	223,43	37.162,74	74.325,47
308,76	1	308,76	203,83	11.010,14	11.010,14
366,49	1	366,49	184,23	33.218,28	33.218,28
175,24	1	175,24	168,55	44,76	44,76
85,47	1	85,47	145,04	3.548,12	3.548,12
33,44	1	33,44	117,60	7.082,23	7.082,23
51,97	1	51,97	-27,42	6.303,25	6.303,25
				Summe	276.390,096

Aus der obigen Tabelle folgt

$$q_2 = q - q_1 = 287.900,46 - 276.390,10 = 11.510,36 .$$

Variation	Freiheitsgrade	Quadratsumme	Durchschnitts- quadrat
Mittelwerte um die Regression	9	276.390,096	30.710,01
Innerhalb der Gruppen	2	11.510,36	5.755,18
Insgesamt	11	287.900,46	

Tabelle 19. Schema der Varianzanalyse für das angewandte Beispiel

Aus Tabelle 19 wird \mathcal{J}_0 berechnet.

$$\mathcal{J}_0 = \frac{30.710,01}{5.755,18} = 5,34$$

Zur Bestimmung von c wird eine Signifikanzzahl von $\alpha = 1\%$ gewählt. Für (9, 2) Freiheitsgrade liefert die Tafel 9b (siehe Anhang) als Lösung der Gleichung

$$P(V \leq c) = 1 - 0,01 = 0,99$$

den Wert $c = 99,4$. Es ist $\mathcal{J}_0 \leq c$. Die Hypothese wird angenommen. Wie unter 8.1.6 erklärt heißt das nicht, dass eine Gerade die einzige mögliche oder die beste mit den Beobachtungen verträgliche Regressionslinie ist.

Zur Beurteilung der Linearität oder Nichtlinearität wurde in dieser Diplomarbeit auch der Begriff der Korrelation berücksichtigt. Je größer die Korrelation ist desto mehr Punkte liegen auf der Geraden bzw. Kurve. Ist das Bestimmtheitsmaß (Korrelation) bei einer Kurve höher als bei einer Geraden, so wird die nichtlineare Funktion beibehalten.

Das oben genannte Verfahren zur Prüfung der Linearität versagt, wenn zu keinem Wert der unabhängigen Variablen Wiederholungen vorliegen. Tritt dieser Fall ein, wird ein graphisches Verfahren angewandt, das weitere Aufschlüsse gibt. (Lindner & Berchtold, 1979)

8.2 Nichtlineare Regression 2. Art - Prinzip der kleinsten Quadrate

8.2.1 Allgemein

(nach Hellmann, L., 1976)

Nichtlineare Regression 2. Art sind sowohl in Bezug auf mindestens einen der unbekannt Parameter als auch in Bezug auf die Einflussgrößen nichtlinear. Für sie gibt es noch keine geschlossene Theorie, wie sie für die linearen Regressionsfunktionen vorhanden sind. Insbesondere existieren keine exakten Tests, Vertrauensbereiche und Toleranzbereiche. Die Bestimmung der unbekannt Parameter durch unmittelbare Anwendung der Methoden der kleinsten Quadratsumme ist im Allgemeinen sehr aufwendig. Durch das Nullsetzen der partiellen Ableitungen der Summe der Abweichungsquadrate nach den zu schätzenden Parametern erhält man nicht mehr ein lineares, sondern ein nichtlineares Gleichungssystem, das sich zumeist nur näherungsweise lösen lässt. Die hierfür aus der praktischen Analysis bekannten iterativen Näherungsverfahren erfordern aber teilweise - einen großen und häufig ökonomischen nicht zu vertretenden Rechenaufwand. Die Anzahl der erforderlichen Rechenschritte und somit die Berechnungsdauer sind sehr stark von der Anfangslösung und von der geforderten Genauigkeit des Ergebnisses abhängig.

8.2.2 Linearisierung durch Koordinatentransformation

(nach Hellmann, L., 1976)

Einer der am häufigsten angewandten Methoden zur Behandlung nichtlinearer Regressionsfunktionen 2. Art ist die Linearisierung der Funktion mittels Koordinatentransformation.

Ausgangspunkt für die Schätzung der Funktionsparameter sind N Beobachtungspaare x_i, y_i . Als Regressionsfunktion wird eine nichtlineare Funktion 2. Art

$$\eta = \eta_p(x)$$

ausgewählt, die dem Typ nach bekannt ist, jedoch p unbekannt Parameter enthält. Die Parameter sollen unter Verwendung der Methode der kleinsten Quadratsumme bestimmt werden. Dazu wird versucht, die Einflussgröße x und die Zielgröße η so in neue Variable $X_1, X_2, \dots, X_r, \eta'$ zu transformieren, dass die sich daraus ergebende transformierte Regressionsfunktion

$$\eta' = \eta'_p(X_1, X_2, \dots, X_r)$$

bezüglich der Parameter linear ist. Entsprechend werden die Beobachtungen und die empirische Regressionsfunktion transformiert. Anstatt $\eta_p(x)$ den ursprünglichen Beobachtungspunkten mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate anzupassen, wird den transformierten Beobachtungspunkten nach dem gleichen Prinzip die Funktion $\eta'_p(X_1, X_2, \dots, X_r)$ angeglichen. Damit entsteht ein lineares Regressionsproblem. Durch Rücktransformation der hierbei ermittelten Parameterschätzungen erhält man die Schätzungen für die ursprünglichen unbekannt Parameter. Die anderen Ergebnisse der linearen Regressionsrechnung - wie Vertrauens- und Toleranzbereiche - sind formal übertragbar, wobei allerdings systematische Fehler auftreten und nur näherungsweise Aussagen getroffen werden können.

Als Beispiel wird die Potenzfunktion

$$\eta = \alpha x^\beta \quad (\alpha > 0)$$

betrachtet. Durch Logarithmierung wird daraus

$$\lg \eta = \lg \alpha + \beta \lg x .$$

Mit

$$\eta' = \lg \eta$$

$$X = \lg x$$

$$\alpha' = \lg \alpha$$

$$\beta' = \beta$$

erhält man schließlich die lineare Funktion

$$\eta' = \alpha' + \beta' X .$$

Analog werden die Beobachtungswerte, die empirischen Regressionswerte und die empirischen Parameter transformiert:

$$y'_i = \lg y_i$$

$$X_i = \lg x_i$$

$$Y'_i = \lg Y_i$$

$$a' = \lg a$$

$$b' = b .$$

Anstelle der ursprünglichen Minimumbedingung

$$\sum_{i=1}^N (y_i - Y_i)^2 \rightarrow \text{Min.}$$

tritt die Bedingung

$$\sum (y_i' - Y_i')^2 = \sum (y_i' - a' - b' X_i)^2 \rightarrow \text{Min.},$$

bei der innerhalb des Klammerausdruckes die unbekannt transformierten Parameter nur linear auftreten. Damit wurde das Problem auf ein einfaches lineares Regressionsproblem mit den unbekannt Parametern a' und b' , mit der Zielgröße y' und mit der Einflussgröße X zurückgeführt. Eine Rücktransformation der Parameter a' und b' liefert Schätzungen für a und b , die aber mit einem systematischen Fehler behaftet sind, weil sie nicht auf der ursprünglichen Minimumbedingung basieren.

Bei Funktionen mit unbekanntem konstantem Glied ist eine Linearisierung mittels Transformation meist nicht durchführbar. In diesen Fällen legt man den Wert des konstanten Gliedes schon vor der eigentlichen Rechnung nach einer geeigneten Methode fest.

8.2.2.1 Beispiel zur Bestimmung einer Potenzfunktion

Für das Beispiel unter 8.1.2.1. soll nun eine Potenzfunktion der Form $Y = ax^b$ bestimmt werden.

x_i	y_i	$X_i = \lg x_i$	$y_i' = \lg y_i$
70	1.211,73	1,845098	3,083407
80	966,41	1,90309	2,985163
80	827,63	1,90309	2,917838
100	811,26	2,00000	2,909161
110	680,41	2,041393	2,832768
150	596,25	2,176091	2,775432
150	657,54	2,176091	2,817924
175	905,01	2,243038	2,956652
200	962,74	2,30103	2,983508
220	771,49	2,342423	2,887332
250	681,72	2,39794	2,833605
285	629,69	2,454845	2,799129
470	648,22	2,672098	2,811722

Tabelle 20. Spezifischen Investitionskosten in Abhängigkeit der Ausbaugröße; Beobachtungswerte, Koordinatentransformation.

1. Schritt	$s_1 = \sum X_i$ 28,45623	$s_0 = \sum y_i'$ 37,59364	$s_{11} = \sum X_i^2$ 63,01531	$s_{10} = \sum X_i y_i'$ 82,13571
2. Schritt	s_1^2 809,7568	$s_1 s_0$ 1069,773	s_1^2 / N 62,28899	$s_1 s_0 / N$ 82,29024
3. Schritt			$\bar{s}_{11} = s_{11} - s_1^2 / N$ 0,726322	$\bar{s}_{10} = s_{10} - s_1 s_0 / N$ -0,15453
4. Schritt	$\bar{X} = s_1 / N$ 2,188941	$\bar{y}' = s_0 / N$ 2,891819	$b' = \bar{s}_{10} / \bar{s}_{11}$ -0,21276	$a' = \bar{y}' - b' \bar{X}$ 3,357535

Tabelle 21. Spezifischen Investitionskosten in Abhängigkeit der Ausbaugröße; Nichtlineare Regression durch Linearisierung mittels Koordinatentransformation.

Nachdem $b = b'$ und $a = 10^{3,357535}$ ist, folgt für $b = -0,21276$ und $a = 2277,90$. Somit sind die Parameter der Potenzfunktion bestimmt. Diese hat nun die Form

$$y = 2277,9x^{-0,2128}$$

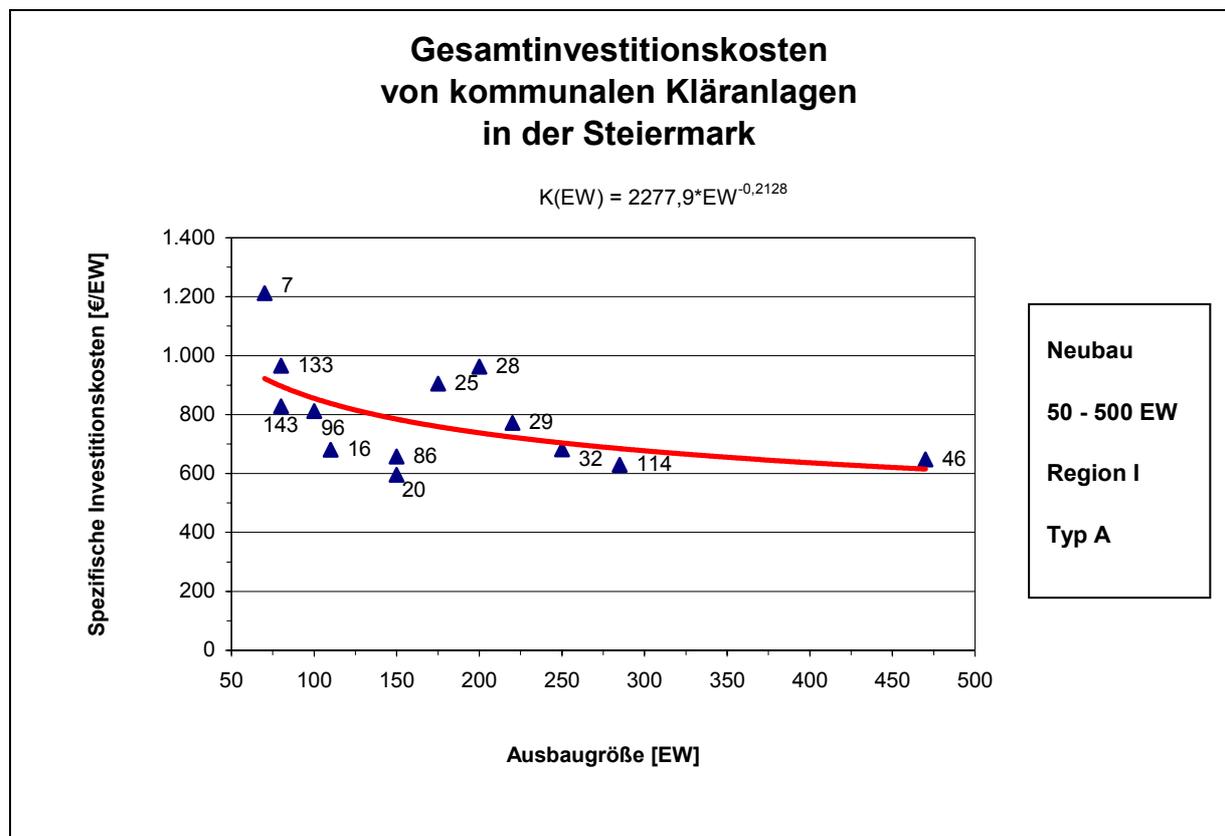


Abbildung 36: Darstellung der nichtlinearen Regression mittels Potenzfunktion

8.2.3 Bestimmung eines Konfidenzintervalles bei nichtlinearer Regression

Die Bestimmung des Konfidenzintervalles bei nichtlinearer Regression (Potenzfunktion) erfolgt wie unter Punkt 8.1.3. Der Unterschied liegt nur darin, dass bei nichtlinearer Regression die Potenzfunktion in eine lineare Funktion transformiert wird. Dies soll anhand eines Beispielles gezeigt werden.

8.2.3.1 Beispiel zur Bestimmung eines Konfidenzintervalles bei nichtlinearer Regression

Die Potenzfunktion hat die Form $y = 2277,9x^{-0,2128}$. Durch Logarithmierung wird daraus

$$\lg y = \lg 2277,9 - 0,2128 \lg x.$$

Mit

$$y' = \lg y$$

$$X = \lg x$$

$$a' = \lg 2277,9 = 3,357534655$$

$$b' = b = -0,2128$$

erhält man schließlich die lineare Funktion

$$y' = 3,357534655 - 0,2128X.$$

Nun erfolgt die Bestimmung des Konfidenzintervalles wie unter 8.1.4.

$$F(c) = \frac{1}{2}(1 + 0,99) = 0,995 \rightarrow c = 3,11$$

$$\bar{s}_1^2 = \frac{1}{(n-1)} \left[\sum_{j=1}^n X_j^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^n X_j \right)^2 \right] = \frac{1}{12} \left(63,0153095 - \frac{28,45623^2}{13} \right) = 0,060525626.$$

$$\bar{s}_2^2 = \frac{1}{(n-1)} \left[\sum_{j=1}^n y_j'^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^n y_j' \right)^2 \right] = \frac{1}{12} \left(108,813904 - \frac{37,59364^2}{13} \right) = 0,008326817.$$

$$\bar{a} = (n-1) \left(\bar{s}_2^2 - b^2 \bar{s}_1^2 \right) = 12 \left(0,008326817 - 0,21276^2 \cdot 0,060525626 \right) = 0,067044183.$$

$$\bar{l} = c \frac{h\sqrt{a}}{\sqrt{n-2}} = 3,11 \frac{\sqrt{0,067044183}}{\sqrt{11}} h = 0,2427977h .$$

x	X	h	$0,24 h$	$3,357535-0,21276 * X$	y_o' obere Grenze	y_u' untere Grenze	Y_o obere Grenze	Y_u untere Grenze
70,00	1,85	0,49	0,12	2,96	3,08	2,85	1.212,70	701,52
80,00	1,90	0,44	0,11	2,95	3,06	2,85	1.143,44	702,91
80,00	1,90	0,44	0,11	2,95	3,06	2,85	1.143,44	702,91
100,00	2,00	0,36	0,09	2,93	3,02	2,85	1.042,63	701,03
110,00	2,04	0,33	0,08	2,92	3,00	2,84	1.005,77	697,84
150,00	2,18	0,28	0,07	2,89	2,96	2,83	915,99	671,48
150,00	2,18	0,28	0,07	2,89	2,96	2,83	915,99	671,48
175,00	2,24	0,28	0,07	2,88	2,95	2,81	889,79	647,36
200,00	2,30	0,31	0,07	2,87	2,94	2,79	875,78	621,38
220,00	2,34	0,33	0,08	2,86	2,94	2,78	869,65	600,88
250,00	2,40	0,37	0,09	2,85	2,94	2,76	865,23	571,97
285,00	2,45	0,42	0,10	2,84	2,94	2,73	863,95	541,75
470,00	2,67	0,63	0,15	2,79	2,94	2,64	875,24	432,21

Tabelle 22. Bestimmung des Konfidenzintervalles einer Potenzfunktion

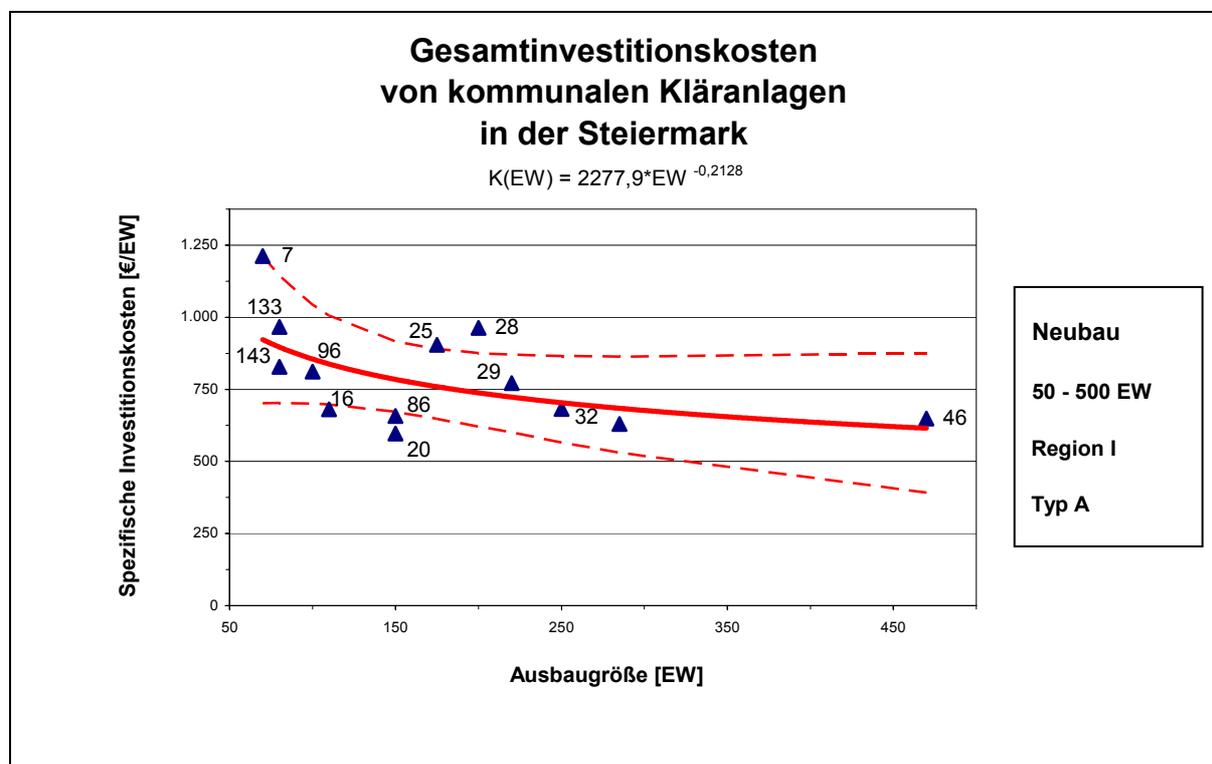


Abbildung 37: Darstellung des Konfidenzintervalles für die Potenzfunktion

9 STATISTISCHE ANALYSE

9.1 Vorbemerkung

Die Investitionskostenberechnung mit Hilfe von statistisch ermittelten Kostenfunktionen in Abhängigkeit der Ausbaugröße ist für eine zutreffende Budgetierung zu ungenau (nach Bohn, 1993). Die in diesem Kapitel dargestellten Kostenfunktionen wurden mit Hilfe der nichtlinearen Regressionsrechnung ermittelt, und zwar nach dem Verfahren der Linearisierung durch Koordinatentransformation (siehe Kapitel 8.2.2). Aufgrund der starken Streuungen der Kostenwerte der einzelnen Kläranlagen und der zugehörigen Kostenfunktion wurde ein Konfidenzbereich oder auch Vertrauensbereich eingeführt.

