

Der Einfluss von Misch- und Trennkanalisation auf den Vorfluter

1. Einleitung

Ein geschichtlicher Rückblick zeigt, dass in den deutschen Grossstädten in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts die ersten Entwässerungsentwürfe aufgestellt wurden [10]. Schmutzwasser und Regenwasser wurden gemeinsam in einem Kanal abgeleitet, d.h., die Städte wurden im Mischverfahren entwässert. Erst Anfang dieses Jahrhunderts kam das Trennverfahren in Deutschland auf. So führte Elberfeld-Barmen (Wuppertal) in den Jahren 1902-1907 als erste Grossstadt zum überwiegenden Teil das Trennverfahren durch [12].

Im Jahre 1933 betrug im damaligen deutschen Reichsgebiet das Verhältnis der Orte, die im Trennverfahren entwässert werden, zu den Orten mit Mischverfahren 1:3, das Verhältnis der entsprechend angeschlossenen Einwohner sogar 1:7 [3]. In der Folgezeit vertreten viele deutsche Veröffentlichungen die Meinung, dass das Mischverfahren dem Trennverfahren, auch im Hinblick auf die Reinhaltung der Gewässer, überlegen sei [6, 19, 34]. Die gegenwärtige Meinung in der Bundesrepublik Deutschland ist in dem KfK-ATV-Arbeitsblatt A 105 „Hinweise für die Abwasserableitung im Hinblick auf die Reinhaltung der Gewässer, Mischverfahren/Trennverfahren“ [22] niedergelegt. Nach diesem Arbeitsblatt können nach den bisherigen Erfahrungen beide Verfahren mit Erfolg angewandt werden, wenn bestimmte Voraussetzungen erfüllt sind und auch erfüllt bleiben.

duur. Of een overstorting vervuiling van het open water zal geven zal in hoge mate afhankelijk zijn van het feit of gedurende de overstorting reeds eerder afgezet rioolslib weer in beweging wordt gebracht. Dat geschiedt door het bereiken van een zekere schuifspanning langs de omtrek van de rioolbuis en deze schuifspanning kan voor elke riolering worden omgerekend tot een afvoerintensiteit in l/sec/ha. Bovendien wordt de mate van opwoeling bepaald door de duur van de overschrijding van deze grenstoestand. Zo zou de uitgebreide definitie van een overstorting de overschrijding van bepaalde waarden van de overstortingsintensiteit en de duur daarvan kunnen bevatten.

Een ander probleem is, dat het aantal overstortingen beïnvloed wordt door de variatie van de overcapaciteit gedurende het etmaal. Hiertoe zou het tijdstip van de overstortingen binnen het etmaal in de beschouwingen moeten worden betrokken.

De overstortingshoeveelheid (grootheid 5 van tabel I) wordt in afb. 10 gegeven in de vorm van de frekwentieverdeling per jaar en per seizoen, maar nog slechts voor de combinatie van 7 mm berging en een overcapaciteit van 0,7 mm/uur. Andere combinaties moeten nog worden onderzocht.

Overstortingshoeveelheden in korte tijden of gehele uitloophydrogrammen zijn nog niet bestudeerd. Uitloophydrogrammen zijn ook nodig voor de berekening van

In England wurde in den letzten Jahren für viele neue Entwässerungsnetze das Trennverfahren gewählt. Man ist sich jedoch darüber im klaren, dass auch in Zukunft vorhandene und neue Mischsysteme hingenommen werden müssen.

In USA werden gegenwärtig über 80% der kleinen Gemeinden, aber nur die Hälfte der Grossstädte im Trennverfahren entwässert [37]. Der derzeitige Trend führt zu völliger Trennung von Schmutz- und Regenwasser bei Planung und Bau von neuen Kanalisationsnetzen. Mischsysteme werden normalerweise nicht mehr genehmigt [36, 37]. Diese Entwicklung ist leicht einzusehen, wenn man weiss, dass in USA die Abfangsammler im Mischverfahren allgemein nur für die maximale oder die 2- bis 3-fache mittlere Trochenwettermenge bemessen wurden [35, 8]. Aus diesem Grunde suchen in USA auch nahezu alle grossen Städte mit Mischverfahren nach Lösungen, ihr Entwässerungsnetz auf das Trennverfahren umzustellen. Für Chicago sieht ein Entwurf aus dem Jahre 1966 die Reinigung der gesamten Mischwasserabflüsse vor. Hierbei soll das Ueberlaufwasser der Regenüberläufe in einem Speichersystem aus Stollen und Kammern in einer Tiefe von 210 bis 240 m gesammelt und nach dem Regen wieder an die Oberfläche gepumpt und gereinigt werden [13]. Die Diskussion zu dem Vortrag von Weibel [37] auf der III. Internationalen Abwasserkonferenz in München

bergsloten (grootheid 10). De vraag rijst hier of in plaats van dergelijke complete uitloophydrogrammen niet eenvoudigheidshalve omhullenden kunnen worden gebruikt zonder te grote onnauwkeurigheden te begaan bij de berekening van open waterlopen, waarop de overstorten lozen.

De duur van overstortingen (grootheid 6) is nog niet beschouwd. Dit kan echter zonder bezwaar geschieden als dit van belang is.

Literatuur

1. Braak, C.: *Het klimaat van Nederland*, A. Neerslag, Verhandeling KNMI no. 34a, 1933 (krommen van Braak).
2. Oostwoud Wijdenes, J. M., J. W.: *De specifieke regenintensiteit voor Nederland*. Publieke Werken no. 11, p. 145-147, 1941 (krommen van Reinhold).
3. Levert, C.: *Regens, een statistische studie*. Verhandeling KNMI no. 62 p. 135-136, 1954 (krommen van Levert).
4. Ribbius, F. J. en Kragt, G.: *Het verband tussen riolering en zuivering*. Publieke Werken no. 10 p. 120-123, 1954.
5. KNMI: *Detailanalyse van pluviogrammen*, A. Frequentieverdelingen van de hoeveelheden neerslag van 5 minuten tot 660 minuten, 1968.
6. Herik, A. G. van der en Kooistra, M.: *5-minuten regens*, H₂O, no. 21, p. 538-544, 1970.
7. Rapport van de Commissie Riolering en Watervrontreiniging van de afdeling voor Gezondheidstechniek van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs. H₂O no. 10 p. 199-214 en no. 12 p. 240-260, 1972.

zeigte, dass auch heute noch überall auf der Welt neue Entwässerungsnetze nach dem Mischverfahren geplant und gebaut werden, und sei es nur aus wirtschaftlichen Gründen.

Zunächst müssen wir uns mit den Verschmutzungen der einzelnen Abflüsse beschäftigen.

2. Verschmutzungen der einzelnen Abflüsse

In diesem Abschnitt greife ich auf in der Praxis angewandte Werte und aus der Literatur bekannte Untersuchungsergebnisse der letzten Jahre zurück, die über die Verschmutzungen von Schmutz-, Regen- und Mischwasserabflüssen Aussagen machen.

2.1. Schmutzwasser

In jüngster Zeit durchgeführte Untersuchungen von Bucksteeg [7] ergaben für Rohabwasser einem Einwohnerwert von 56 g BSB₅/E.d. der kaum von dem von Imhoff [15] genannten Mittelwert von 54 g BSB₅/E.d. abweicht. Jedoch stellte Bucksteeg fest, dass der Anteil der nicht absetzbaren und gelösten Stoffe am Gesamt-BSB₅ hauptsächlich infolge Aenderungen in den Lebensgewohnheiten grösser geworden ist.

Von dem Water Pollution Research in Stevenage und dem Institute of Water Pollution Control wurden in England neue Ermittlungen durchgeführt [4]. Damit dürfte auch zukünftig die Annahme einer Schmutzmenge, ausgedrückt in 54 g BSB₅/E.d., wie bisher ein brauchbares Mittel für westeuropäische Verhältnisse sein [16]. Dieser Wert von 54 g BSB₅/E.d. kommt offenbar auch heute noch den wirklichen Verhältnissen am nächsten. Er ändert sich also nur wenig, während der Wasserverbrauch je nach Lebensstandard und Ortsgrösse schwankt, so dass sich die Konzentrationen an organischen Schmutzstoffen erhöhen oder erniedrigen. In USA, Schweden und in der Schweiz wird der BSB₅-Wert von 54 g/E.d. nur beim Trennverfahren angewandt, beim Mischverfahren wird mit 74 g/E.d. gerechnet [15].