Die berechneten Werte einer Kostenfunktion werden in der Mathematik als Schätzungen bezeichnet. Das heißt, sie ist - je nach Stichprobenumfang – eine mehr oder weniger genaue Bestimmung des zu schätzenden Parameters. Um die Schätzung des Parameters beurteilen zu können, versucht man ein Intervall anzugeben, der den wahren, aber unbekanntem Wert, mit großer Sicherheit enthält.

Als Beispiel soll der Mittelwert genannt werden. Man sagt Mittelwert und interpretiert diese Kenngröße als den wahren, den wirklichen Wert. Weiß man, dass eine Sorte von Fernsehgeräten eine mittlere Lebensdauer von sieben Jahren hat, so heißt dies aber noch lange nicht, dass ein bestimmtes Gerät, das man kauft, wirklich sieben Jahre lang hält. Im Einzelfall ist der Mittelwert nicht identisch mit dem wahren Wert. Daraus darf man aber nicht schließen, dass die Statistik ungenaue oder falsche Angaben hervorbringt. Man muss sich aber vor der falschen Interpretation von Kenngrößen wie dem Mittelwert und allen anderen statistischen Kenngrößen hüten. (Hartung, 1999).

Was ein Mittelwert eigentlich ist, welche Aussagekraft er hat, kommt im folgenden Gedicht, von Krafft (1977), treffend zum Ausdruck.

Ein Mensch, der von Statistik hört,
denkt dabei nur an Mittelwert.
Er glaubt nicht dran und ist dagegen,
ein Beispiel soll es gleich belegen:
Ein Jäger auf der Entenjagd
Hat einen ersten Schuss gewagt.
Der Schuss, zu hastig aus dem Rohr,
lag eine gute Handbreit vor.
Der zweite Schuss mit lautem Krach
Lag eine gute Handbreit nach.

Der Jäger spricht ganz unbeschwert
Voll Glauben an den Mittelwert:
Statistisch ist die Ente tot.
Doch wär´ er klug und nähme Schrot
- dies sei gesagt, ihn zu bekehren –
er würde seine Chance mehren:
Der Schuss geht ab, die Ente stürzt,
weil Streuung ihr das Leben kürzt.
(Hartung, 1999)

Es soll darauf hingewiesen werden, dass die folgende statistische Auswertung bestimmten Fehlern unterliegt. Einerseits der Fehler der durch die Linearisierung durch Koordinatentransformation unterliegt und auf der anderen Seite der Fehler, der durch die Erhebung der Daten entsteht. Bei der Interpretation der dargestellten Diagramme wurde eine objektive Analyse angestrebt um den fachkundigen Leser die Möglichkeit zu geben, sich selbst ein Bild über die vorhandenen Ergebnisse zu machen. Die Statistik soll dabei eine Hilfestellung sein, um gewisse Vorgänge zu beschreiben und mögliche Fehler, dieser aufgestellten Kostenfunktionen, in Form eines Konfidenzintervalles zu minimieren. Es darf dabei nie vergessen werden, dass statistische Aussagen bestenfalls nur so verlässlich sind wie die Daten, auf die sie sich beziehen.

Für die Investitionskostenanalyse standen Kostendaten für 151 Kläranlagen (Neubau) und 36 Kläranlagen (Anpassung Stand der Technik), die in 5 Kostengruppen untergliedert wurden, zur Verfügung. In dieser Arbeit wurden nur Investitionskosten von Neubauten in Abhängigkeit von Einwohnergleichwerten untersucht. Das vorhandene Datenmaterial betreffend Anpassung an den Stand der Technik war nicht ausreichend, um eine vernünftige statistische Analyse durchführen zu können. Es scheint, dass der Einwohnergleichwert keine passende Bezugsgröße darstellt um Investitionskosten der Anpassung an den Stand der Technik, darstellen und vergleichen zu können. Die Problematik liegt darin, dass keine Information über das „Ausmaß“ der Anpassung vorliegt.

Nach erster Plausibilitätsüberprüfung wurden die einzelnen kommunalen Kläranlagen in Diagramme, wie unter dem vorderen Kapitel erklärt, dargestellt. Die Kostenfunktionen mit deren Konfidenzintervallen, wurden mit Hilfe der theoretischen Ansätze, die in Kapitel 8 erläutert wurden, berechnet. Dabei wurde ersichtlich, dass die Kostenfunktionskurven bei einem potenziellen Verlauf, die beste Korrelation mit den dargestellten Daten, besitzen. Der Konfidenzintervall wurde aufgrund der starken Streuungen und die damit verbundenen geringen Korrelationen eingeführt. Die

Ungenauigkeit der Kostenfunktion wird dadurch mit einer 99%igen Wahrscheinlichkeit abgedeckt.

Weiters sind durch die Darstellung der kommunalen Kläranlagen in Diagrammen Anlagen aufgefallen, die eine vom errechneten Mittelwert überdurchschnittliche Abweichung aufweisen. Unter überdurchschnittlicher Abweichung ist die, über der mittleren tatsächlichen Streuung aller Kläranlagen von der Kostenfunktion hinausgehende Abweichung, zu verstehen. Solche Kläranlagen wurden überprüft und nach Rücksprache mit dem betreuenden Assistenten und dem jeweiligen Referenten, entweder weiter analysiert, oder aufgrund von mangelnder Information aus der Datenreihe entfernt.

Im folgenden Kapitel wird eine Zusammenfassung der Endergebnisse der statistischen Auswertung dargestellt und interpretiert. Es soll noch einmal darauf hingewiesen werden, dass bei Anwendung von derartigen, relativ pauschalen Kostenfunktionen keine qualifizierte Kostenplanung durchgeführt werden kann. Die verschiedenen Kostenfunktionen, getrennt nach Region, Ausbaugröße und Anlagentyp, für die Gesamtinvestitionskosten kommunaler Kläranlagen stellen lediglich ein einfaches Hilfsmittel zur Verfügung, anhand dessen die Kostenermittlungen kontrolliert werden können.

9.2 Kostenanalyse der 3 Regionen

In Abbildung 38 sind die spezifischen Gesamtinvestitionskosten der untersuchten Projekte und der jeweiligen Regionen dargestellt. Das Diagramm enthält 138 Kläranlagen der Ausbaugröße 50 bis 5000 EW. Größere Anlagen werden nicht verglichen, da die vorhandene Datenmenge zu gering, und somit die Gefahr der Verfälschung der Ergebnisse zu groß ist. Auf die Region I entfallen dabei 47 Anlagen, Region II 56 Anlagen und auf die Region III 35 Anlagen. Die durchschnittliche Abweichung der Anlagen beträgt in Region I $\pm 27,09\%$, in Region II $\pm 27,20\%$ und in Region III $\pm 21,72\%$. Auf die Darstellung der durchschnittlichen Abweichung wurde aufgrund der Übersichtlichkeit verzichtet.

In Abbildung 33 sind Indexbereinigte Werte dargestellt. Drei Anlagen der Region I, 9, 162, 176 wurden aufgrund von nicht plausiblen Daten im Diagramm nicht berücksichtigt. Die genaue Begründung und Analyse ist unter Kapitel 10 zu finden.

Die angegebenen Kostenfunktionen wurden über Kostenanalysen ausgeführter Anlagen durch Regressionsrechnung ermittelt. Es ist dabei eine deutliche Gesetzmäßigkeit für die spezifischen Investitionskosten in Form einer abnehmenden Potenzfunktion zu erkennen. Der allgemeine Trend zeigt, dass Region I die höchsten Investitionskosten und Region III die geringsten hat. Diese pauschale Aussage soll aber im folgenden Absatz, bei genauerer Untersuchung der einzelnen Ausbaugrößen, näher betrachtet werden.

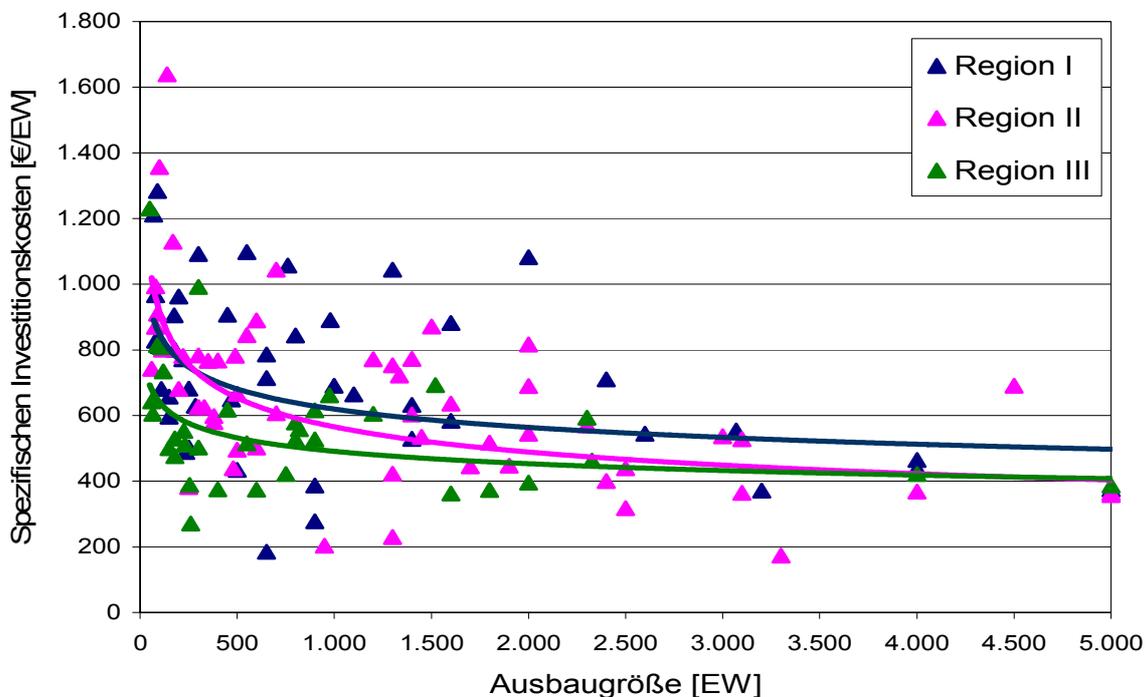


Abbildung 38: Gesamtinvestitionskosten kommunaler Kläranlagen in der Steiermark unterteilt in Region I, II, III.

9.2.1 Analyse der 3 Regionen - Ausbaugröße 50 bis 500 EW

Es ist ersichtlich, dass die spezifischen Investitionskosten in Region II, aufgrund der Anlage Nr. 90, etwas höher als in Region I sind, aber diese sich mit der Ausbaugröße immer mehr annähern. Entfernt man die Datenreihe von Nr. 90, stellt sich ein kongruenter Verlauf mit Region I ein. Region III differenziert deutlich und nimmt einen parallelen Lauf zur Kostenkurve der Region I an. Die durchschnittliche Abweichung der tatsächlichen Kostenwerte der Anlagen von den errechneten Werten der Kostenkurve beträgt für alle 3 Regionen zirka $\pm 22\%$. Es ist für die Beurteilung zu berücksichtigen, dass in den angegebenen Werten keine standortspezifischen Kosten enthalten sind. Die Differenz der Kostenkurven, der Region III und Region II, liegen bei 500 Einwohnergleichwerten im Bereich von 42,1 %. Dies entspricht etwa 176,17 €/EW. Die hervorgehobenen Anlagen werden gesondert in Kapitel 10 behandelt. Grund für die separate Untersuchung sind entweder unverhältnismäßig hohe Gesamtinvestitionskosten oder überhöhte Investitionskosten in einer der fünf Kostengruppen.

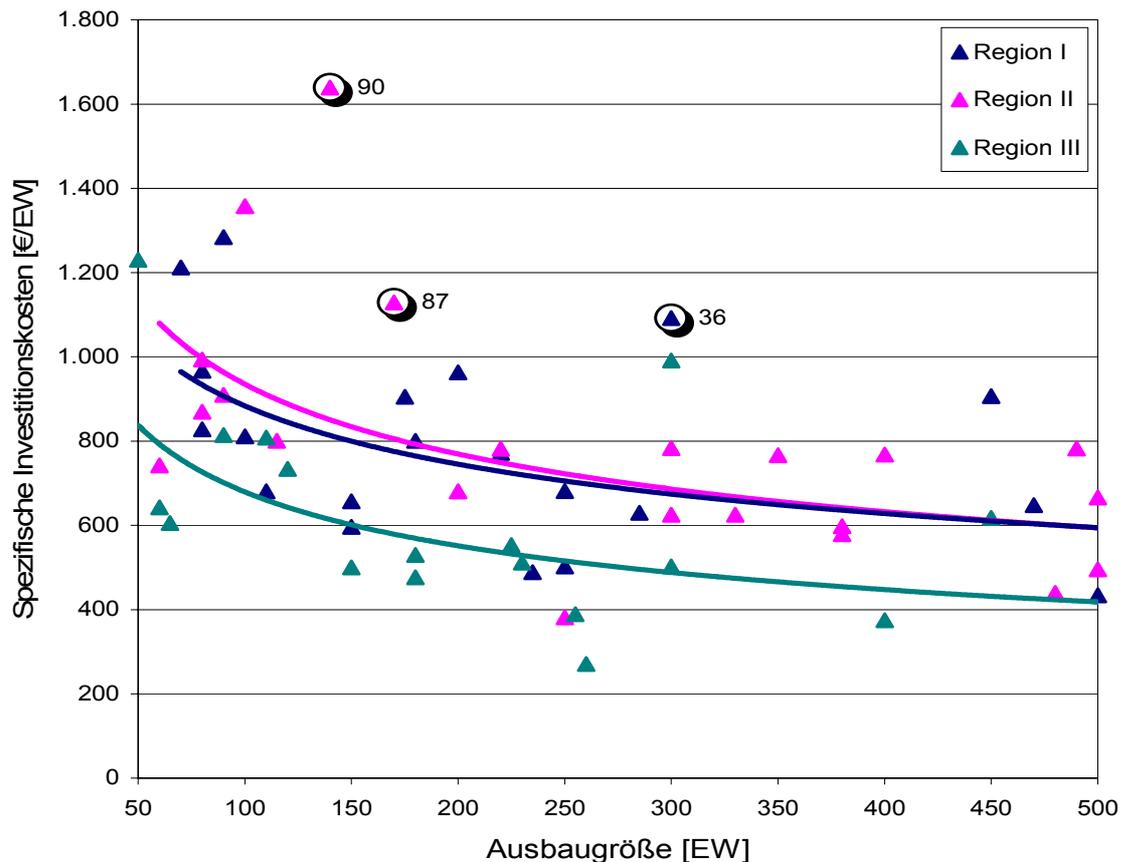


Abbildung 39: Gesamtinvestitionskosten kommunaler Kläranlagen in der Steiermark unterteilt in Region I, II, III. Ausbaugröße 50-500 EW.

Auf Anregung der Fachabteilung 19 A der Steiermärkischen Landesregierung wurde ein Kostenvergleich (Plankosten – Standardansätze des Landes) durchgeführt. In Abbildung 40 ist die Kostenkurve bei einer Ausbaugröße von 50 bis 500 EW, der Plankosten aller 3 Regionen mit zugehörigen Konfidenzintervall, dargestellt. Bei genauerer Betrachtung des Vertrauensbereiches ist zu erkennen, dass bei zunehmender Abweichung vom Mittelwert, der Fehler, der durch nichtlineare Regressionsrechnung ermittelten Kostenfunktion, immer größer wird und als Folge daraus sich das Konfidenzintervall immer mehr aufweitet (siehe Begründung in Kapitel 8). Die Bandbreite des Intervalls ist von der Streuung der Daten abhängig. Je größer die Streuung, desto schwieriger ist es eine genaue Prognose für den zu erwartenden Wert, zu geben. In der unten angeführten Abbildung bewegt sich der Intervall bei 50 EW bei zirka $\pm 25\%$, beim Mittelwert 232 EW $\pm 12\%$ und bei 500 EW $\pm 22\%$, von der errechneten Kostenkurve.

Die von der Steiermärkischen Landesregierung ermittelten Kostenansätze, in dieser Arbeit als Standardansätze bezeichnet, werden von öffentlich ausgeschriebenen und bereits errichteten Anlagen in Abhängigkeit von einem definierten Leistungsumfang abgeleitet. In den Kostenansätzen sind Nebenkosten (Projektierung, Bauaufsicht, Entschädigungen usw.) enthalten, die nach Rücksprache mit dem Auftraggeber in dieser Arbeit nicht berücksichtigt, aber aus Gründen der Vergleichbarkeit, im unten dargestellten Diagramm in den tatsächlichen Kostenwerten, eingerechnet wurden.

Die Differenz der spezifischen Investitionskosten, zwischen der Kostenkurve $K_{(EW)} = 2.790,1EW^{-0,224}$, die aus den Förderanträgen der einzelnen Gemeinden ermittelt wurde, und dem Kostenansatz $K_{(EW)} = 5.736,43EW^{-0,751} + 550,86$ der Steiermärkischen Landesregierung, scheint mit zunehmender Ausbaugröße immer geringer zu werden. Beträgt die Differenz bei 50 EW noch zirka +36% (306,83 €/EW) so ist sie bei 500 EW nur noch bei zirka +15% (88,73 €/EW). Mögliche Ursachen für die allgemein höheren Plankosten kann man vom allgemeinen Trend, dass die Antragskosten in der Regel höher angesetzt werden als die tatsächlich benötigten Investitionskosten, ableiten.

Eine Analyse, der Region I, II und III für die Ausbaugröße 501 bis 1000 EW, war aufgrund von zu starken Streuungen nicht möglich. Auf die Darstellung der Kostenwerte der kommunalen Kläranlagen für diese Ausbaugröße wurde hier verzichtet. Sie sind dem Anhang zu entnehmen.

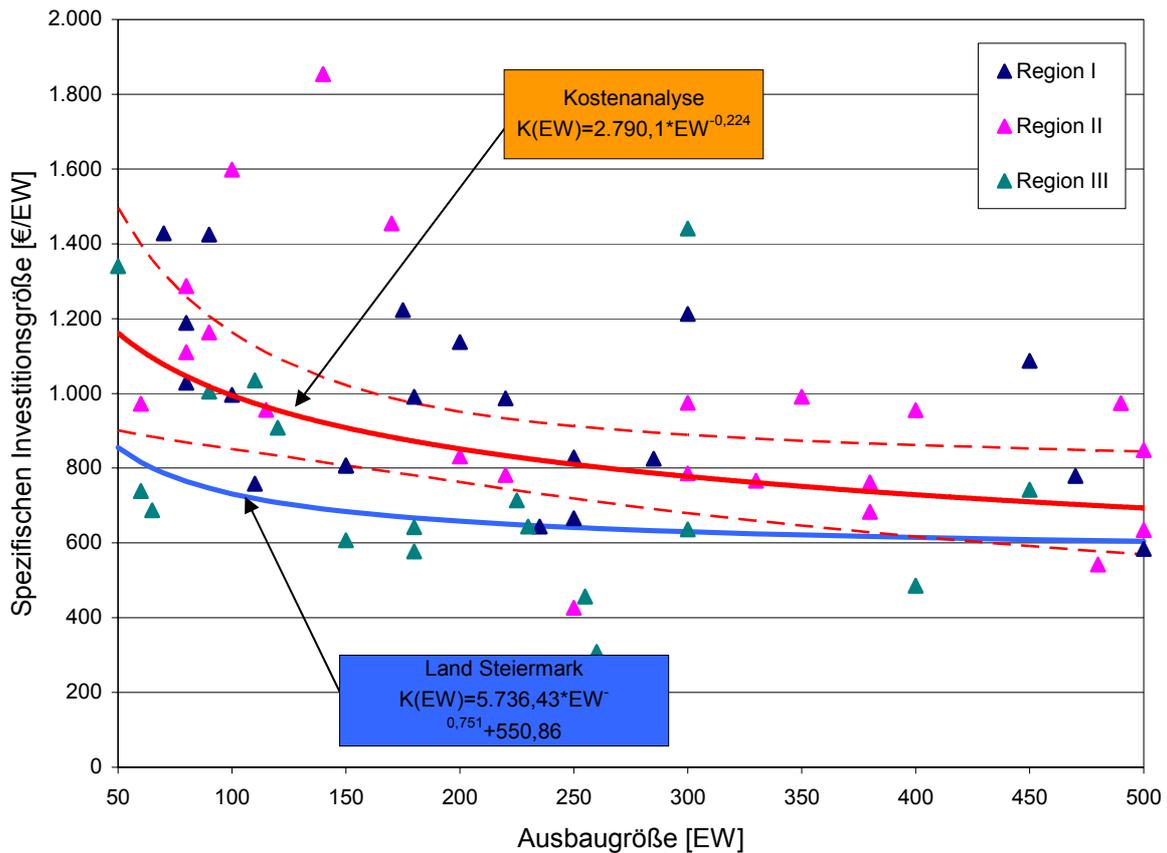


Abbildung 40: Kostenfunktion der 3 Regionen für eine Ausbaugröße von 50-500 EW im Vergleich

9.2.2 Analyse der 3 Regionen - Ausbaugröße 501 bis 1.000 EW

Eine separate Darstellung der drei Regionen ist, aufgrund, dass in Region I 10, in Region II sechs und in Region III 9 Anlagen zur Untersuchung zur Verfügung stehen und diese einer sehr starken Streuung unterliegen, nicht möglich. Es wurden die drei Regionen zusammengefasst und eine gemeinsame Regressionskurve, die aus Gründen der Vergleichbarkeit die Nebenkosten beinhaltet, entwickelt. In Abbildung 41 ist die in dieser Arbeit entwickelte Kostenfunktionskurve mit Vertrauensbereich und der Standardansatz der Steiermärkischen Landesregierung, zu sehen. Auch hier bestätigt sich wieder, dass bei geringerer Ausbaugröße die Abweichungen größer sind. Weiters fällt der relativ linear abnehmende Verlauf beider Funktionskurven auf. Die relativ große Bandbreite des Konfidenzintervalles zeigt wieder die Schwierigkeit, bei stark streuenden Investitionskosten, eine Prognose für den Mittelwert anzugeben. In der folgenden Tabelle werden errechnete Kosten und deren Abweichungen von den Standardansätzen dargestellt.