Die Zugrundelegung verschiedener Werte für das Trennverfahren und für das Mischverfahren ist berechtigt, weil beim Mischverfahren gegenüber dem Trennverfahren im Jahresdurchschnitt zu den normalen Schmutzmengen der Trockenwettermenge noch die Schmutzmengen der Regenwassermengen hinzukommen, die mit dem Mischwasser zur Kläranlage abfließen. Bei Trockenwetter ist deshalb mit dem Wert von 54 g/E.d. zu rechnen und bei Regenwetter mit einem höheren Wert, also z.B. 74 g/E.d., das sind 37 % mehr. Das würde bedeuten, dass die Schmutzmengen des Regenwassers, das zur Kläranlage gelangt, im Durchschnitt 20 g BSB₅/E.d. ausmachen würden.

2.2. Industrieabwasser

Nach Imhoff [15] ist in Deutschland der Mittelwert von 54 g BSB₅/E.d. auch dann gültig, wenn die Abwässer der Klein-Industrie, wie sie in jeder Stadt vorhanden sind, hinzugezählt werden.

Städtisches Abwasser enthält aber heute häufig darüber hinaus gewerbliches und industrielles Abwasser, das nicht mehr in dem BSB₅-Mittelwert von 54 g/E.d. enthalten und in vielen Fällen von ausschlaggebender Bedeutung ist. Bei dem Entwurf einer Abwasserreinigungsanlage ist es daher unbedingt notwendig, die Abwässer von Gewerbe- und Industriebetrieben gesondert zu erfassen und die entsprechenden Einwohner-

gleichwerte zu ermitteln, die der natürlichen hinzuzurechnen sind.

Ebenso wichtig wie die Einwohnergleichwerte sind Feststellung und Berücksichtigung von Eigenschaften und toxischen und anderen Inhaltsstoffen der industriellen Abwässer, die Lebewesen im Vorfluter vernichten, biologische Abbauprozesse hemmen oder unterbinden oder auch allgemeine Belästigungen verursachen können [18].

Industrielle Abwässer sind in Menge und Zusammensetzung des Abwassers je nach Produktion und Grösse der Betriebe sehr unterschiedlich, so dass allgemeine Angaben nur teilweise möglich sind. Umso wichtiger ist es, vor einer Entwurfs-Bearbeitung möglichst viele Abwasseruntersuchungen durchzuführen.

2.3. Regenwasser

Beim Regenwasser interessiert in erster Linie die Verschmutzung von Regenwasserabflüssen innerhalb bebauter Gebiete, d.h. der Abflüsse, die in die Entwässerungsleitungen gelangen. Nach Imhoff [15] ist „das Regenwasser von städtischen Strassen in den ersten 10 bis 15 min ebenso verschmutzt wie mittleres Abwasser und nach 20 bis 30 min noch so wie dünnes Abwasser und immer noch faulfähig.“ Die Veröffentlichungen, die von Imhoff für seine Aussage herangezogen werden [5, 14, 29], bzw. die in diesen Literaturquellen ausgewerteten Untersuchungsergebnisse liegen jedoch schon Jahrzehnte zurück. Durch das Aussterben der Pferdefuhrwerke und die nahezu vollkommene Motorisierung hat sich aber der Verkehr auf den Strassen grundlegend geändert. Auch haben sich heute in den Städten Befestigung und Reinigung der Strassen wesentlich verbessert, Pflasterstrassen sind kaum mehr anzutreffen. Deshalb können diese Zahlen nicht mehr als zutreffend für die heutigen Verhältnisse angesehen werden.

Die Untersuchungen von Oxhey/England 1953 - 1954, die über einen Zeitraum von einem Jahr durchgeführt wurden, zeigten, dass der mittlere BSB₅ des gesamten Regenwasserabflusses während des ersten Abflusses und 78 % des mittleren BSB₅ des ersten Abflusses jedes einzelnen Regens keine Werte von 20 mg/l erreichten [38].