Ausbaugröße [EW]	Standardansatz [€/EW]	Kostenanalyse [€/EW]	Abweichung [€/EW]	Obere Grenze [€/EW]	Untere Grenze [€/EW]
550	601	833	+232	1.373	505
600	598	794	+196	1.190	530
700	593	730	+137	968	547
800	589	679	+90	901	511
900	586	637	+51	922	440
1.000	583	601	+18	974	371

Tabelle 23: Darstellung der Investitionskosten bei einer Ausbaugröße von 501 bis 1.000 EW im Vergleich.

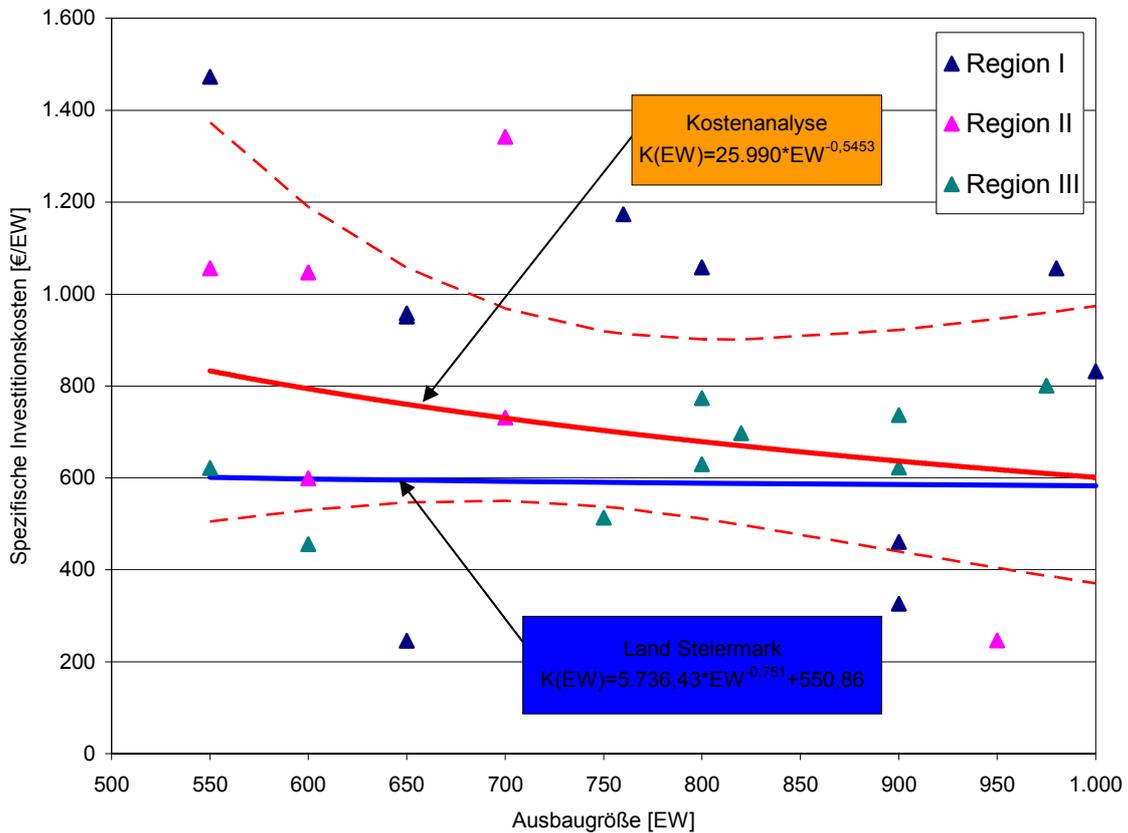


Abbildung 41: Kostenfunktion der 3 Regionen für eine Ausbaugröße von 501-1.000 EW im Vergleich

9.2.3 Analyse der 3 Regionen - Ausbaugröße 1.001 bis 5.000 EW

Es ist allgemein zu beobachten, dass die Streuungen der individuellen Kostenwerte mit zunehmender Ausbaugröße abnehmen. In Abbildung 42 sind die spezifischen Investitionskosten aller drei Regionen für eine Ausbaugröße von 1001 bis 5000 EW dargestellt. Die durchschnittliche Abweichung der spezifischen Investitionskosten der einzelnen Anlagen von der zugehörigen Regressionskurve beträgt in Region I $\pm 20\%$, in Region II $\pm 25\%$ und in Region III $\pm 17\%$. Region I setzt sich bei einer Ausbaugröße von zirka 1000 EW relativ deutlich von den anderen Regionen ab, nähert sich aber mit zunehmender Ausbaugröße den beiden anderen Regionen an. Die Differenz der Regressionskurven untereinander, beträgt bei 1100 EW zwischen Region I und III $+55\%$ (295,95 €/EW) und zwischen Region II und III $+18\%$ (95,91 €/EW). Bei einer Ausbaugröße von 5000 EW sind die Unterschiede nur noch gering. Die Abweichungen zwischen Region I und II betragen $+3\%$ (12,33 €/EW) und zwischen Region II und III $1,5\%$ (6,17 €/EW). Ursache für die deutlich höheren spezifischen Investitionskosten der Region I sind die Anlagen mit Nummer 1 und 75, die in Kapitel 10 genauer untersucht werden. Der allgemeine Trend, der höheren Kosten der Region I, bleibt.

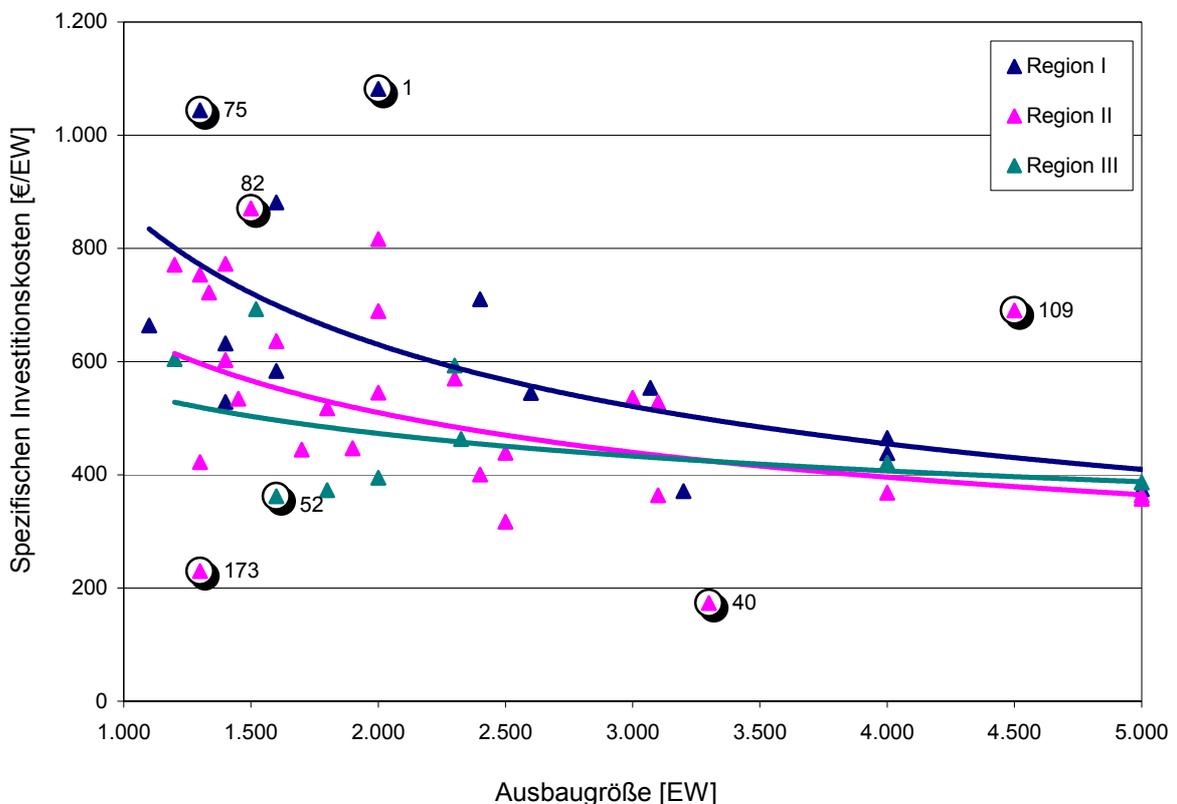


Abbildung 42: Gesamtinvestitionskosten kommunaler Kläranlagen in der Steiermark unterteilt in Region I, II, III. Ausbaugröße 1.001 – 5.000 EW.

In Abbildung 43 ist der Vergleich der „Plankostenkurve“ mit den Standardansätzen, der Steiermärkischen Landesregierung für 1001-5000 EW, dargestellt. Der Fehleranteil der über Kostenanalyse ermittelten Funktion beträgt bei 1100 EW zirka $\pm 20\%$ verkleinert sich mit Annäherung zum Mittelwert (2400 EW) auf $\pm 11\%$ und steigt bei 5000 EW wieder auf $\pm 23\%$ an. Die von der Steiermärkischen Landesregierung ermittelten Funktion weist wesentlich geringere spezifische Investitionskosten auf. Die Kostenansätze für diese Funktion erfolgen nach folgenden Gesichtspunkten (Referat III-Abwasserentsorgung, Merkblatt zur Variantenuntersuchung, Version 4.0, 2002):

- Anlagen entsprechen dem Stand der Technik
- Berücksichtigung sämtlicher direkt kostenwirksamer Maßnahmen
- Errichtung der Anlagen ohne Eigenleistungen (fachkundige Planung und öffentliche Ausschreibung der Baumaßnahmen)
- Ein Hausanschluss entspricht 4 EW (Änderung bei genauer Erhebung möglich)
- Die Kostenansätze für Abwasserhebeanlagen gelten für definierte Standards.
- Die Kostenansätze für Kläranlagen orientieren sich an den Richtwerten für Ausführung und Betrieb und gelten für Anlagen, die
 - die Werte der Emissionsverordnung einhalten,
 - den technischen Mindeststandard erfüllen (ist ein höherer Standard vorgegeben bzw. erforderlich und sind damit die Auswirkungen auf die Variantenentscheidung zu erwarten so ist dies entsprechend zu berücksichtigen)
 - keine wesentlichen Erschwernisse in der Bauausführung beinhalten,
 - mit durchschnittlichen Aufschließungskosten z.B. betreffend Zufahrt und Elektro- bzw. Wasserversorgung aufwarten.
 - Anlagen zur Speicherung des Klärschlammes für mindestens 6 Monate sind inkludiert – darüber hinausgehende Investitionskosten sind gesondert einzurechnen
- Sind bei Kläranlagen besondere Ablaufwerte gefordert, so sind weitgehende Reinigungsmaßnahmen gesondert in Rechnung zu stellen
- Ausstattung der Entsorgungsanlagen mit Einrichtungen, die eine ordnungsgemäße Betriebsführung und Wartung ermöglichen

- Für die weitergehende Behandlung anfallende Betriebskosten sowie Kosten für die Verwertung bzw. Entsorgung des Klärschlammes sind gesondert zu berücksichtigen.
- Sämtliche Kosten ohne Mehrwertsteuer

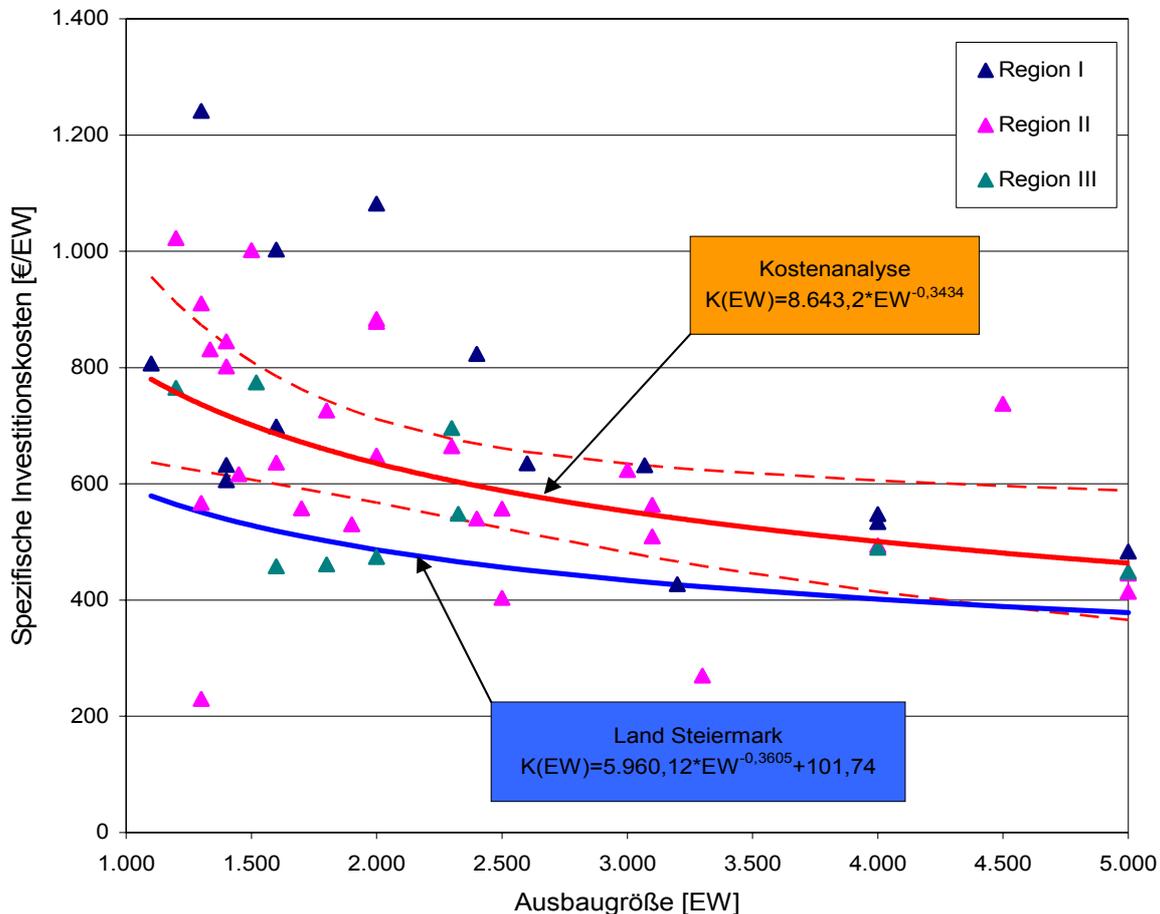


Abbildung 43: Kostenfunktion der 3 Regionen für eine Ausbaugröße von 50-500 EW im Soll - Ist Vergleich

Der Trend, dass der von der Steiermärkischen Landesregierung ermittelte Kostenansatz geringer ist, als der im Zuge dieser Diplomarbeit errechnete, bestätigt sich auch bei einer Ausbaugröße von 1000 bis 5000 EW. Die Abweichung, ausgehend von den Standardansätzen, beträgt bei 1500 EW +32,7% und bei 5000 EW + 22,6%. Die Ursache, wie schon eingangs erwähnt, ist, dass sich die Daten dieser statistischen Auswertung auf Kostenschätzungen der planenden Firmen beziehen. Diese sind in der Regel höher als die kollaudierten Kosten, auf die sich die Kostenanalyse der Steiermärkischen Landesregierung bezieht. Nach Rücksprache mit den jeweiligen Referenten, die die Abrechnungen überprüfen, beläuft sich die Differenz, der Kostenschätzungen zu den kollaudierten Kosten, aber durchaus in der oben dargestellten Bandbreite.

9.2.4 Kostenanalyse Betriebsgebäude - 50 bis 5.000 EW

In diesem Kapitel werden die spezifischen Investitionskosten der Kostengruppe Betriebsgebäude der Region I, II und III miteinander verglichen. Für die Gegenüberstellung standen gesamt 95 Kostenwerte zur Verfügung. Darauf entfielen auf Region I 31, Region II 40 und Region III 24 Betriebsgebäude. Auf eine Darstellung größer 5000 EW wurde verzichtet, da nur 6 Anlagen zur Verfügung standen und diese Anzahl, um eine plausible statistische Aussage treffen zu können, zu gering ist. Der Anteil, der Investitionskosten eines Betriebsgebäudes an den Gesamtinvestitionskosten, beträgt zirka 9%.

Dieser Prozentsatz beinhaltet:

- Kosten der Außenanlage (Beleuchtung, Bepflanzung, Zufahrt, Zaun)
- Stromanschluss
- Wasseranschluss
- Sozialräume
- Telefonanschluss
- Sanitäre Einrichtungen
- Gebäude

Im Merkblatt zur Variantenuntersuchung sind Richtwerte, für Größe und Inhalt eines Betriebsgebäudes für die jeweilige Ausbaugröße, angegeben.

Ausbaugröße [EW]	Fläche [m2]
51-200	10
201-500	10-14
501-1.000	26-34
1.001-2.000	41-60
2.001-5.000	70-100

Tabelle 24: Größe des Betriebsgebäudes in Abhängigkeit der Ausbaugröße

Die Ausstattung eines Betriebsgebäudes setzt sich aus

- Gebläseraum
- Schaltwarte
- Sanitärbereich
- Labor

- Abstellraum

zusammen.

In der nachstehenden Abbildung 44 sind die spezifischen Investitionskosten des Betriebsgebäudes der 3 Regionen mit einer Ausbaugröße von 50 bis 5000 EW dargestellt. Die größten Streuungen wurden bei einer Ausbaugröße zwischen 50 und 500 EW beobachtet. Die Kluft zwischen Region II und III beträgt bei 200 EW 165 €/EW. Es wurde diese Ausbaugröße gewählt, da in Region II nur 3 Anlagen unter 200 EW zur Analyse zur Verfügung standen. Diese geringe Anzahl, und bei näherer Betrachtung, die überproportionalen hohen Kosten dieser Anlagen, im speziellen Kläranlage Nummer 90, sind der Grund für die starke Abweichung der Region II. Die zugehörige Kostenkurve hat im betrachteten Raum, bis 200 EW, wenig Aussagekraft. Mit zunehmender Ausbaugröße, so bis zirka 1300 EW, nähern sich die 3 Regionen immer mehr an und pendeln sich bei ungefähr 70 €/EW ein. Region II und III nehmen einen kongruenten Verlauf an. Region II weicht dabei um -40 €/EW, bei 5000 EW, ab. Der Verlauf der Kostenkurve von Region III zeigt keinen regressiven sondern degressiven Verlauf, das heißt, das mit zunehmender Ausbaugröße, die spezifischen Investitionskosten zunehmen.

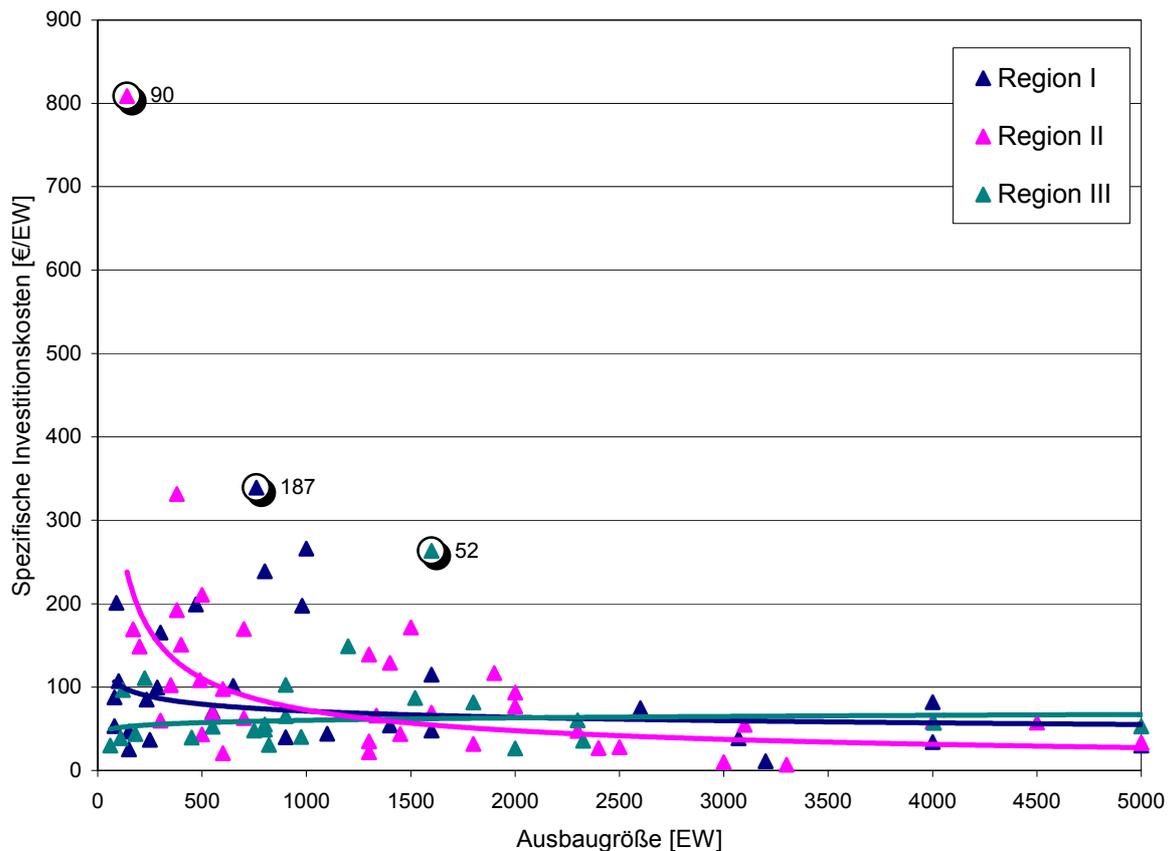


Abbildung 44: Investitionskosten der Kostengruppe Betriebsgebäude in der Steiermark, unterteilt in Region I, II, III. Ausbaugröße 50-5000 EW.

Die durchschnittliche Kostenkurve mit zugehörigen Konfidenzintervall ist in Abbildung 45 dargestellt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde Anlage Nummer 90 aus dem Diagramm genommen, ist aber in der Berechnung berücksichtigt worden. Die durchschnittliche Abweichung, der Kostenwerte von der ermittelten Kostenkurve, beträgt $\pm 80\%$.

Die zu erwartenden Kosten des Betriebsgebäudes werden durch die Kostenfunktion $K(EW) = 338,5EW^{-0,2369}$, mit zugehörigem Vertrauensintervall, beschrieben.

Ausbaugröße [EW]	K(EW) [€/EW]	Obere Grenze [€/EW]	Untere Grenze [€/EW]
100	134,00	179,98	71,83
200	96,48	136,66	68,12
300	87,65	117,29	65,49
400	81,87	63,27	117,29
500	77,66	61,27	98,43
1000	65,89	81,95	52,99
5000	45,00	67,33	30,09

Tabelle 25: Investitionskosten eines Betriebsgebäudes mit zugehörigem Konfidenzintervalle

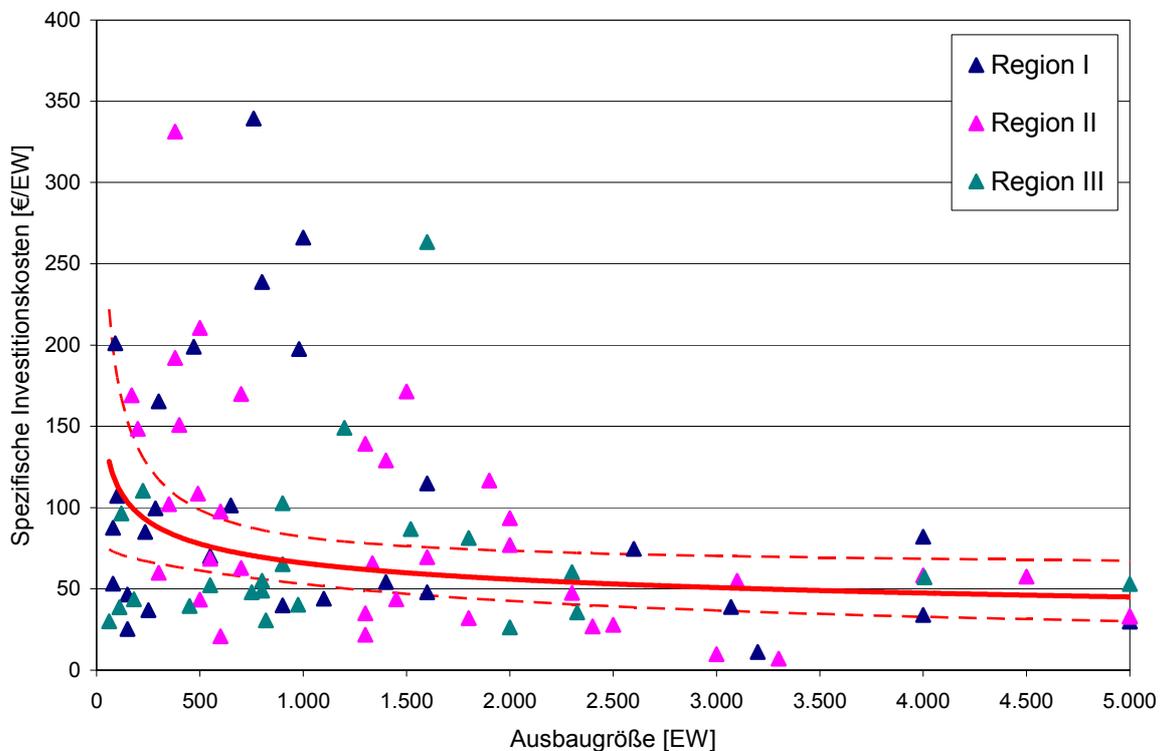


Abbildung 45: Kostenfunktion der 3 Regionen für eine Ausbaugröße von 50-5000 EW - Kostengruppe Betriebsgebäude.

9.2.5 Kostenanalyse Steuerung und Überwachung - 50 bis 5.000 EW

Die zunehmende Komplexität der Anlagen und der zunehmende Kostendruck, sowie die verschärften Umweltauflagen erfordern zusätzliche Maßnahmen zur Erfüllung der Sicherung der Funktionen des Betriebes. Das Überwachungs- und Steuerungssystem für Kläranlagen dient der Erhöhung der Betriebssicherheit. Es ist als zentrales System für die wirtschaftliche Prozesskontrolle und Überwachung gedacht um die optimale Klärung zu gewährleisten.

Die Investitionskosten der Steuerung und Überwachung haben einen Anteil an den Gesamtinvestitionskosten von 10%. Sie setzen sich aus

- Überwachungsraum
- Instrumente
- Leitungen
- Computertechnische Einrichtungen
- Sender
- Schieber

zusammen.

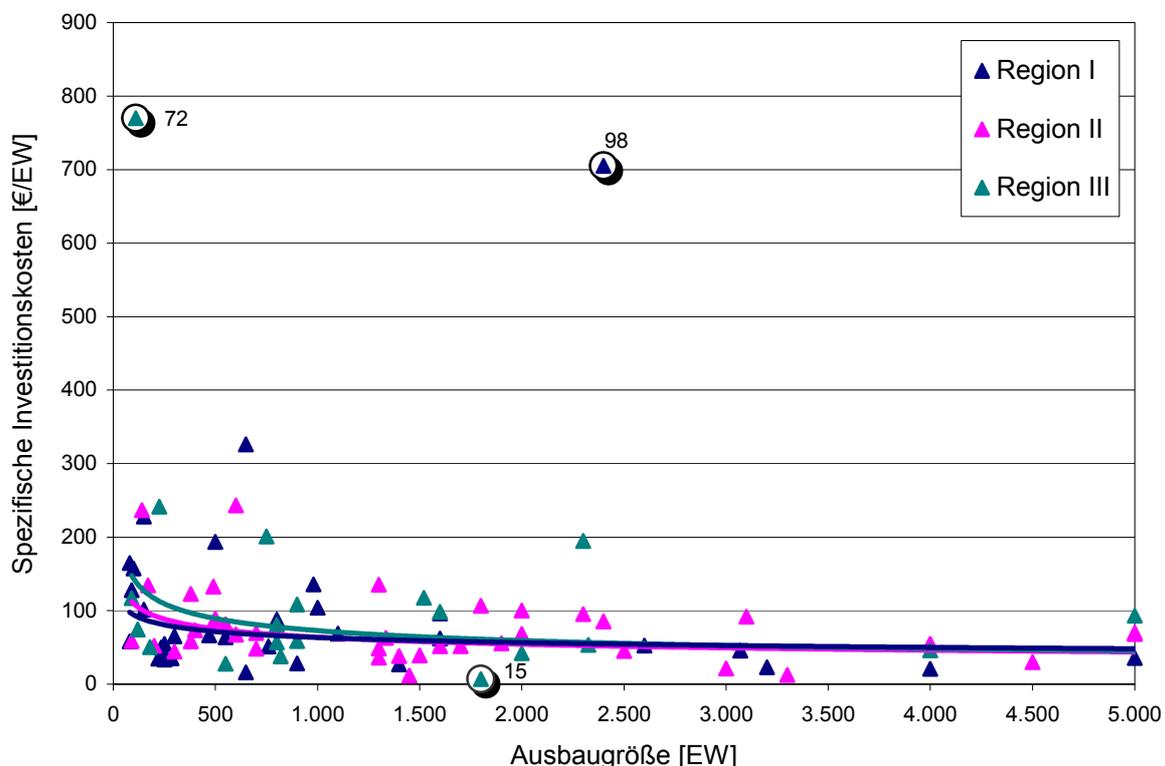


Abbildung 46: Investitionskosten der Kostengruppe Steuerung und Überwachung in der Steiermark, unterteilt in Region I, II, III. Ausbaugröße 50-5000 EW.

Für die Auswertung der Kostengruppe Steuerung und Überwachung standen insgesamt 99, bis zu einer Ausbaugröße von 5000 EW, Datensätze zur Verfügung. Es entfielen 34 auf Region I, 39 auf Region II und 20 Anlagen auf Region III.

Auf eine genauere Untersuchung >5000 EW wurde verzichtet, da die Erfahrung zeigt, dass Berechnungen mit sechs Anlagen zu keinem aussagekräftigen Ergebnis führen. Die Kläranlagen 72, 98, und 15 (Abbildung 46) wurden in der Ursachenanalyse genauer untersucht und aufgrund, der in Kapitel 10 angeführten Gründe, im unten dargestellten Diagramm nicht berücksichtigt.

In Abbildung 46 sind die spezifischen Investitionskosten, der Kostengruppe Steuerung und Überwachung der 3 Regionen, dargestellt. Die Abweichungen der Kostenkurven zwischen den Regionen sind im Vergleich zu den anderen Kostengruppen relativ gering, und beginnen sich bei einer Ausbaugröße von 2000 EW zu decken. Die mittlere Abweichung der einzelnen Kostenwerte von der, in Abbildung 47 dargestellten Kostenkurve, beträgt $\pm 80\%$.

Die zu erwartenden Investitionskosten in der Steuerung und Überwachung werden durch die Potenzfunktion $K(EW) = 248,71EW^{-0,1972}$ ausgedrückt.

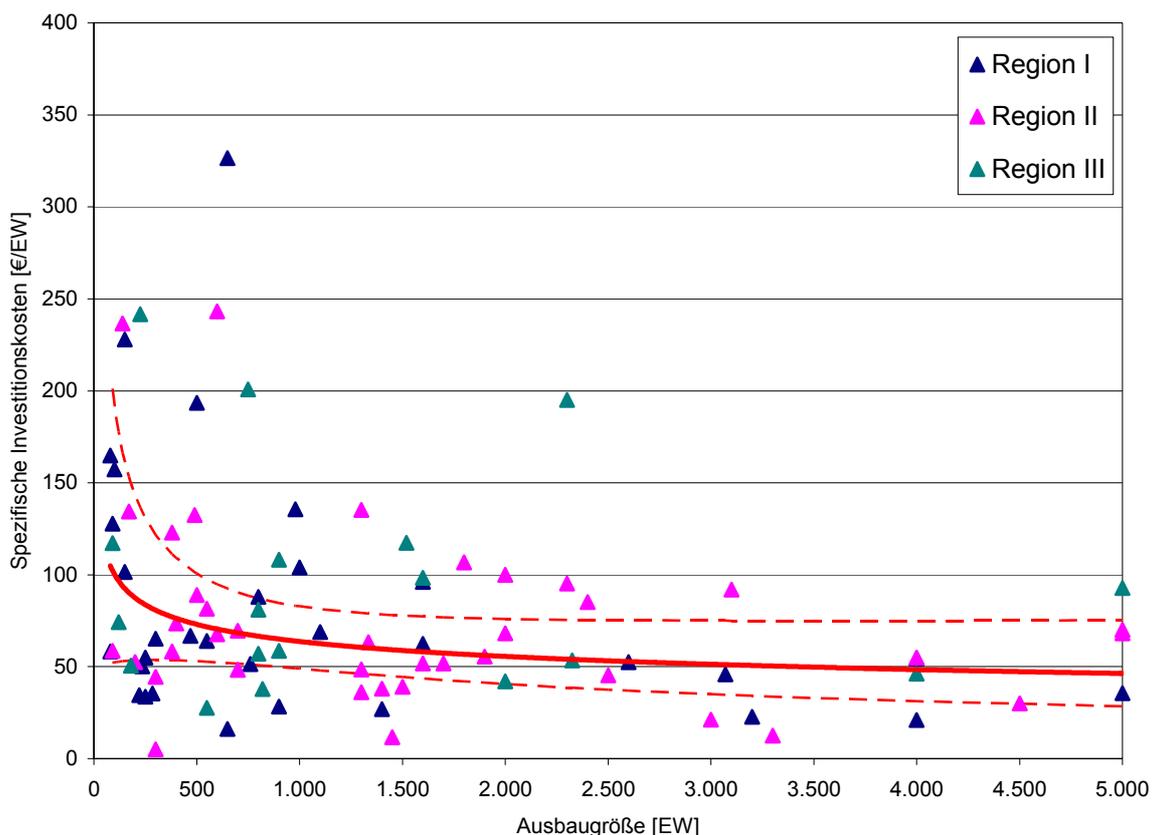


Abbildung 47: Kostenfunktion der 3 Regionen für eine Ausbaugröße von 50-5000 EW - Kostengruppe Steuerung und Überwachung.

9.2.6 Kostenanalyse Reinigung - 50 bis 5000 EW

In Abbildung 48 sind die Teilkosten für die Reinigungsstufe der einzelnen Kläranlagen ersichtlich. Da 73 % der Gesamtinvestitionskosten für die Reinigungsstufe aufgewendet werden, ist es auch verständlich, dass eine Vielzahl an Faktoren die Kosten der Reinigungsstufe beeinflussen.

Diese sind:

- Wassermenge inklusive Fremdwasser [$l/EW \cdot d$]
- Schmutzfracht in g BSB/ $EW \cdot d$
- Industrieabwasseranteil
- Kanalsystem (Mischwasserkanalisation, Trennkanalisation)
- Reinigungsziel (Nitrifikation, Denitrifikation, Phosphorfällung)
- Simultane Schlammstabilisierung
- Spezifische Beckengröße [m^3/EGW]
- Redundanz von Anlagenteilen
- Standortspezifische Besonderheiten
- Fäkalübernahmestelle
- Rechen
- Sandfang
- Vorklärung

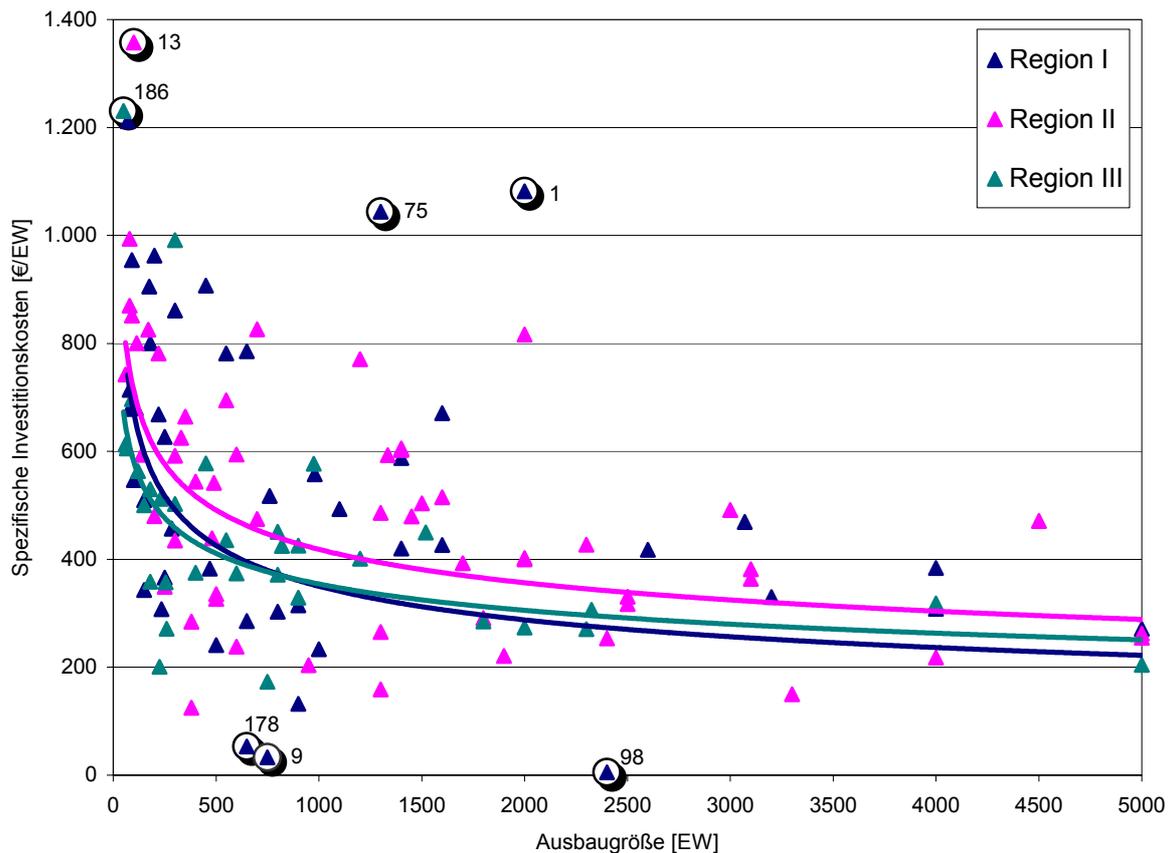


Abbildung 48: Investitionskosten der Kostengruppe Reinigung in der Steiermark, unterteilt in Region I, II, III. Ausbaugröße 50-5000 EW.