In Europa und USA wurden in den letzten Jahren die Verschmutzung von städtischen Regenwasserabflüssen, auch über längere Zeiträume, untersucht. Eine Auswertung veröffentlichter Messergebnisse (Tabelle 1 und 2) ergibt, dass für die Verschmutzung von städtischen Regenwasserabflüssen folgende Mittelwerte angegeben werden können:

BSB ₅	15 bis 30 mg/l
Schwebestoffe	200 bis 350 mg/l

Gleichzeitig lassen die Tabellen 1 und 2 aber auch erkennen, dass die maximalen Verschmutzungen beim BSB₅ und noch mehr bei den Schwebestoffen ungeheuer hohe Werte annehmen können. Der Anteil an organischen Stoffen zu den Gesamt-Schwebestoffen ist jedoch bei Regenwasserabflüssen wesentlich geringer als bei Schmutzwasserabflüssen.

Die grossen Abweichungen der Maximalwerte, aber auch der Minimalwerte, von den Mittelwerten finden ihre Erklärung in dem Einfluss der Regendauer und dem Einfluss der Trockenwetterdauer zwischen zwei Regenfällen.

TABELLE 1 - Verschmutzung von städtischen Regenwasserabflüssen in Europa und Afrika.

Ort	Jahr der Untersuchung	BSB ₅ in mg/l			Schwebestoffe in mg/l			Bemerkungen	Quelle
		Min.	Max.	Mittel	Min.	Max.	Mittel		
Westhofen (Deutschland)	1964	11	89	18				Autobahn	17
Wien (Österreich)	1961	(2,2) (9)	(12) (40)	15 (2— 5) (15—25)				sauberes Siedlungsgeb. „ , Dächer „ , Strassen	24
		(13) (9)	(31) (99)	30 (10—15) (30—50)				dicht besiedeltes Grossstadtgebiet „ , Dächer „ , Strassen	
		26	30					Ausmündungen von Regenwasserkanälen (Trennsystem)	
Oxhey (England)	1953-54		100	20		2.045	358		37
Stockholm (Schweden)	1945-48		80	17				Strassen- und Parkflächen	zit.b. 36
Moskau (USSR)	1936	18	285		1.000	3.500			zit.b. 35/36
Leningrad (USSR)	1948-50		36			14.541		Pflasterstrassen	zit.b. 36
Pretoria (Süd-Afrika)				30				Wohn-, Park-, Schul- und Sportflächen	zit.b. 36
				34				Geschäfts- u. Wohnfl.	

TABELLE 2 - Verschmutzung von städtischen Regenwasserabflüssen in USA.

Ort	Jahr der Untersuchung	BSB ₅ in mg/l			Schwebestoffe in mg/l			Bemerkungen	Quelle
		Min.	Max.	Mittel	Min.	Max.	Mittel		
Cincinnati	VII-- IX 1962			30			180		36
	X--XII 1962			28			160		
	I-- III 1963			12			260		
	IV-- VI 1963			19			250		
	VII-- IX 1963			15			190		
	1962--63	2	84	19	5	1.200	210		
Cincinnati	1962--64	1	173	17	5	1.200	227	Wohn- und Geschäftsflächen	37
	19.8.1965			25			231	Einzelregen	
Detroit	22.3.1949	96	234					Innenstadt Einzelregen	33
Detroit	19.9.1960						213	Einzelregen	32
	19.9.1960						102	Einzelregen	
East Bay Metropolitan Utility District		3	700	87	16	4.400	613		35
Washington	1959--63	6	625	126	26	36.250	2.100	Strassenflächen	35
Los Angeles Country	1932--34			6,9			7.330		zit.b.
	1957--58			8,2			1.534		35
	1962--63			16,1			2.909		
	allgemein		70	10--20					

2.3.1. Einfluss der Regendauer

Bei den meisten Regen ist der erste Abfluss stärker verschmutzt als die nachfolgenden Abflüsse. Ganz allgemein nehmen die Verschmutzungen von Regenwasserabflüssen mit der Dauer der Regen ab.