Die Kostenfunktionen, der jeweiligen Regionen mit einem mittleren Streubereich, wurden anhand von 135 Anlagen berechnet. Zur Analyse der Teilkosten von Region I standen 46, Region II 56 und Region III 33 Anlagen zur Verfügung. Der Umstand, dass nur 135 Anlagen in dieser Kostengruppe vertreten sind und nicht alle 151, lässt Zweifel über die richtige Auflistung der Daten, gemäß Förderungsansuchen, seitens des Antragstellers, offen. Die mittlere Abweichung der Investitionskosten in Region I beträgt $\pm 57,32\%$, in Region II $\pm 23,60\%$ und in Region III $\pm 33,69\%$. Die Kläranlagen Nummer 13, 186, 7, 61, 75, 1, 178, 9 und 98 weisen besonders starke Abweichungen auf. Bei näherer Betrachtung der einzelnen Kostengruppen ist zu erkennen, dass bei gewissen Anlagen, keine Teilkosten vorhanden waren, sondern möglicherweise die Gesamtinvestitionskosten in die Kostengruppe Reinigung, angeführt wurden. Im Gegensatz zu den zu niedrigen Kosten in der Reinigung, wird eine Anpassung an den Stand der Technik und nicht ein Neubau einer Kläranlage, vermutet. Genauere Aufschlüsse soll die Ursachenanalyse in Kapitel 10 geben.

In der in Abbildung 49 dargestellten Kostenkurve sind die Anlagen 1, 75, 13, 186, 9 aus Gründen der Vergleichbarkeit mit den übrigen Datensätzen nicht berücksichtigt worden (siehe Ursachenanalyse).

Die Kostenfunktionskurve, für die Kostengruppe Reinigung, ist mit der Potenzfunktion $K(EW) = 2378,3 * EW^{-0,2742}$ definiert.

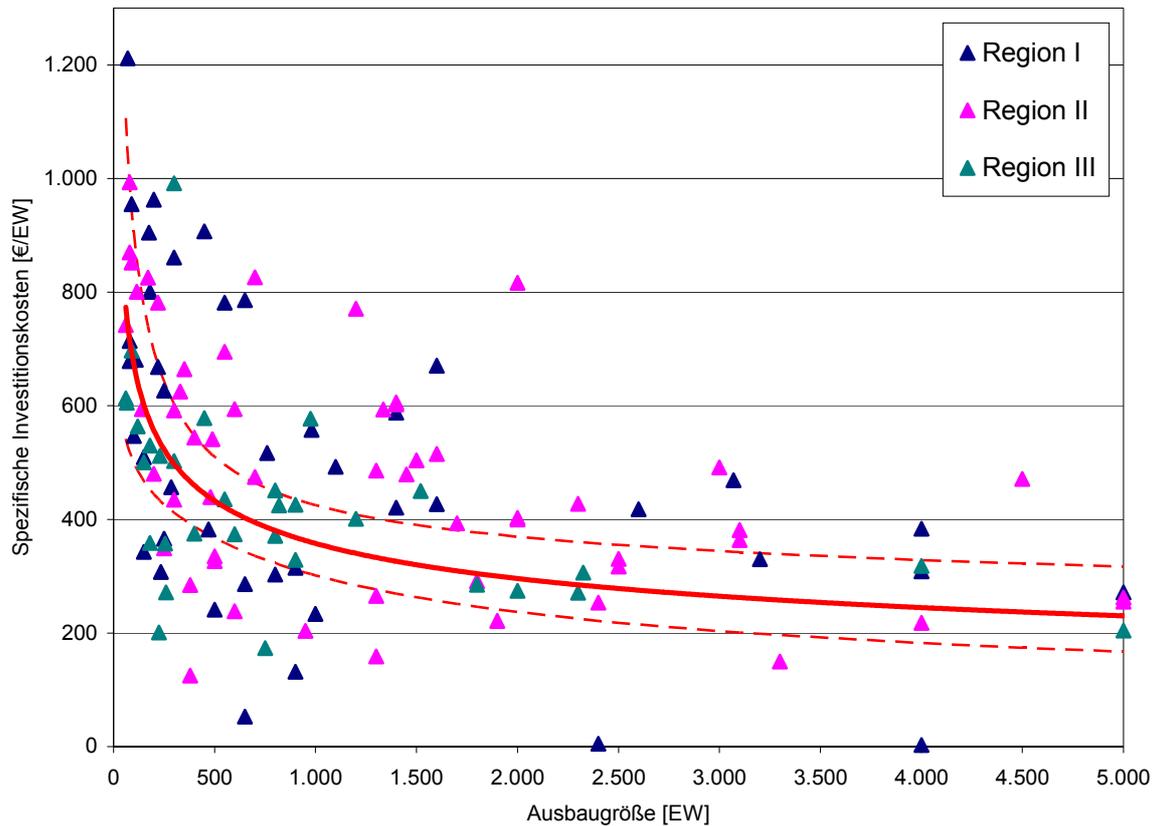


Abbildung 49: Kostenfunktion der 3 Regionen für eine Ausbaugröße von 50-5000 EW - Kostengruppe Reinigung.

9.2.7 Kostenanalyse Schlammbehandlung - 50 bis 5.000 EW

Die Teilkosten der Schlammbehandlung in den Regionen weisen sehr unterschiedliche Verläufe auf. Die spezifischen Investitionskosten bis 1000 EW streuen dabei sehr stark. Zur Analyse dieser Kostengruppe standen gesamt 59 Werte zur Verfügung. Dabei entfielen auf Region I 21, Region II und III 19. Die Teilkosten weichen, von der zugehörigen Kostenfunktionskurve in Region I um $\pm 48,31\%$, in Region II um $\pm 25,54\%$ und in Region III um $\pm 20,60\%$, ab. Die relativ geringe Anzahl an Daten begründet, nicht nur den für die spezifischen Investitionskosten untypisch degressiven Verlauf der Kostenkurve in Region III, sondern auch den großen Abstand, bei kleineren Ausbaugrößen, zwischen den Kostenfunktionskurven.

Betrachtet man Region III, bei einer Ausbaugröße zwischen 50 und 500 EW, so erkennt man, dass nur zwei kommunale Kläranlagen für die Auswertung zur Verfügung standen und diese sehr geringe Teilkosten in der Schlammbehandlung haben. Nachdem die Regressionsrechnung das Ziel verfolgt, den Abstand zu den zugehörigen Werten zu minimieren, wird der degressive Verlauf, verständlich.

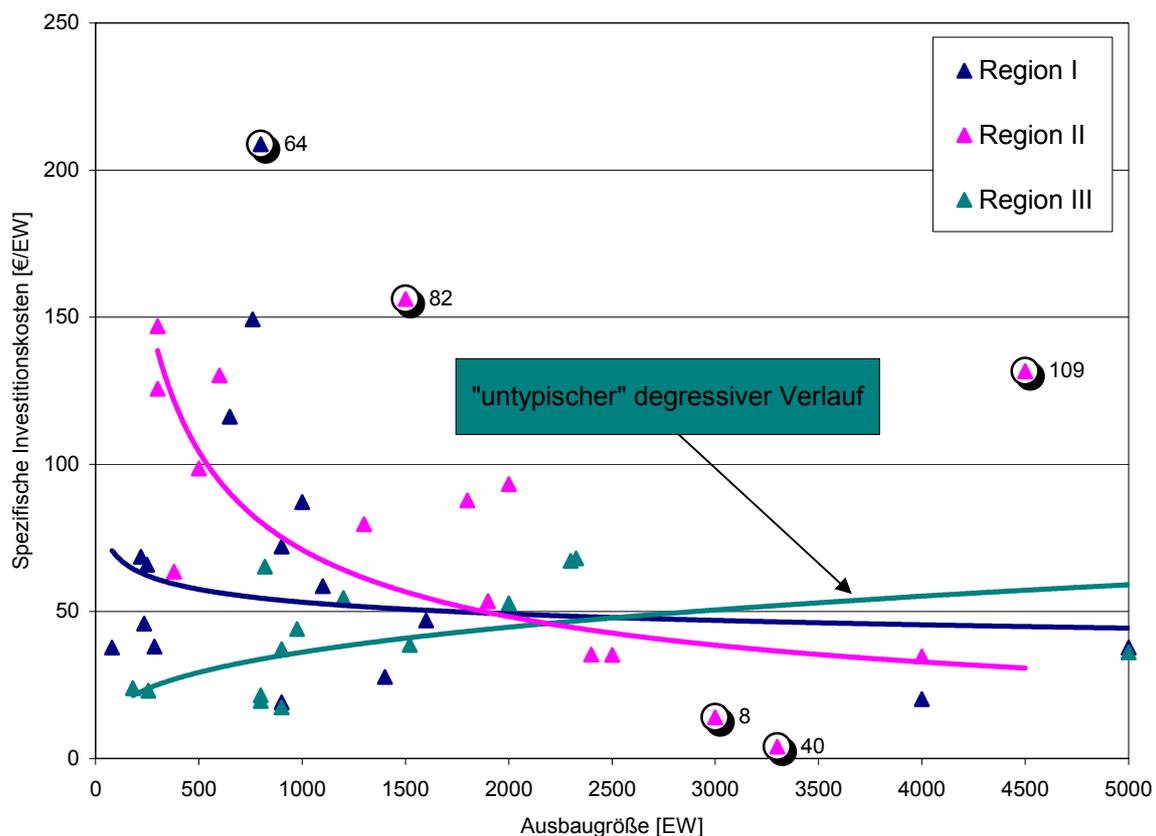


Abbildung 50: Kostenfunktion der 3 Regionen für eine Ausbaugröße von 50-5000 EW - Kostengruppe Schlammbehandlung.

Die hervorgehobenen Anlagen wurden, nach fachlicher Beurteilung des betreuenden Assistenten, ausgewählt und im Kapitel 10 „Ursachenanalyse“ näher behandelt.

Die folgende Abbildung zeigt die Kostenfunktionskurve aller 3 Regionen, für eine Ausbaugröße zwischen 50 bis 5000 EW, mit zugehörigem Konfidenzintervall. Die Berechnungen zeigen, dass eine Aussage unter 500 EW nicht gemacht werden kann. Die obere Grenze der Kostenfunktionskurve liegt bei 80 EW im Bereich von 200 €/EW, die untere bei 32,93 €/EW. Dies entspricht einer Bandbreite von 176 €/EW. Aussagekräftiger ist die Kurve bei 1000 EW. Hier bewegen sich die spezifischen Investitionskosten im Bereich von 33,94 €/EW und 64,29 €/EW. Mit zunehmender Ausbaugröße steigt auch wieder der Fehleranteil der regressiven Potenzfunktion.

Der Anteil der Kostengruppe Schlammbehandlung an den Gesamtinvestitionskosten beträgt 5%.

Die in Abbildung 51 dargestellte Kostenfunktionskurve ist mit der nichtlinearen Funktion $K(EW) = 210,57EW^{-0,218}$ berechnet worden. Anlage 64 ist, aus Gründen die in der Ursachenanalyse näher beschrieben werden, nicht berücksichtigt worden.

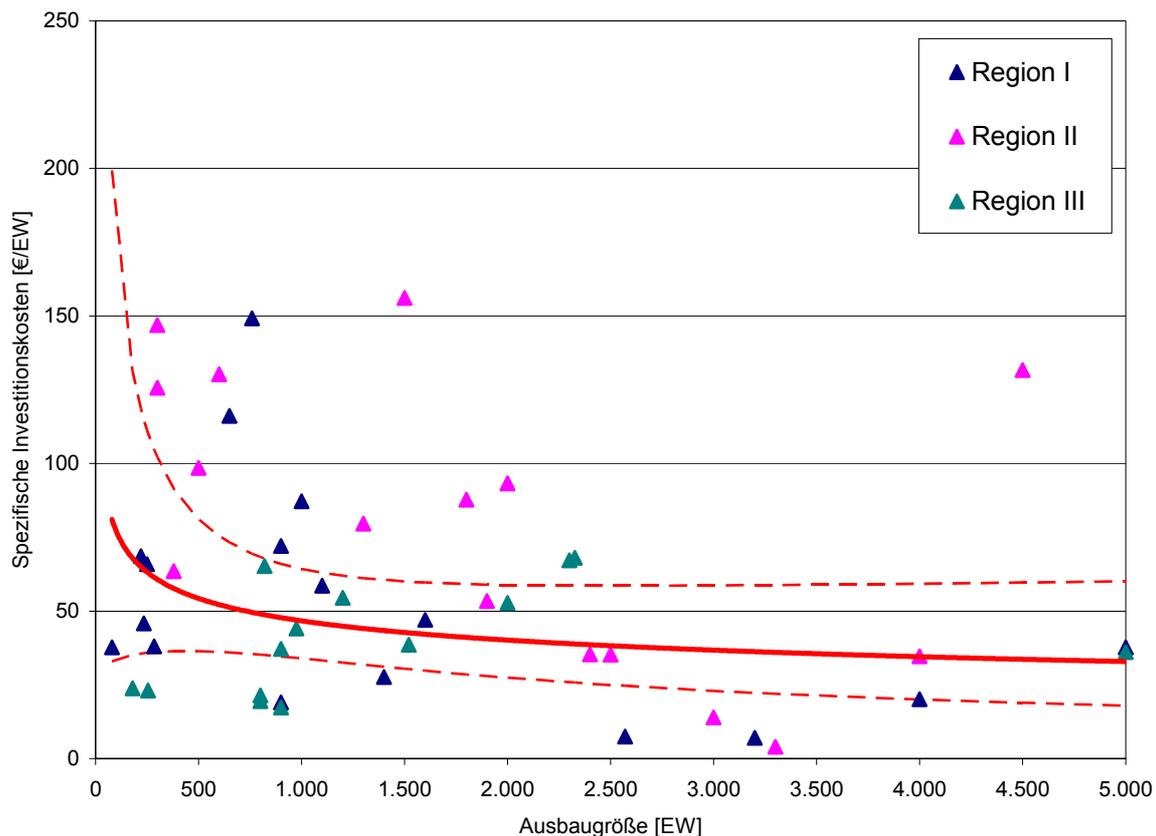


Abbildung 51: Kostenfunktion der 3 Regionen für eine Ausbaugröße von 50-5000 EW - Kostengruppe Schlammbehandlung.

9.2.8 Kostenanalyse Schlammmentsorgung - 50 bis 5.000 EW

Mit der Schlammbehandlung wird der Schlamm in eine nicht mehr faulfähige „Form“ übergeführt und in seiner Menge reduziert. Das Problem der Beseitigung ist aber noch nicht gelöst. Für die Schlammmentsorgung kommen vor allem folgende Möglichkeiten in Betracht (Kainz et al., 2002):

- landwirtschaftliche Verwertung
- Deponie in Schlammteichen oder (derzeit noch) auf Mülldeponien
- Verbrennung und Deponierung der Rückstände

Die Verwendung des entsprechenden Verfahrens, und der dadurch zugehörigen baulichen Maßnahmen zur Verwertung des Schlammes, spiegelt sich auch in den Teilkosten der Schlammmentsorgung wieder.

Einen Trend in der Kostengruppe Schlammmentsorgung, aufgrund der vorhandenen Daten, aufzuzeigen, war leider nicht möglich. Es standen 10 Kostenwerte für diesen Teilkostenbereich zur Verfügung. Mit Daten dieses Umfanges eine statistische Interpretation zu versuchen, würde nur zu einem verfälschtem Ergebnis führen.

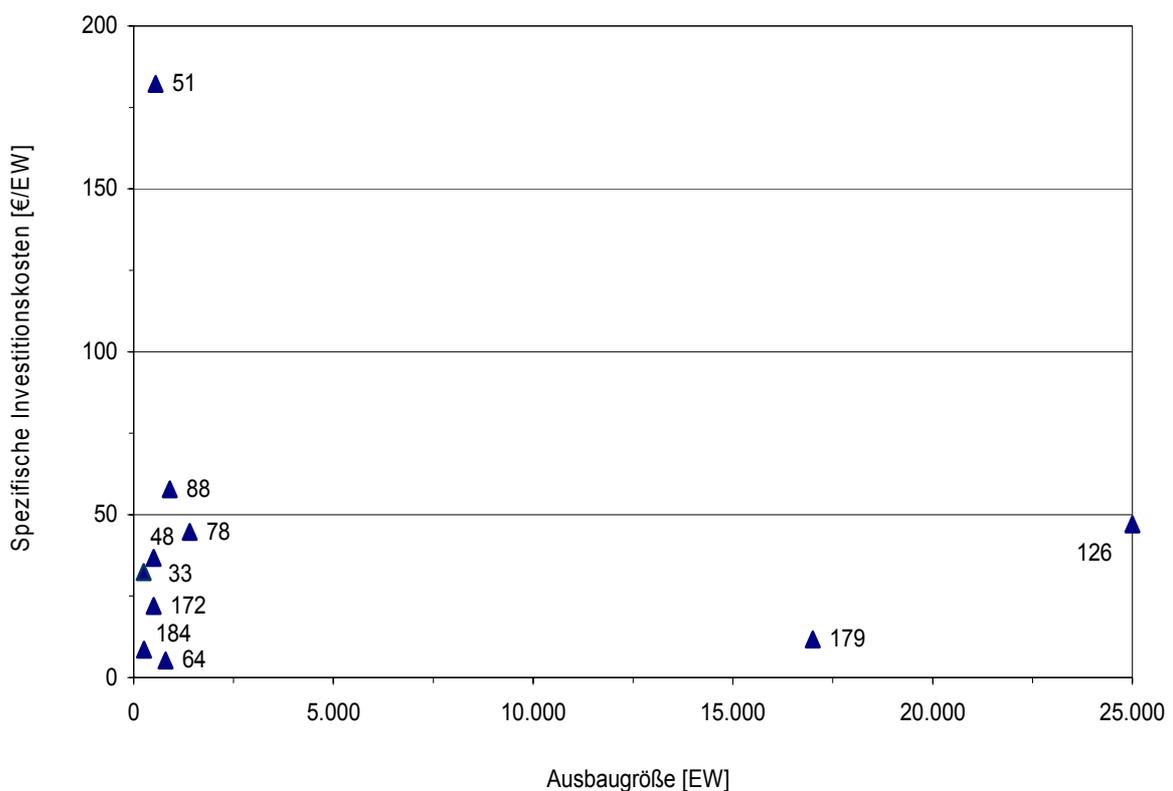


Abbildung 52: Darstellung der Teilkosten aus der Schlammmentsorgung der Region I,II,III. Ausbaugröße 50-5000 EW.

9.3 Kostenanalyse des Anlagentyps

Die 137 Kläranlagen wurden in 3 verschiedene Anlagentypen eingeteilt. Der in der Steiermark häufigste verwendete Anlagentyp ist, mit 69% (93) aller untersuchten Anlagen, der Typ A, gefolgt von Typ B mit 28% (40) und Typ C mit 3% (4). Um auf plausible Ergebnisse verweisen zu können, wurden Typ A und B nur bis zu einer Ausbaugröße von 5000 EW ausgewertet. Typ C wurde, aufgrund der geringen Anzahl und der daraus resultierenden mangelnden Aussagekraft, nicht analysiert.

Im Diagramm ist klar ersichtlich, dass Typ B nur bis zu einer Ausbaugröße von 2500 EW gebaut wird. Die mittlere Streuung, der verschiedenen Ausführungsarten von der Kostenfunktionskurve, liegen bei Typ A im Bereich von $\pm 42,70\%$ und bei Typ B betragen diese $\pm 38,0\%$. Der Schnittpunkt der beiden Kostenkurven liegt bei 237 EW. Typ A scheint etwas kostenintensiver zu sein, wird aber mit zunehmender Ausbaugröße gegenüber Typ B immer wirtschaftlicher. Dieser Trend ist auch in den einzelnen Kostengruppen zu erkennen.

Abschließend ist zu erwähnen, dass es sehr schwierig ist, Kläranlagen nach ihren Typen zu vergleichen, da jede Anlage ihre Besonderheiten und somit auch unterschiedliche Kosten hat.