Die Untersuchungen in Oxhey/England [38] ergaben ebenfalls, dass der erste Abfluss wesentlich stärker verschmutzt war als der nachfolgende Regenwasserabfluss. 20 bis 30 Minuten nach Beginn der meisten Regen hatte die Verschmutzung ihren Höchstwert überschritten und fiel ab. Zwischen 43 und 50 % der

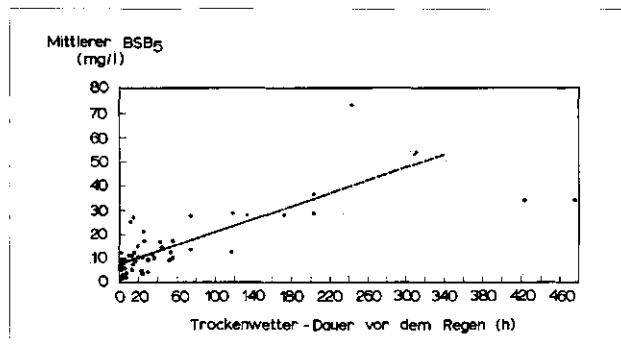
Verschmutzung und 29 % der gesamten gesammelten Regenwassermenge floss in den ersten 30 Minuten ab.

2.3.2. Einfluss der Trockenwetterdauer zwischen zwei Regenfällen

Selbstverständlich muss auch die Dauer des Trockenwetters zwischen zwei Regenfällen einen Einfluss auf die Verschmutzung des folgenden Regenwasserabflusses besitzen. Bei den Messungen in Oxhey/England [38] wurde festgestellt, dass dort der mittlere BSB₅ von 8 mg/l für Regenwasserabflüsse um je 3 mg/l für jeden

Trockenwetter-Tag anstieg, der vor Regenbeginn vorhanden war. Dieser Faktor wird wesentlich von der Häufigkeit und Gründlichkeit der Strassenreinigung mitbestimmt, wird also in den einzelnen Städten sehr verschieden sein.

Abb. 1 - Einfluss des Trockenwetters auf die Verschmutzung von Regenwasserabflüssen bei Messungen in Oxhey/England [38].



2.3.3. Schwebstoff-Gehalt

Es ist leicht einzusehen, dass die Regenwasserabflüsse einen hohen Gehalt an Schwebstoffen haben. Dieser Schwebstoff-Gehalt ist aber nur dann richtig zu beurteilen, wenn der Anteil an organischen Stoffen bekannt ist. Die Untersuchungen von Oxhey/England und Cincinnati/USA zeigen, dass die von dem Regenwasser mitgeführten Schwebstoffe hauptsächlich aus anorganischen Stoffen bestehen und sich darin grundsätzlich von den Schwebstoffen der Schmutzwässer, die überwiegend aus organischer Substanz zusammengesetzt sind, unterscheiden. Das Verhältnis der organischen Stoffe zu den Gesamt-Schwebstoffen betrug beim Regenwasserabfluss in Oxhey i.M. 27 %, in Cincinnati i.M. 25 %, beim Schmutzwasserabfluss in Oxhey i.M. 40 - 60 % und in Cincinnati i.M. 65 % [36, 37, 38]. Die Schwebstoffe können aber schädliche Stoffe enthalten, die im häuslichen Abwasser nicht vorhanden sind.

2.3.4. Mineralöle, Reifen- und Schwarzdeckenabrieb

In Deutschland nehmen von Jahr zu Jahr die Verkehrsflächen und die Verkehrsdichte zu. Damit wachsen die auf den Verkehrsflächen sich bildenden Schmutzstoffe, die sich vor allem aus den Abnutzungsprodukten der Strassenbefestigung, aus dem Abrieb der Gummiräder der Kraftfahrzeuge und aus auf die Strasse gebrauchten Unrat aller Art zusammensetzen. Der grösste Teil dieser Mengen des Strassenschmutzes wird durch die heute in den Städten weitgehend mechanisierte Strassenreinigung beseitigt. Je besser und je häufiger die Strassenreinigung durchgeführt wird, umso weniger Schmutzstoffe gelangen mit dem Regenwasserabfluss in die Entwässerungsleitungen. Die Mengen des Strassenkehrichs betragen etwa 50 g/E.d, die zu etwa 20% aus organischer Substanz bestehen. Die abgeschwemmten Mineralöle können Grössen annehmen, die für die Reinhaltung der Gewässer von Bedeutung werden können. Zum Beispiel kann der Regenwasserabfluss von Autobahnen einen erheblichen Gehalt an petrolätherlöslichen Stoffen (Öl und Gummiabrieb) aufweisen, so dass der Einbau von Ölabscheidern notwendig wird [17].