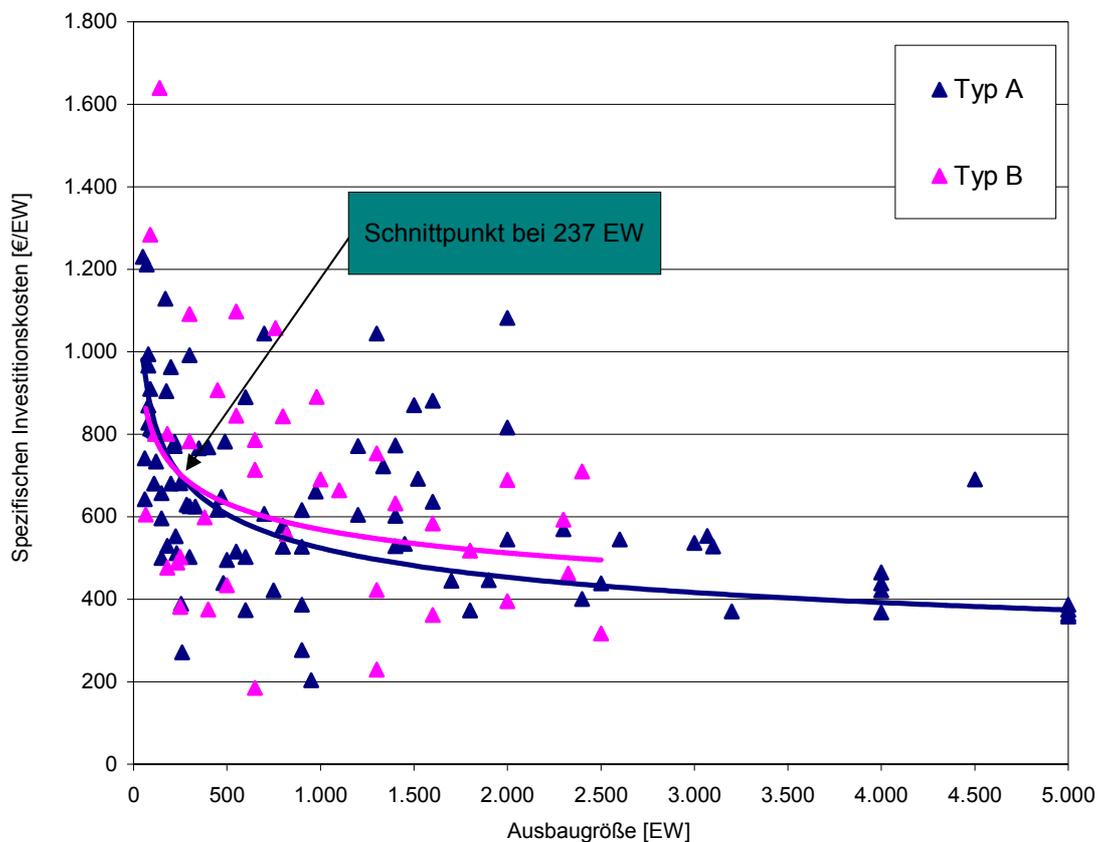


Abbildung 53: Vergleich des Anlagentyps A und B - Ausbaugröße bis 5000 EW

9.4 Kostenentwicklung

Nach Meinung der Fachabteilung 19A der Steiermärkischen Landesregierung haben sich die Investitionskosten für Neubauten von Kläranlagen überproportional erhöht. Diese Erhöhung soll nach diesen Angaben unabhängig von der Größe der Kläranlage sein.

In dieser Diplomarbeit wurde die zeitliche Veränderung auf verschiedene Arten untersucht. Bei Betrachtung der Diagramme ist zu berücksichtigen, dass es sich hier um Indexbereinigte Kostenwerte handelt. In Abbildung 55 wurden die Gesamtinvestitionskosten pro Jahr und EW dargestellt. Das Ergebnis war **keine überproportionale Steigerung** sondern eher ein Rückgang der Kosten. Bei näherer Betrachtung der einzelnen Ausbaugrößen, ist bei einer Größe von 50 bis 500 EW ein starker Anstieg der Kosten zu erkennen. Bei den restlichen Ausbaugrößen zwischen 501-5000 EW ein Rückgang.

In Abbildung 54 sind die spezifischen Gesamtinvestitionskosten, jeder Anlage pro Jahr unabhängig von der Ausbaugröße und Anlagentyp, dargestellt. Der durchschnittliche Trend zeigt einen leichten Anstieg der Investitionskosten. Aufgrund der starken Streuungen wurde es für notwendig befunden, den Fehler des Regressionskoeffizienten zu berücksichtigen. Es zeigt sich, dass eine Aussage, dass es einen leichten Anstieg der Kosten gegeben hat nicht mehr so einfach zu vertreten ist. Man kann einen überproportionalen Anstieg ausschließen. Eine andere Interpretation kann aufgrund der Ergebnisse nicht gemacht werden.

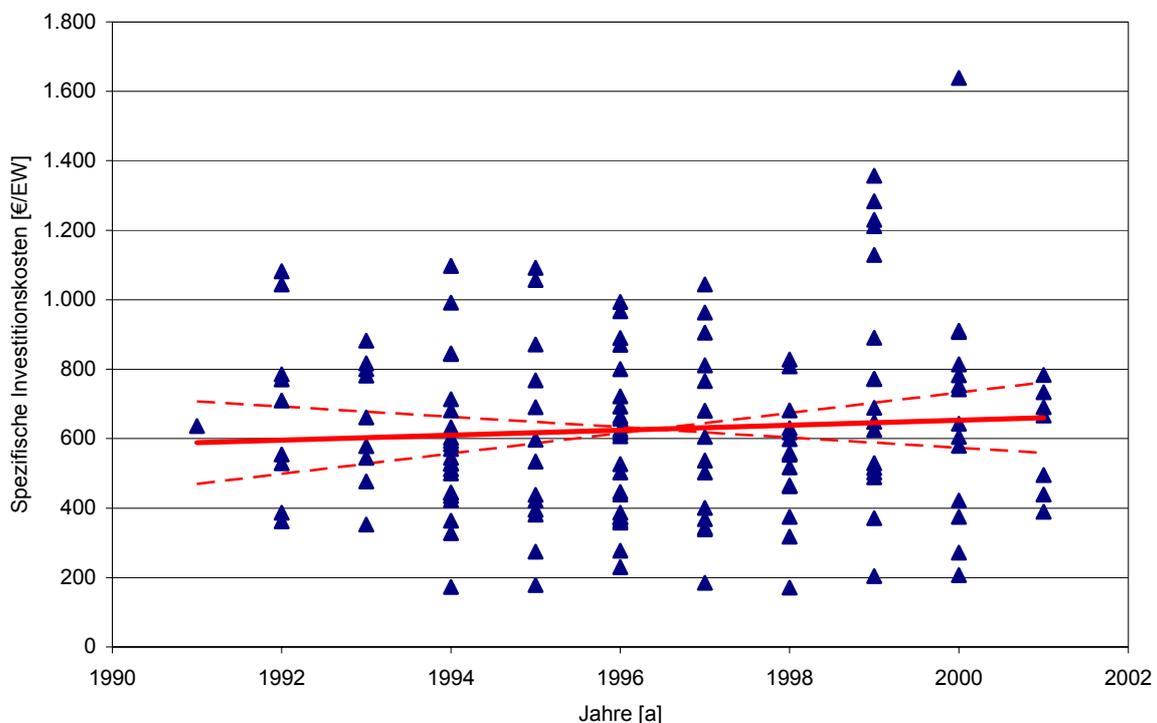


Abbildung 54: Zeitliche Verlauf der Spezifischen Investitionskosten

10 URSACHENANALYSE

10.1 Region I

Nr. 1:

Die vorhandenen technischen Daten der Fachabteilung 19 A ergaben ein Belebungsbecken mit Nachklärbecken mit einer Ausbaugröße von 2.000 EW. Die Schlamm Entsorgung erfolgt in einer nahe gelegenen Abwasserreinigungsanlage. Genauere Informationen standen nicht zur Verfügung.

Auch bei dieser Anlage ergab sich das Problem, dass unklar war, ob die Gesamtinvestitionskosten in der Kostengruppe Reinigung enthalten waren, da in den anderen Teilkostenbereichen keine Investitionskosten vorhanden waren. Aus der statistischen Analyse und nach Rücksprache mit dem verantwortlichen Referenten wurde aber klar, dass es sich um Gesamtinvestitionskosten und nicht um Teilkosten der Reinigung handelte.

Warum die Gesamtinvestitionskosten für diese Kläranlage so hoch waren, konnte nicht genau begründet werden. Es war nur auffallend, dass bei der Vergabe, die Kosten schon 16,8 % höher waren, als bei der Kostenschätzung der planenden Firmen. Generell wird eine Fehleinschätzung der Investitionskosten im Vorfeld vermutet.

Es gab während der Errichtung der Kläranlage eine Insolvenz einer Firma, die für die Bereiche Technik und Ausstattung verantwortlich war. Möglicherweise könnte dies zu einer Verteuerung geführt haben. Aufgrund von Problemen mit dem Arbeitsinspektorat könnten ebenfalls, wenn auch nur geringfügig, höhere Kosten entstanden sein. Betrachtet man den zeitlichen Verlauf der Gesamtinvestitionskosten, ist auffallend, dass im Antragsjahr 1992 ein sehr hohes Preisniveau vorhanden war (siehe Abbildung 55).

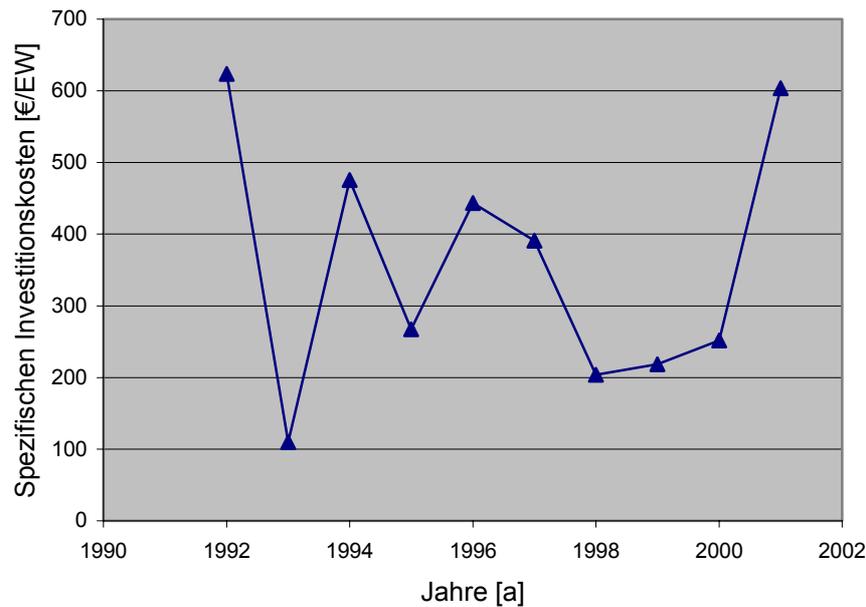


Abbildung 55: Gesamtinvestitionskosten pro Jahr und EW

Nr. 9:

Es handelt sich hier um eine Einbecken-Kläranlage mit Klärschlamm-silo, die für 750 EW konzipiert ist. Die niedrigen Kosten in der Reinigung sind so erklärbar, dass es sich hier nicht um einen Neubau handelte, sondern um ein Nachrüsten in der mechanischen Vorreinigung.

Nr. 36:

Nr. 36 hat eine Ausbaugröße von 300 EW und ist eine Biowattanlage bestehend aus einem Absetztank, 3 Reaktionsbehälter (SBR - Verfahren) und einem Klärschlamm-speicher. Die hohen Gesamtinvestitionskosten entstanden dadurch, dass sich diese Anlage in einem Siedlungsgebiet befand, wodurch größere Auflagen, betreffend Geruchsbelästigung, zu erfüllen waren. Weitere Gründe waren, dass es sich um ein völlig eingehaustes System handelte und als Untergrund Fels vorgefunden wurde.

Nr. 64:

Diese Abwasserreinigungsanlage (800 EW) ist eine Anlage mit simultaner aerober Schlammstabilisierung und besteht aus folgenden Anlagenteilen:

- Zulaufpumpwerk (2 Schneideradpumpen)
- Fäkalienübernahme
- Belebungsbecken
- Pufferbecken
- Ablaufmessschacht
- Auslaufbauwerk
- Schlamm Speicher (je 90 m³)
- Schlamm pumpschacht
- Betriebsgebäude

Die überhöhten Kosten in der Schlammbehandlung beinhalteten zwei Schlamm Speicher mit je 90 m³ Fassungsvermögen einschließlich Entwässerung. Schlussendlich ist die Entwässerung weggefallen und die Kosten betragen ein Viertel, der hier in dieser Arbeit angeführten Kosten.

Nr. 75:

Das System besteht aus einem Rechen, Belebungsbecken, Nachklärbecken, Posphatfällungsanlage, Eindicker, Stapelraum, Betriebsgebäude und ist für eine Ausbaugröße von 1300 EW konzipiert.

Auffallend bei dieser Kläranlage war, erstens die erhöhten Gesamtinvestitionskosten und zweitens, dass diese Gesamtkosten nur in der Kostengruppe Reinigung enthalten waren. Das heißt, es hat keine Aufteilung der Gesamtkosten in die einzelnen Kostengruppen, stattgefunden. Dies wurde durch den zuständigen Referenten der Steiermärkischen Landesregierung so begründet, dass diese Kläranlage ineinander geschachtelt ist und aufgrund von Witterungsverhältnissen und der topographischen Lage, als ganzes überdacht, und somit als ein System angesehen wurde.

Zusätzlich sind Kosten aufgrund von Gründungs- und baulichen Problemen sowie durch einen unvorgesehenen Wasserandrang entstanden.

Vorleistungen für eine spätere 2. Ausbaustufe, mit einer Gesamtausbaugröße auf 2500 EW (zusätzlich 1200 EW) waren mit unter auch ein Grund, für die überdurchschnittlichen Gesamtinvestitionskosten für diese Ausbaugröße.

Nr. 98:

Diese Anlage setzt sich aus einer Belebungsanlage, in Form eines Umlaufbeckens mit innenliegenden Nachklärbecken, zusammen. Die Kläranlage wurde für eine Ausbaugröße von 2400 EW gebaut.

Auch hier wurde keine Kostengliederung in die einzelnen Kostengruppen vorgenommen, da es sich um eine komplett umhauste Anlage handelte.

Ursache für die überhöhten Kosten waren schlechte Gründungsverhältnisse. Um Setzungen im Bereich der Kläranlage zu verhindern, wurde zwei Jahre vor Baubeginn, eine Schüttung aufgebracht, um eine Konsolidierung des Bodens zu erreichen.

Ursprünglich wurden Betriebsgebäude und Schlammsilos als ein Gebäude geplant. Aufgrund von, den oben genannten schlechten Bodenverhältnissen, wurden zwei voneinander getrennte Bauwerke, errichtet.

Nr. 162:

Dieses System besteht aus:

- Notumlaufschacht
- Rechenanlage
- Rundsandfang
- Klärblock (2 Einheiten)
- 2 Belebungsbecken
- 2 Nachklärbecken
- Schlammeindicker bzw. Schlamm Speicherbecken.

Die niedrigen Gesamtinvestitionskosten lassen sich bei dieser Anlage insofern erklären, dass es sich nicht um einen Neubau sondern um eine Anpassung an den Stand der Technik, gehandelt hat. Aus hydraulischen Gründen wurden zusätzlich eine Tauchwand und eine Schwimmschlammabsaugung installiert. Dies war erforderlich, um einen verbesserten Betriebsablauf zu gewährleisten.

Nr. 176:

Bei dieser Anlage konnten keine genaueren Details über die Zusammensetzung in Erfahrung gebracht werden, außer, dass sie aus einem Belebungsbecken und Nachklärbecken besteht.

Es handelt sich hier nicht um einen Neubau, sondern um einen Ausbau von 1500 auf 2570 EW. Die, für diese Arbeit zur Verfügung gestellten Daten, beinhalten nicht diese Erweiterung, sondern die Anschaffung eines Rührwerkes. Dies begründet auch die niedrigen Gesamtinvestitionskosten.

Nr. 178:

Hier konnte leider nur sehr wenig Information eingeholt werden, außer dass es sich um ein Aufstauprinzip handelt, und die geringen Gesamtinvestitionskosten aufgrund einer Baufirma, die dringend einen Auftrag benötigt hat, entstanden sind.

Nr. 187:

Nr. 187 ist eine Kompaktkläranlage, die für 760 EW konzipiert wurde. Die genauere Untersuchung ergab sich durch die überhöhten Kosten in der Kostengruppe Betriebsgebäude. Die Gemeinde beabsichtigte hier ein Gebäude mit inkludiertem Bauhof. Obwohl die Investitionskosten separat behandelt wurden sind dadurch Mehrkosten, aufgrund von zusätzlichen baulichen Maßnahmen für das Betriebsgebäude, entstanden. Weiters wurde auf die Architektur Wert gelegt und versucht das Gebäude im Erdreich einzubinden.

10.2 Region II

Nr. 8:

Diese Anlage setzt sich zusammen aus,

- Lochsieberanlage
- Sand – Fettfang
- Vorkontaktbecken
- Belebungsbecken
- Phosphatfällung
- Nachklärung
- Kiesfilter
- Klärschlammeindicker
- Klärschlamm lagerhalle.

und hat eine Ausbaugröße von 4500 EW. Die niedrigen Kosten in der Schlammbehandlung ergeben sich aufgrund einer mobilen Schlammpresse.

Nr. 13:

Die Anlage mit simultaner aerober Schlammstabilisierung ist ausgelegt für 100 EW. Einflussfaktoren für die überdurchschnittlichen Kosten waren, unter anderem, das Vorhandensein eines sehr schwachen Vorfluters (erhöhte Reinigungsleistung), die ungünstige Wahl des Standortes und die damit verbundene lange Zufahrtsstraße sowie die Auslegung der Anlage auf Stossbelastungen. Auch hier wurden die Gesamtinvestitionskosten in die Kostengruppe Reinigung eingerechnet.

Nr. 40:

Bei diesen Daten handelte es sich ausschließlich um den Bau eines Schlammspeichers, deshalb auch die niedrigen Investitionskosten in der Kostengruppe Schlammbehandlung.

Nr. 82:

Die für 1500 EW ausgelegte Anlage setzt sich aus einem Sieb, Belebungsbecken, einer Nachklärung und einem Eindicker zusammen. Laut zuständigen Referenten ergaben sich die überhöhten Kosten in der Schlammbehandlung aufgrund eines Schlammspeichers - Vegetationsspeichers und einer Schlamm lagerhalle.

Nr. 90:

Dies ist eine SBR - Anlage mit simultaner Phosphatfällung, bestehend aus einer externen Schlammstabilisierung und einem Klärschlamm Speicher, mit einer Ausbaugröße von 140 EW.

Aufgefallen ist diese Anlage einerseits durch die hohen Kosten in der Kostengruppe Betriebsgebäude und andererseits durch hohe Gesamtinvestitionskosten.

Begründet wurde dies, durch eine ungünstige Standortwahl. Es handelt sich um ein unterirdisches System, das sich in einer Seehöhe von 1200 m befindet. Erschwerend kam noch die Bodenbeschaffenheit (Fels) hinzu. Ein schwacher Vorfluter und eine ein Kilometer lange Zufahrtstraße sind zusätzlich Gründe für diese kostenintensive Anlage.

Nr. 95:

Die Kläranlage Nummer 95 ist für 600 EW ausgelegt besteht aus zwei Belebungsbecken, einem Nachklärbecken und einem Klärschlamm Speicher mit einem Speichervolumen von 60 m³. Die Beschickung des Schlamm Speichers erfolgt, durch einen bei Bedarf in Betrieb zu nehmenden Druckluftheber, aus dem Nachklärbecken. Sämtliche Anlagen wurden unterirdisch angeordnet und abgedeckt, wodurch eine zu weitgehende Abkühlung des Abwassers vermieden wurde.

Grund für die genauere Analyse dieser Anlage waren die überhöhten Kosten in der Steuerung und Überwachung. Nach Rücksprache mit der zuständigen Bauaufsicht konnten einige interessante Ursachen in Erfahrung gebracht werden.

Bei dieser Anlage wurde erstmals ein SBS - System, sprich ein eigenes Regelsystem verwendet, mit dem eine Übertragung der Daten über Telefonleitung möglich wurde. Es waren dadurch zwar höhere Investitionskosten zu erwarten, nur sollten sich diese, aufgrund der mit Hilfe dieses Systems ergebende Minimierung der Betriebskosten, amortisieren.

Nr. 109:

Diese Anlage, mit einer Größe von 4500 EW, setzt sich aus einem Rechen, Sandfang, Fettabscheider, Belebungsbecken, einer Phosphatfällung, einem Nachklärbecken, Eindicker und einer Entwässerung zusammen.

In die Kostengruppe Schlammbehandlung wurden eine Schlammpresse, eine Schlamm Lagerhalle sowie ein Kalksilo eingerechnet, wodurch sich auch die hohen Teilkosten erklären lassen.

Nr. 173:

Gemäß der Bewohneranzahl und der Belastung durch kleingewerbliche Betriebe ergab sich eine notwendige Ausbaugröße von 1300 EW. Die Abwasserfassung wurde als Trennkanalisation ausgeführt. Da das Kläranlagengrundstück im Überschwemmungsgebiet liegt, musste das Kläranlagenareal mit dem Aushubmaterial um 1m angehoben werden.

Als Verfahren wurde die Einbecken-Klärtechnik System BIOGEST als biologisches Aufbereitungsprinzip gewählt. Es handelt sich dabei um eine Belebtschlammanlage mit simultaner aerober Schlammstabilisierung (Langzeitbelebung) im „Aufstauprinzip“. Die Phosphatelimination erfolgt mittels Simultanfällung.

Die statistische Analyse ergab sehr niedrige Gesamtinvestitionskosten dieser Abwasserreinigungsanlage. Ursache war, dass es sich nicht um einen gesamten Neubau, sondern nur um einen Zubau eines neuen Beckens, also einer Erweiterung um 1300 EW, handelte.

10.3 Region III

Nr. 52 / 72:

Laut Auskunft des Referenten hängen beide Nummern auf einer Anlage, die für eine Ausbaugröße von 1600 EW, konzipiert ist.

Die hohen Kosten in den Kostengruppen Betriebsgebäude und Steuerung/Überwachung kommen daher, dass aus Unwissenheit bezüglich der Einrechnung der Kosten, alles auf die Teilkostenbereiche Betriebsgebäude und Steuerung/Überwachung umgelegt wurde.

Nr. 186:

Auch hier sind, wie schon in einigen Fällen zuvor, die Gesamtinvestitionskosten der Kostengruppe Reinigung zugewiesen worden. Daraus ergibt sich auch der hohe Anteil in diesem Teilkostenbereich.

Nr. 15:

Die Kläranlage Nummer 15 besteht aus folgenden Teilen:

- Siebrechen
- 2 Belebungsbecken
- 2 Nachklärbecken
- Eindicker
- Schlammstilo
- Entwässerung des Klärschlammens bei einer anderen Abwasserreinigungsanlage

Sie wurde mit einer Ausbaugröße von 1800 EW errichtet. Die niedrigen Kosten in der Kostengruppe Steuerung und Überwachung sind Zusatzkosten, die für das neue System angefallen sind. Die restlichen Anteile, die für die Steuerung und Überwachung benötigt wurden, waren schon im alten System enthalten.

11 SCHLUSSFOLGERUNG EHGARTNER

Die Zielsetzung war, mittels Kostenfunktionskurven die Entwicklung der Investitionskosten aufzuzeigen und mögliche Ursachen für Unterschiede herauszufinden. Die Arbeit wurde in zwei Diplomarbeiten unterteilt, wobei der erste Schritt das Aufbereiten der Daten und die Erstellung von Diagrammen war. Der getrennte Datensatz für die technische Information und die Kostendaten erschwerte den Beginn der Arbeit. Die beiden Datenreihen mussten bezüglich Ausbaugröße, Standort, Gemeindenummer und Kläranlagenname miteinander verglichen werden und in einer Tabelle vereinheitlicht werden.

Bei diesem Vergleich und der Überprüfung Daten wurden Anlagen aus folgenden Gründen ausgeschieden:

- Anlagen mit nicht plausiblen Kosten
- Stornierte Anträge
- Sanierung
- Bestimmte Anlagentypen:
 - Teichkläranlagen
 - Pflanzenkläranlagen
 - Tropfkörperanlagen

Kläranlagen, bei denen nur ein Bauteil dem Stand der Technik angepasst wurde oder neu errichtet wurde, fand in der Untersuchung keine Berücksichtigung. Stornierte Ansuchen wurden ebenfalls gestrichen. Ein Vergleich mit Anlagen, welche Sanierungen betreffen, konnte auf Grund der geringen Anzahl nicht vorgenommen werden. Da die Anlagen in verschiedene Typen eingeteilt wurden und nur zwei Tropfkörperanlagen und eine Pflanzenkläranlage in der Datenreihe enthalten waren, wurden auch diese Anlagen ausgeschieden.

Der nächste Arbeitsschritt befasste sich mit den Kosten und deren Anpassung aufgrund der Preissteigerung. Ein geeigneter Index wurde in Zusammenarbeit mit dem Leiter der Abrechnungsabteilung der FA 19C festgelegt und berücksichtigt die tiefbautechnischen Bauteile, die maschinellen Ausrüstungselemente und die elektrotechnischen Einrichtungen.

Die Gesamtinvestitionskosten sind nach dem zur Verfügung gestellten Datensatz in fünf Kostengruppen geteilt, die nachstehende Aufteilung aufweisen:

- Betriebsgebäude
- Steuerung und Überwachung
- Reinigung
- Schlammbehandlung
- Schlammentsorgung

Die Grundlage für die Kosten sind die Förderungsansuchen für Abwasserreinigungsanlagen. Die von den Gemeinden beauftragten Planer reichen beim Amt der Steiermärkischen Landesregierung das Ansuchen ein und haben eine Variantenuntersuchung mittels Kostenschätzungen durchzuführen. Die Basis für diese Kostenschätzungen sind Standard – Kostenansätze der FA 19A. Diese Plankosten der ausgewählten Variante standen für die in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen zur Verfügung.

Um spezifische Investitionskosten für den Vergleich zu bekommen, wurde als Bezugsgröße der Einwohnergleichwert verwendet.

Weiters wurden die Anlagen in Gruppen eingeteilt:

- Ausbaugröße
- Region
- Anlagentypen

Mit der grundsätzlichen Unterscheidung in Neubau und Anpassung an den Stand der Technik wurden in Abhängigkeit der Ausbaugrößen die spezifischen Investitionskosten der Anlagen in über 200 Diagrammen dargestellt. Die Diagramme wurden so dargestellt, dass mittels Kostenfunktionskurven Trends in Bezug auf Anlagentyp, zeitliche Entwicklung, Region und Ausbaugröße zu erkennen sind und eine Ursachenanalyse möglich ist.

12 SCHLUSSFOLGERUNG GRABNER

Die Investitionskostenberechnung mit Hilfe von statistisch ermittelten Kostenfunktionen in Abhängigkeit der Ausbaugröße ist für eine zutreffende Budgetierung zu ungenau (nach Bohn, 1993). Die in dieser Diplomarbeit dargestellten Kostenfunktionen wurden mit Hilfe der nichtlinearen Regressionsrechnung ermittelt, und zwar nach dem Verfahren der Linearisierung durch Koordinatentransformation. Aufgrund der starken Streuungen der Kostenwerte der einzelnen Kläranlagen von der zugehörigen Kostenfunktion wurde ein Konfidenzbereich, oder auch Vertrauensbereich genannt, eingeführt.

Die durchgeführte statistische Auswertung unterliegt bestimmten Fehlern. Einerseits der Fehler durch die Linearisierung durch Koordinatentransformation und auf der anderen Seite der Fehler, der durch die Erhebung der Daten entsteht.

Die Statistik soll eine Hilfestellung sein, um gewisse Vorgänge zu beschreiben und mögliche Fehler, dieser mathematisch berechneten Kostenfunktionen, in Form eines Konfidenzintervalles zu minimieren. Es darf dabei nicht vergessen werden, dass statistische Aussagen bestenfalls nur so verlässlich sind wie die Daten, auf die sie sich beziehen.

Im Rahmen der Regressionsrechnung wurde ersichtlich, dass die Kostenfunktionskurven bei einem potenziellen Verlauf, die beste Korrelation mit den dargestellten Daten, besitzen. Die Ungenauigkeit der Kostenfunktion wurde mittels eines Vertrauensbereiches mit einer 99%igen Wahrscheinlichkeit abgedeckt.

Für die Investitionskostenanalyse standen Kostendaten von 151 Kläranlagen (Neubau) und 36 Kläranlagen (Anpassung Stand der Technik), die in 5 Kostengruppen untergliedert waren, zur Verfügung. In dieser Arbeit wurden nur Investitionskosten von Neubauten in Abhängigkeit von Einwohnergleichwerten untersucht. Das vorhandene Datenmaterial betreffend Anpassung an den Stand der Technik war nicht ausreichend, um eine vernünftige statistische Analyse durchführen zu können. Es scheint, dass der Einwohnergleichwert keine passende Bezugsgröße darstellt um Investitionskosten der Anpassung an den Stand der Technik, darstellen zu können. Die Problematik lag darin, dass keine Information über die Größe der Anpassung vorhanden war.

In Kapitel 5 wurden die Gesamtinvestitionskosten als auch die Investitionskosten der Kostengruppen der drei Regionen untereinander verglichen. Dort, wo standortspezifische Einflüsse, wie Baugrund, Seehöhe und Witterungsverhältnisse eine Rolle spielten, klafften auch die Investitionskosten auseinander. Beispielsweise bei den Kostengruppen Betriebsgebäude und Schlammbehandlung war die Differenz unter den Regionen am größten. Mit höheren Ausbaugrößen wurde auch die Abweichung geringer.

Der Vergleich, der Kosten die in dieser Diplomarbeit behandelt wurden, mit den Standardansätzen, die im Rahmen einer Studie von der Steiermärkischen Landesregierung ermittelt worden sind, ergab in allen Ausbaugrößen höhere Plankosten. Dies ist dadurch erklärbar, dass diese Arbeit auf Kostenschätzungen („Plankosten“) aufbaut und die Randbedingungen, für die Ermittlung der Kostenfunktionskurve der Steiermärkischen Landesregierung, berücksichtigt.

Durch die Darstellung der kommunalen Kläranlagen in Diagrammen sind Anlagen aufgefallen, die eine vom errechneten Mittelwert überdurchschnittliche Abweichung aufwiesen.

Die Ursachen dieser Unterschiede in den Investitionskosten waren sehr häufig:

- **Baugrund**
- Anpassung an den Stand der Technik / Erweiterung
- **Topographie**
- Klimatische Verhältnisse
- Ungenaue Kostenzuordnung durch den Antragsteller
- Minimierung der Betriebskosten → hohe Investitionskosten
- Vorleistungen für eine weitere Ausbaustufe
- Schwacher Vorfluter
- Schlechte Infrastruktur (lange Zufahrten)
- Anlage in einem Siedlungsgebiet

Um eine bessere und genauere Interpretation der Investitionskosten von kommunalen Kläranlagen zu ermöglichen, sollen parallel zu den Gesamtinvestitionskosten auch die Betriebskosten betrachtet werden. Hohe Investitionskosten bedeuten sehr oft niedrige Betriebskosten und umgekehrt (Anlage Nummer 95).

Die Berechnung des zeitlichen Verlaufes der Investitionskosten brachte keine genauen Aufschlüsse über die Entwicklung der Kosten. Es wurden dabei mehrere Arten von Diagrammen, die jeweils Indexbereinigte Kostenwerte enthielten, erstellt. Bei Betrachtung der einzelnen Ausbaugrößen (€/EW) wurde ersichtlich, dass bei einer Größe von 50 bis 500 EW die Investitionskosten leicht anstiegen und bei 500 bis 5000 EW die Investitionskosten gefallen sind. Die spezifischen Gesamtinvestitionskosten jeder Anlage pro Jahr zeigten jedoch einen leichten Anstieg an. Aufgrund der starken Streuungen ist keine konkrete Interpretation möglich, jedoch kann ein **überproportionaler Verlauf ausgeschlossen** werden.

13AUSBLICK

Diese Arbeit stellt nur einen ersten Schritt für die Feststellung möglicher Ursachen von erhöhten Investitionskosten dar. Um eine Optimierung der Kosten erreichen zu können, müssen einerseits die Betriebskosten parallel zu den Investitionskosten betrachtet werden und andererseits muss eine detaillierte Aufschlüsselung, die Verwendung kollaudierter Investitionskosten und eine umfassendere Untersuchung angestrebt werden. Eine Aussage über das tatsächlich erreichbare Optimierungspotential kann nur über die Betrachtung der Lebenszykluskosten, die sich aus den Kapital-, Betriebs- und Instandhaltungskosten zusammensetzen, erfolgen. Diese Untersuchung ist nur mit einer Festlegung von definierten Ansätzen bezüglich der Erfordernisse für den Betrieb einer Kläranlage und mit einem genaueren Datenmaterial zu realisieren. Eine einheitliche Erfassung der Daten ist nur in enger Zusammenarbeit der Fachabteilungen untereinander sowie einer engen Kooperation in Form von Datenaustausch zwischen Planer und Land möglich. Die Daten müssten in Bezug auf Quantität und Qualität so aufbereitet werden, dass eine aussagekräftige Untersuchung der Lebenszykluskosten möglich ist, sowie Möglichkeiten zur Senkung von Investitionskosten aufgezeigt werden können. Im Rahmen von zukünftigen Analysen sollte, um eine präzise Interpretation möglich zu machen, von kollaudierten Kosten ausgegangen werden.

Aus den Erkenntnissen der Ursachenanalyse geht unter anderem klar hervor, dass für eine zukünftige bessere Vergleichbarkeit der Kostengruppen unterschiedlicher kommunaler Kläranlagen sehr genaue Vorgaben des Förderungsgebers notwendig sind. Diese Vorgaben sollten eine detaillierte Aufschlüsselung der Zuordnung der Anlagenteile zu den einzelnen Kostengruppen beinhalten. Der dafür benötigte Mehraufwand sollte im Hinblick auf die Effizienz der gesamten Förderungsabwicklung in einem vertretbaren Rahmen bleiben.

14ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Organisationsform der Abteilung 19	4
Abbildung 2: Einfacher Hakenrechen für eine mittlere Kläranlage (Kainz et al., 2002)	9
Abbildung 3: Siebtrommel (Pöppinghaus et al., 1994).....	10
Abbildung 4: Belüfteter Sandfang (Kainz et al., 2002)	12
Abbildung 5: Schema des Absetzbeckens (Hosang & Bischof, 1998).....	13
Abbildung 6: Rechteckbecken (Hosang & Bischof, 1998)	14
Abbildung 7: Rundbecken (Hosang & Bischof, 1998).....	14
Abbildung 8: Horizontal durchflossenes und rundes Trichterbecken (Hosang & Bischof, 1998).....	15
Abbildung 9: Fällmitteldosierung bei Vorfällung (Ernst & Sohn, 1985)	17
Abbildung 10: Abhängigkeit des Schlammalters von der Schlammbelastung (Kayser, 1971).....	21
Abbildung 11: Abhängigkeit der Generationszeit von der Temperatur (Mudrack & Kunst, 1991).....	21
Abbildung 12: Betriebsarten der Stickstoffentfernung (Ernst & Sohn, 1985)	23
Abbildung 13: Beispiel für eine Darstellung von spezifischen Investitionskosten in Abhängigkeit der Ausbaugröße (Bohn, 1993)	43
Abbildung 14: Topographische Karte Bundesland Steiermark (Ausflugsziele, 2003)	45
Abbildung 15: Fließschema einer städtischen Abwasserreinigungsanlage (Kainz et al., 2002)	47
Abbildung 16: Schlammkreislauf beim Belebungsverfahren mit Nachklärbecken (Kainz et al., 2002)	49

Abbildung 17: Ablauf eines Bauvorhabens von der Planung bis zum Baubeginn bzw. Kommissionssitzung	64
Abbildung 18: Übersicht der Indizes der Kostengruppen.....	71
Abbildung 19: Vergleich der Durchschnitts – Indizes von Kläranlagen und der.....	76
Abbildung 20: Hauptbestandteile der Nutzungskosten kommunaler Kläranlagen	80
Abbildung 21: Zusammenfassung von Kostenbereichen für den Hoch- und Tiefbau	86
Abbildung 22: Diagramm – Spezifische Investitionskosten für Neubauten der Kostengruppe Reinigung, 50–500 EW, Region III und Anlagentyp A..	87
Abbildung 23: Darstellung der spezifischen Investitionskosten bei Neubauten der Kostengruppe Reinigung mit einer Ausbaugröße von 50 bis 5.000 EW	88
Abbildung 24: Gruppeneinteilung zur Erstellung der Diagramme	89
Abbildung 25: Prozentueller Anteil der Kostengruppen an den Gesamtinvestitionskosten, unterteilt in Ausbaugrößen.....	95
Abbildung 26: Anteil von Kläranlagen sowie Anteil der Kosten an Gesamtkosten in Prozent, eingeteilt in Ausbaugrößen.....	95
Abbildung 27: Anteil von Kläranlagen sowie Anteil der Kosten an den Gesamtkosten in Prozent der Jahre 1991 bis 2001.....	96
Abbildung 28: Regression der Höhe von Sojabohnenpflanzen bezüglich des.....	97
Abbildung 29: Regression der Größe des Sohnes bezüglich der Größe des Vaters.....	98
Abbildung 30: Berechnung des vertikalen Abstandes	99
Abbildung 31: Darstellung der Gesamtinvestitionskosten von kommunalen Kläranlagen in der Steiermark. Neubau,50-500 EW,Region I,Typ A.	104

Abbildung 32: Darstellung der Gesamtinvestitionskosten von kommunalen Kläranlagen in der Steiermark mit linearer Kostenfunktion (Linearer Regression).....	105
Abbildung 33: Darstellung des Konfidenzintervalles für den Regressionskoeffizienten	108
Abbildung 34: Darstellung des Konfidenzintervalles für den Mittelwert	111
Abbildung 35: Abbildung zur Formel 8.16.....	115
Abbildung 36: Darstellung der nichtlinearen Regression mittels Potenzfunktion	123
Abbildung 37: Darstellung des Konfidenzintervalles für die Potenzfunktion	125
Abbildung 38: Gesamtinvestitionskosten kommunaler Kläranlagen in der Steiermark unterteilt in Region I, II, III.	129
Abbildung 39: Gesamtinvestitionskosten kommunaler Kläranlagen in der Steiermark unterteilt in Region I, II, III. Ausbaugröße 50-500 EW.	130
Abbildung 40: Kostenfunktion der 3 Regionen für eine Ausbaugröße von 50-500 EW im Vergleich.....	132
Abbildung 41: Kostenfunktion der 3 Regionen für eine Ausbaugröße von 501-1.000 EW im Vergleich.....	133
Abbildung 42: Gesamtinvestitionskosten kommunaler Kläranlagen in der Steiermark unterteilt in Region I, II, III. Ausbaugröße 1.001 – 5.000 EW.	134
Abbildung 43: Kostenfunktion der 3 Regionen für eine Ausbaugröße von 50-500 EW im Soll - Ist Vergleich.....	136
Abbildung 44: Investitionskosten der Kostengruppe Betriebsgebäude in der Steiermark, unterteilt in Region I, II, III. Ausbaugröße 50-5000 EW. .	138
Abbildung 45: Kostenfunktion der 3 Regionen für eine Ausbaugröße von 50-5000 EW - Kostengruppe Betriebsgebäude.....	139

Abbildung 46: Investitionskosten der Kostengruppe Steuerung und Überwachung in der Steiermark, unterteilt in Region I, II, III. Ausbaugröße 50-5000 EW.....	140
Abbildung 47: Kostenfunktion der 3 Regionen für eine Ausbaugröße von 50-5000 EW - Kostengruppe Steuerung und Überwachung.....	141
Abbildung 48: Investitionskosten der Kostengruppe Reinigung in der Steiermark, unterteilt in Region I, II, III. Ausbaugröße 50-5000 EW.	143
Abbildung 49: Kostenfunktion der 3 Regionen für eine Ausbaugröße von 50-5000 EW - Kostengruppe Reinigung.....	144
Abbildung 50: Kostenfunktion der 3 Regionen für eine Ausbaugröße von 50-5000 EW - Kostengruppe Schlammbehandlung.....	145
Abbildung 51: Kostenfunktion der 3 Regionen für eine Ausbaugröße von 50-5000 EW - Kostengruppe Schlammbehandlung.....	146
Abbildung 52: Darstellung der Teilkosten aus der Schlammentsorgung der Region I,II,III. Ausbaugröße 50-5000 EW.....	147
Abbildung 53: Vergleich des Anlagentyps A und B - Ausbaugröße bis 5000 EW.....	148
Abbildung 54: Zeitliche Verlauf der Spezifischen Investitionskosten	149
Abbildung 55: Gesamtinvestitionskosten pro Jahr und EW	151

15 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Richtwerte für Rechengutmengen (Kainz et al., 2002).....	9
Tabelle 2: Wachstumsrate der Nitrifikanten in Abhängigkeit der Temperatur (Mudrack & Kunst, 1991)	20
Tabelle 3: Baupreisindex für den Sonstigen Tiefbau ab 1991 (Basis: 2002 = 100,00) (Statistik Austria).....	72
Tabelle 4: Baukostenveränderungen für die Arbeitskategorie Elektro – Industrie	73
Tabelle 5: Baukostenveränderungen für den Umwelt- und Wasserwirtschaftsfonds,	74
Tabelle 6: Index und jährliche Entwicklung der Zeitgrundgebühr ab 1991 (Basis 2002 = 100,00) (Bundeskammer der Architekten und Ingenieurkonsulenten)	75
Tabelle 7: Anzahl der Abwasserreinigungsanlagen in Regionen, Anlagentypen, Ausbaugrößen und Kostengruppen unterteilt, für Anpassungen an den Stand der Technik.....	90
Tabelle 8: Anzahl der Abwasserreinigungsanlagen für Neubauten, unterteilt in Regionen, Anlagentypen, Ausbaugrößen und Kostengruppen	91
Tabelle 9: Übersicht der Kosten und deren Anteile an den Gesamtinvestitionskosten, aufgeteilt in Ausbaugröße, Kostengruppen und Anlagentypen (die Erläuterung folgt auf Seite 95)	93
Tabelle 10: Erläuterung zu Tabelle 9	94
Tabelle 11: Spezifischen Investitionskosten in Abhängigkeit der Ausbaugröße	103
Tabelle 12: Bestimmung eines Konfidenzintervalles für den Regressionskoeffizienten.....	106
Tabelle 13: Bestimmung eines Konfidenzintervalles für den Mittelwert unter der obigen Voraussetzung	109
Tabelle 14: Bestimmung des Konfidenzintervalles für den Mittelwert.....	110

Tabelle 15: Test der Hypothese $\beta = \beta_0$ gegen die Alternative $\beta > \beta_0$ unter der in...	112
Tabelle 16: Schema der Varianzanalyse zur Zerlegung	116
Tabelle 17: Test der Hypothese, dass die Regression linear ist, unter der.....	117
Tabelle 18: Test der Linearität der Regression.....	118
Tabelle 19: Schema der Varianzanalyse für das angewandte Beispiel	119
Tabelle 20: Spezifischen Investitionskosten in Abhängigkeit der Ausbaugröße; Beobachtungswerte, Koordinatentransformation.....	122
Tabelle 21: Spezifischen Investitionskosten in Abhängigkeit der Ausbaugröße; Nichtlineare Regression durch Linearisierung mittels Koordinatentransformation.....	123
Tabelle 22: Bestimmung des Konfidenzintervalles einer Potenzfunktion.....	125
Tabelle 23: Darstellung der Investitionskosten bei einer Ausbaugröße von 501 bis 1.000 EW im Vergleich.....	133
Tabelle 24: Größe des Betriebsgebäudes in Abhängigkeit der Ausbaugröße	137
Tabelle 25: Investitionskosten eines Betriebsgebäudes mit zugehörigem Konfidenzintervalles.....	139

16 LITERATURVERZEICHNIS

1. Abwasseremissionsverordnung für kommunales Abwasser, Verordnung: *Begrenzung von Abwasseremissionen aus Abwasserreinigungsanlagen für Siedlungsgebiete*, BGBl.Nr. 210/1996.