Knorr und Borneff [20] stellten bei Untersuchungen fest, dass das Wasser des Rheins und des Bodensees

sowie seiner Zuflüsse cancerogene Stoffe enthält. Erste Versuchsergebnisse liessen erkennen, dass wahrscheinlich der Staub von Teer- und Asphaltstrassen zu den wichtigen Quellen dieser cancerogenen Stoffe zählt.

So bringen die eingangs erwähnten Vorteile für die Verschmutzung des Regenwasserabflusses — statt Pferdefuhrwerke Motorfahrzeuge, statt Pflasterstrassen moderne Strassenbefestigungen — auch neue Probleme mit sich. Zunächst sind jedoch auf diesem Gebiet eingehendere Untersuchungen notwendig, bevor man sich Lösungsmöglichkeiten für diese neuen Probleme überlegen muss.

2.4. Mischwasser

Auch bei Berücksichtigung der genannten Einflüsse auf die Verschmutzung der Regenwasserabflüsse lässt sich durch einfache Addition von Schmutz- und Regenwasserabflüssen nicht die Verschmutzung von Mischwasserabflüssen ermitteln.

2.4.1. Schmutzstoff-Ablagerungen bei Trockenwetter

Kanalisationsleitungen des Mischverfahrens werden für die Summe von Schmutz- und Regenwasserabflüssen bemessen. Da sich diese beiden Abflussmengen im allgemeinen in Deutschland etwa wie 1:80 verhalten [15], treten häufig in den Rohrleitungen bei Trockenwetter infolge geringer Füllhöhe und geringer Fließgeschwindigkeit Schmutzablagerungen auf. Die Untersuchungen in Stuttgart-Büsnau bewiesen eindeutig, dass entgegen der allgemeinen Ansicht auch in Kanalnetzen mit grossem Gefälle umfangreiche Ablagerungen auftreten können [21]. Der erste Mischwasser-Abfluss spült die Leitungen durch, d.h., die abgelagerten Schmutzstoffe werden aufgewirbelt und mitgerissen. Somit ergibt sich eine wesentlich grössere Verschmutzung des Mischwasserabflusses als sich theoretisch aus den Schmutz- und Regenwasserabflüssen ermitteln lässt.

In der Tabelle 3 sind aus der Literatur bekannte Untersuchungsergebnisse über die Verschmutzung von städtischen Mischwasserabflüssen, die über Regenüberläufe abfliessen, zusammengestellt worden.

In Northampton ergaben sich folgende Untersuchungsergebnisse [11]: Zunächst einmal konnten die vorhandenen Schmutzstoff-Ablagerungen in den Leitungen und das Anwachsen der Verschmutzung infolge Spülwirkung bei Vergrösserung der Abflussmenge nachgewiesen werden. Die Versuche wurden bei Trockenwetter durch Zugabe von sauberem Wasser zu einem Zeitpunkt durchgeführt, der für Abwassermenge und Verschmutzung geringste Werte erwarten liess. Die Abflussmenge wurde zunächst auf etwa die 7-fache und später auf etwa die 17-fache zur Zeit des Versuchs vorhandene Trockenwettermenge erhöht. 3 Minuten nach Beginn des Mischwasserabflusses stieg der Schwebstoff-Gehalt von 100 auf 7500 mg/l, fiel nach weiteren 5 Minuten jedoch wieder auf 1000 mg/l. Die spätere Erhöhung der Wassermenge bewirkte nur einen leichten, kurzen Anstieg des fallenden Schwebstoff-Gehaltes.