Abwassertechnische Vereinigung (2000): *Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen*, Arbeitsblatt ATV – DVWK – A 131, 2000.

Abwassertechnische Vereinigung e. V in St. Augustin: *Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik*, Band III, Dritte, überarbeitete Auflage: Grundlagen für Planung und Bau von Abwasserkläranlagen und mechanische Klärverfahren, Berlin/München, 1983.

Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 19 C Siedlungswasserwirtschaft: *Bericht zu 30 Jahre Förderung des Ausbaues der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung*, Graz, 2002.

Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 19A: *Merkblatt zur Variantenuntersuchung*, Version 4.0, 2002.

Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 19C, Siedlungswasserwirtschaft: *Landesdurchführungsbestimmungen für die Siedlungswasserwirtschaft*, Graz 2002.

Bohn, T.: *Wirtschaftlichkeit und Kostenplanung von kommunalen Abwasserreinigungsanlagen*, Schriftenreihe des Institutes für Baubetriebslehre der Universität Stuttgart, Bd. 34, Renningen – Malsheim: Expert, 1993.

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: *Kommunale Siedlungswasserwirtschaft*, Förderungsrichtlinien 1999 in der Fassung 2001.

Eder, P. et al., Umweltamt der Stadt Graz und Umweltschutzabteilung der Stadt Klagenfurt, Heft 8: *Rechtsaspekte, gesetzliche Randbedingungen*, 1996.

Ernst & Sohn: *Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik, Biologische – chemische und weitergehende Abwasserreinigung*, Band IV, Berlin 1985.

Hahn, H.; Trauth, R.: *Wirtschaftlichkeitsfragen in der Abwasserreinigung*, Kommissionsverlag R. Oldenbourg, 1995

Hartung, J.: *Statistik-Übungen*, 3. Auflage, R. Oldenbourg Verlag München Wien, 1996

Hartung, J.: *Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik*, 12. Auflage, R. Oldenbourg Verlag München Wien, 1999

Hellmann, L.: *Methoden der Regressionsrechnung für Analyse, Planung und Prognose*, VEB, 1976

Hosang, W.; Bischof, W.: *Abwassertechnik*, 11. Auflage, Stuttgart, 1998.

- IWAG, TU-Wien & IWGA-SIG, BOKU Wien, *Kostenrelevante Faktoren im Siedlungswasserbau*
- Kainz, H.; Kauch, E. P.; Renner, H.: *Siedlungswasserwirtschaft und Abfallwirtschaft*, 1. Auflage, Mainz Verlag, Wien, 2002.
- Kauch, E. P.; Nemecek, E. P.; Renner, H.; Schlachter, H.; Schribertschnig, W.: *Siedlungswasserbau – Abwasser- und Abfalltechnik*, 4. Auflage, Mainz Verlag, Wien, 1993.
- Kayser, R.: *Beitrag zur Berechnung des Überschussschlammanfalls beim Belebungsverfahren*, Österreichische Abwasser – Rundschau, 1971.
- Kreyszig, E.: *Statistische Methoden und ihre Anwendungen*, 7. Auflage, Vandenhoeck und Ruprecht, 1991
- Kröpfl, B., et al.: *Angewandte Statistik*, Carl Hanser Verlag München Wien, 1994
- Lindner, A.; Berchtold, W.: *Elementare statistische Methoden*, Birkhäuser Verlag Basel, 1979
- Mudrack, K.; Kunst, S.: *Biologie der Abwasserreinigung*, 3. Auflage, Stuttgart, 1991.
- ÖNORM B 1801 - 1: *Kosten im Hoch- und Tiefbau, Kostengliederung*, Mai, 1995.
- ÖNORM B 2111: *Umrechnung veränderlicher Preise von Bauleistungen*, Mai, 2000.
- Österreichische Bau – Zeitung in Zusammenarbeit mit der Bundesinnung der Baugewerbe und dem Fachverband der Bauindustrie, *Bauhandbuch*, Wien, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002.
- ÖWAV, Österreichisches Forschungsprojekt, Im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: *Benchmarking in der Siedlungswasserwirtschaft – Erfassung und Vergleich von technischen Kennzahlen in der Siedlungswasserwirtschaft*, Wien 2001.
- Österreichisches Statistisches Zentralamt: *Statistische Nachrichten*, Wien, 10/1998.
- Österreichisches Wasserrechtsgesetz 1959 (WRG 1959), BGBl.Nr. 215/1959 zuletzt geändert durch BGBl. I Nr. 109/2001.
- Österreichisches Wasserrechtsgesetz 1959 (WRG 1959), BGBl.Nr. 215/1959 zuletzt geändert durch BGBl. I Nr. 74/1997.
- Pöppinghaus, K.; Fresenius, W.; Schneider, W.: *Abwassertechnologie, Entstehung – Ableitung – Behandlung - Analytik der Abwässer*, 2. Auflage, Berlin Heidelberg, 1994.
- Reithofer, B.: *Optimierung der Teichkläranlage Wenigzell*, Diplomarbeit am Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau, Graz, 2002.
- Umweltförderungsgesetz, Stf: BGBl. 185/1993; zuletzt geändert durch BGBl. Nr. 201/1996.
- Universität für Umweltverfahrenstechnik – Universität Bremen; Das Internetportal für Wasser und Abwasser, www.wasser-wissen.de, *Tropfkörper, SBR, Pflanzenkläranlage, Pflanzenbeet*,

Schlammfäulung, Tauchtropfkörper, Tropfkörper, Belebungsbecken, Durchlaufbecken, 12.02.2003.

Verwaltung Land Steiermark, www.verwaltung.steiermark.at, *Kleinkläranlagen*, 10.01.2003; *Abwasserentsorgung FA 19A*, 18.12.2002; *Dienststelle FA 19C*, 18.12.2002; *Öffentliche Abwasserentsorgung*, 17.12.2002; *Biologische Reinigung*, 03.02.2003.

Wirtschaftskammer Österreich, www.wk.or.at, Fachverband der Bauindustrie, *Baukostenveränderungen*, Autor: Car M., 17.01.2003.

Kläranlage online, www.klaeranlage-online.de; *Belebungsbecken, Belebungsverfahren*, 16.12.2002.

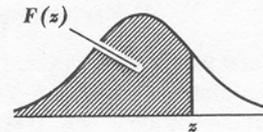
Statistik Austria, www.statistik.at, *Verbraucherpreisindex*, 20.01.2003.

Ausflugsziele, www.ausflugsziele.at, Landkarten, 02.02.2003.

17 ANHANG

8 Students *t*-Verteilung

Tafel 8. Werte von *z* zu gegebenen Werten der Verteilungsfunktion (62.3)



Beispiel: Bei 9 Freiheitsgraden ist $F(z) = 0,95$ für $z = 1,83$.

$$F(-z) = 1 - F(z)$$

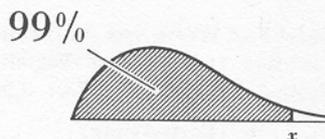
$F(z)$	Anzahl der Freiheitsgrade									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,6	0,33	0,29	0,28	0,27	0,27	0,27	0,26	0,26	0,26	0,26
0,7	0,73	0,62	0,58	0,57	0,56	0,55	0,55	0,55	0,54	0,54
0,8	1,38	1,06	0,98	0,94	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,88
0,9	3,08	1,89	1,64	1,53	1,48	1,44	1,42	1,40	1,38	1,37
0,95	6,31	2,92	2,35	2,13	2,02	1,94	1,90	1,86	1,83	1,81
0,975	12,7	4,30	3,18	2,78	2,57	2,45	2,37	2,31	2,26	2,23
0,99	31,8	6,97	4,54	3,75	3,37	3,14	3,00	2,90	2,82	2,76
0,995	63,7	9,93	5,84	4,60	4,03	3,71	3,50	3,36	3,25	3,17
0,999	318,3	22,3	10,2	7,17	5,89	5,21	4,79	4,50	4,30	4,14

$F(z)$	Anzahl der Freiheitsgrade									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,6	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
0,7	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,53	0,53	0,53	0,53
0,8	0,88	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,86	0,86	0,86	0,86
0,9	1,36	1,36	1,35	1,35	1,34	1,34	1,33	1,33	1,33	1,33
0,95	1,80	1,78	1,77	1,76	1,75	1,75	1,74	1,73	1,73	1,73
0,975	2,20	2,18	2,16	2,15	2,13	2,12	2,11	2,10	2,09	2,09
0,99	2,72	2,68	2,65	2,62	2,60	2,58	2,57	2,55	2,54	2,53
0,995	3,11	3,06	3,01	2,98	2,95	2,92	2,90	2,88	2,86	2,85
0,999	4,03	3,93	3,85	3,79	3,73	3,69	3,65	3,61	3,58	3,55

$F(z)$	Anzahl der Freiheitsgrade									
	22	24	26	28	30	40	50	100	200	∞
0,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,6	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,25	0,25	0,25
0,7	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,52
0,8	0,86	0,86	0,86	0,86	0,85	0,85	0,85	0,85	0,84	0,84
0,9	1,32	1,32	1,32	1,31	1,31	1,30	1,30	1,29	1,29	1,28
0,95	1,72	1,71	1,71	1,70	1,70	1,68	1,68	1,66	1,65	1,65
0,975	2,07	2,06	2,06	2,05	2,04	2,02	2,01	1,98	1,97	1,96
0,99	2,51	2,49	2,48	2,47	2,46	2,42	2,40	2,37	2,35	2,33
0,995	2,82	2,80	2,78	2,76	2,75	2,70	2,68	2,63	2,60	2,58
0,999	3,51	3,47	3,44	3,41	3,39	3,31	3,26	3,17	3,13	3,09

28*

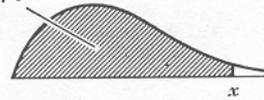
Tafel 9b. Werte von x , für die die Verteilungsfunktion (83.2) der F -Verteilung mit (m, n) Freiheitsgraden den Wert 0,99 hat



n	$m = 1$	$m = 2$	$m = 3$	$m = 4$	$m = 5$	$m = 6$	$m = 7$	$m = 8$	$m = 9$
1	4052	4999	5403	5625	5764	5859	5928	5982	6022
2	98,5	99,0	99,2	99,3	99,3	99,3	99,4	99,4	99,4
3	34,1	30,8	29,5	28,7	28,2	27,9	27,7	27,5	27,3
4	21,2	18,0	16,7	16,0	15,5	15,2	15,0	14,8	14,7
5	16,3	13,3	12,1	11,4	11,0	10,7	10,5	10,3	10,2
6	13,7	10,9	9,78	9,15	8,75	8,47	8,26	8,10	7,98
7	12,2	9,55	8,45	7,85	7,46	7,19	6,99	6,84	6,72
8	11,3	8,65	7,59	7,01	6,63	6,37	6,18	6,03	5,91
9	10,6	8,02	6,99	6,42	6,06	5,80	5,61	5,47	5,35
10	10,0	7,56	6,55	5,99	5,64	5,39	5,20	5,06	4,94
11	9,65	7,21	6,22	5,67	5,32	5,07	4,89	4,74	4,63
12	9,33	6,93	5,95	5,41	5,06	4,82	4,64	4,50	4,39
13	9,07	6,70	5,74	5,21	4,86	4,62	4,44	4,30	4,19
14	8,86	6,51	5,56	5,04	4,70	4,46	4,28	4,14	4,03
15	8,68	6,36	5,42	4,89	4,56	4,32	4,14	4,00	3,89
16	8,53	6,23	5,29	4,77	4,44	4,20	4,03	3,89	3,78
17	8,40	6,11	5,18	4,67	4,34	4,10	3,93	3,79	3,68
18	8,29	6,01	5,09	4,58	4,25	4,01	3,84	3,71	3,60
19	8,18	5,93	5,01	4,50	4,17	3,94	3,77	3,63	3,52
20	8,10	5,85	4,94	4,43	4,10	3,87	3,70	3,56	3,46
22	7,95	5,72	4,82	4,31	3,99	3,76	3,59	3,45	3,35
24	7,82	5,61	4,72	4,22	3,90	3,67	3,50	3,36	3,26
26	7,72	5,53	4,64	4,14	3,82	3,59	3,42	3,29	3,18
28	7,64	5,45	4,57	4,07	3,75	3,53	3,36	3,23	3,12
30	7,56	5,39	4,51	4,02	3,70	3,47	3,30	3,17	3,07
32	7,50	5,34	4,46	3,97	3,65	3,43	3,26	3,13	3,02
34	7,44	5,29	4,42	3,93	3,61	3,39	3,22	3,09	2,98
36	7,40	5,25	4,38	3,89	3,57	3,35	3,18	3,05	2,95
38	7,35	5,21	4,34	3,86	3,54	3,32	3,15	3,02	2,92
40	7,31	5,18	4,31	3,83	3,51	3,29	3,12	2,99	2,89
50	7,17	5,06	4,20	3,72	3,41	3,19	3,02	2,89	2,79
60	7,08	4,98	4,13	3,65	3,34	3,12	2,95	2,82	2,72
70	7,01	4,92	4,08	3,60	3,29	3,07	2,91	2,78	2,67
80	6,96	4,88	4,04	3,56	3,26	3,04	2,87	2,74	2,64
90	6,93	4,85	4,01	3,54	3,23	3,01	2,84	2,72	2,61
100	6,90	4,82	3,98	3,51	3,21	2,99	2,82	2,69	2,59
150	6,81	4,75	3,92	3,45	3,14	2,92	2,76	2,63	2,53
200	6,76	4,71	3,88	3,41	3,11	2,89	2,73	2,60	2,50
1000	6,66	4,63	3,80	3,34	3,04	2,82	2,66	2,53	2,43
∞	6,63	4,61	3,78	3,32	3,02	2,80	2,64	2,51	2,41

Tafel 9b. Werte von x , für die die Verteilungsfunktion (83.2) der F -Verteilung mit (m, n) Freiheitsgraden den Wert 0,99 hat

99%



(Fortsetzung)

n	$m = 10$	$m = 15$	$m = 20$	$m = 30$	$m = 40$	$m = 50$	$m = 100$	∞
1	6056	6157	6209	6261	6287	6300	6330	6366
2	99,4	99,4	99,4	99,5	99,5	99,5	99,5	99,5
3	27,2	26,9	26,7	26,5	26,4	26,4	26,2	26,1
4	14,5	14,2	14,0	13,8	13,7	13,7	13,6	13,5
5	10,1	9,72	9,55	9,38	9,29	9,24	9,13	9,02
6	7,87	7,56	7,40	7,23	7,14	7,09	6,99	6,88
7	6,62	6,31	6,16	5,99	5,91	5,86	5,75	5,65
8	5,81	5,52	5,36	5,20	5,12	5,07	4,96	4,86
9	5,26	4,96	4,81	4,65	4,57	4,52	4,42	4,31
10	4,85	4,56	4,41	4,25	4,17	4,12	4,01	3,91
11	4,54	4,25	4,10	3,94	3,86	3,81	3,71	3,60
12	4,30	4,01	3,86	3,70	3,62	3,57	3,47	3,36
13	4,10	3,82	3,66	3,51	3,43	3,38	3,27	3,17
14	3,94	3,66	3,51	3,35	3,27	3,22	3,11	3,00
15	3,80	3,52	3,37	3,21	3,13	3,08	2,98	2,87
16	3,69	3,41	3,26	3,10	3,02	2,97	2,86	2,75
17	3,59	3,31	3,16	3,00	2,92	2,87	2,76	2,65
18	3,51	3,23	3,08	2,92	2,84	2,78	2,68	2,57
19	3,43	3,15	3,00	2,84	2,76	2,71	2,60	2,49
20	3,37	3,09	2,94	2,78	2,69	2,64	2,54	2,42
22	3,26	2,98	2,83	2,67	2,58	2,53	2,42	2,31
24	3,17	2,89	2,74	2,58	2,49	2,44	2,33	2,21
26	3,09	2,82	2,66	2,50	2,42	2,36	2,25	2,13
28	3,03	2,75	2,60	2,44	2,35	2,30	2,19	2,06
30	2,98	2,70	2,55	2,39	2,30	2,25	2,13	2,01
32	2,93	2,66	2,50	2,34	2,25	2,20	2,08	1,96
34	2,89	2,62	2,46	2,30	2,21	2,16	2,04	1,91
36	2,86	2,58	2,43	2,26	2,17	2,12	2,00	1,87
38	2,83	2,55	2,40	2,23	2,14	2,09	1,97	1,84
40	2,80	2,52	2,37	2,20	2,11	2,06	1,94	1,80
50	2,70	2,42	2,27	2,10	2,01	1,95	1,82	1,68
60	2,63	2,35	2,20	2,03	1,94	1,88	1,75	1,60
70	2,59	2,31	2,15	1,98	1,89	1,83	1,70	1,54
80	2,55	2,27	2,12	1,94	1,85	1,79	1,66	1,49
90	2,52	2,24	2,09	1,92	1,82	1,76	1,62	1,46
100	2,50	2,22	2,07	1,89	1,80	1,73	1,60	1,43
150	2,44	2,16	2,00	1,83	1,73	1,66	1,52	1,33
200	2,41	2,13	1,97	1,79	1,69	1,63	1,48	1,28
1000	2,34	2,06	1,90	1,72	1,61	1,54	1,38	1,11
∞	2,32	2,04	1,88	1,70	1,59	1,52	1,36	1,00

Gesamtinvestitionskosten von kommunalen Kläranlagen der drei Regionen mit einer Ausbaugröße von 501 bis 1.000 EW