Neben dieser mengenmässig kontrollierten Reinwasserzugabe wurden in Northampton 1960 - 1961 weitere 13 Untersuchungen durchgeführt, wo unkontrolliert grössere Mengen von sauberem Wasser dem Schmutzwasser zugeführt wurden. Die bei Trockenwetter gemessenen Werte müssten sich theoretisch durch Zugabe von Rein-

TABELLE 3 - Verschmutzung von städtischen Mischwasserabflüssen in USA.

Ort	Jahr der Untersuchung	BSB ₅ in mg/l			Schwebstoffe in mg/l			Bemerkungen	Quelle
		Min.	Max.	Mittel	Min.	Max.	Mittel		
East Bay Metropolitan Utility District		13	153	59	60	1.120	203	Ueberlaufwasser	35
Chicago				20—25				Ueberläufe von mehr als 4 Stunden Dauer	zit.b. 13
Detroit	1945—48			50			250	Ueberlaufwasser nach Ueber-schreitung der Verdünnung von 2 bis 2,5 Q _{tr}	33
Buffalo				100 121			544 436	Bird Ave. Baily Ave.	35

wasser infolge der eintretenden Verdünnung merklich erniedrigen. Statt dessen wurde bei allen Versuchen ein bedeutender Anstieg von BSB₅- und Schwebstoff-Konzentration gemessen, der sich nur durch das Vorhandensein von Schmutzstoff-Ablagerungen und deren Aufwirbeln infolge Vergrößerung der Fließgeschwindigkeit und Steigerung der Füllhöhe mit Zunahme der Abflussmenge erklären lässt.

Es interessieren vor allem die Fragen, wie sich die Schmutzstoff-Ablagerungen vermeiden lassen, und wenn sie auftreten, wie sich beseitigen lassen, ohne den Vorfluter allzu sehr zu belasten, sowie Mengenangaben über Ablagerungen.

2.4.1.1. Fließgeschwindigkeit und Füllhöhe

Die Fließgeschwindigkeit des Trockenwetterabflusses muss mindestens 0,4 bis 0,6 m/s [1, 15, 27] betragen, wenn die mitgeführten Sinkstoffe noch abgeschwemmt werden und sich nicht auf der Kanalsole ablagern sollen.

Ebenso wichtig wie die minimale Fließgeschwindigkeit ist die minimal einzuhaltende Füllhöhe in den Entwässerungsleitungen bei Trockenwetter. Ein Abschwemmen der Schmutzstoffe wird gewährleistet, wenn die Füllhöhe Werte >2 bis 3 cm [27] erreicht.

Das Gefälle für Mischwasserkanäle ist also nach Möglichkeit bei der Planung so festzulegen, dass die Minimalwerte für Fließgeschwindigkeit und Füllhöhe für die geringe Abwassermenge des Trockenwetterabflusses eingehalten werden. Als kleinstes Kanalprofil im Mischverfahren werden in der Bundesrepublik aus Reinigungsgründen für die Kreisform Mindestdurchmesser von 25 und 30 cm gefordert [23]. Dadurch können, besonders in den Anfangsstrecken des Entwässerungsnetzes, oft die geforderten Minimalwerte nicht eingehalten werden.

2.4.1.2. Künstliche Spülung

Während für Schmutzwasserleitungen im Trennverfahren, die unzureichende Gefälle aufweisen, Spüleinrichtungen vorgesehen werden, überlässt man bei Mischwasserleitungen im allgemeinen den natürlichen Niederschlägen die Aufgabe der Spülung. Nach Lautrich [26] ist für eine Spülkraft bei Regenwetter nicht der Berechnungsregen, sondern etwa der 100 Minutenregen ausschlaggebend, der sich innerhalb eines Jahres etwa 40 mal einstellt. Krauth [21] kam aufgrund seiner Versuche in Stuttgart-Büsnau zu dem Schluss, dass — abgesehen

von einem Teil der Endstränge — ein Abfluss grösser als 10 l/s.ha, bezogen auf die undurchlässige Fläche des Einzugsgebietes, der im Jahr ca. 100 mal während 10 Minuten auftritt, bei Fließgeschwindigkeiten von 0,4 bis 0,6 m/s das gesamte Kanalnetz freispült.

Künstliche Spülungen können natürlich auch bei Mischwasserleitungen vorgenommen werden. Die Abflüsse von geringen Niederschlägen besitzen oft keine ausreichende Spülwirkung, besonders dann, wenn die Schmutzstoff-Ablagerungen sehr fest liegen.

In der Literatur finden sich leider keine Angaben über zeitliche Abstände von durchgeführten Spülungen und deren Wirkungen auf die Ablagerungen in Mischwasserkanälen. Es steht fest, dass mit zunehmender Dauer einer Trockenwetterperiode die Schmutzstoff-Ablagerungen anwachsen. Bei längeren Beobachtungen und Messungen müssten sich hieraus Angaben ableiten lassen, innerhalb welcher Zeitabstände künstliche Spülungen angebracht wären, um die Schmutzstoff-Ablagerungen möglichst bei Trockenwetter zur Kläranlage zu leiten. Damit würde die hohe Verschmutzung des ersten Abflusses nach Regenbeginn um die Ablagerungen in den Kanälen ganz oder teilweise verringert.

2.4.1.3. Mengenangaben über Ablagerungen

In Northampton wurden zweijährige Messungen über die Ablagerungen bei Trockenwetter durchgeführt. Die beim Mischwasserabfluss zusätzlich aufgetretenen Verschmutzungsmengen wurden rückwirkend auf die Trockenwettertage einer Messperiode aufgeteilt. Dabei wurde vorausgesetzt, dass der Oberflächenabfluss keine Schmutzstoffe mit sich führte.

Als Mittelwert für die Ablagerungen von Feststoffen werden für Northampton rd. 15 g/m Kanalleitung und Tag (bei Trockenwetter) angegeben [11]. Da sich im untersuchten Entwässerungsgebiet von Northampton ein Wert von 1,5 m Kanallänge/E ergibt, würden sich bei Trockenwetter

$$15 \cdot 1,5 = 22,5 \text{ g Feststoffe/E.d}$$

absetzen. Nach Imhoff [15] sind im häuslichen Abwasser 60 g absetzbare Schwebstoffe/E.d vorhanden. Es würden sich also bei Trockenwetter in den Kanalisationsleitungen von Northampton

$$\frac{22,5}{60} \cdot 100 = 37,5 \%$$

der absetzbaren Schwebstoffe ablagern. Für Northamp-

ton wird der Wert für Schwebestoffe mit 32 % angegeben. Ferner werden folgende Angaben über Ablagerungen bei Trockenwetter gemacht: BSB₅ 10 %, KMnO₄ 18 % und Ammoniak-Stickstoff 0,3 % [11]. Die Zunahme von Ammoniak-Stickstoff erklärt sich durch den Abbau und das Aufwirbeln der abgelagerten organischen Stoffe.

Die Untersuchungen in Stuttgart-Büsnau [21] ergeben eine spezifische Ablagerungsrate von 14,4 9 abfiltrierbarer Stoffe je m Kanal und je Tag Ablagerungsdauer. Es zeigt sich, dass die relative Ablagerungsrate mit steigender Ablagerungsdauer abnimmt, die Ablagerungsmenge jedoch ständig zunimmt. Die Messungen von Stuttgart-Büsnau und die Untersuchungsergebnisse von Northampton stimmen also weitgehend bezüglich der Ablagerungsmengen überein, obwohl das mittlere Gefälle in Stuttgart-Büsnau um rund 100 % über dem Durchschnittswert von Northampton liegt.

Munz [30] greift auch auf die Werte von Northampton zurück, berücksichtigt jedoch die Verschmutzung des Regenwasserabflusses und kommt zu folgenden Annahmen über den Ablagerungsanteil an einem durchschnittlichen Tag während des Trockenwetters: bei einer Besiedlung von 40 E/ha für den BSB₅ 10 % und für die absetzbaren Stoffe 30 %, bei einer Besiedlungsdichte von 100 E/ha für den BSB₅ 8 % und für die absetzbaren Stoffe 25 %.

2.4.2. Einfluss der Regendauer

Da die Verschmutzung bei Regenwasserabflüssen mit Zunahme der seit Regenbeginn verflossenen Zeit geringer wird, muss sich diese Tatsache auch bei Mischwasserabflüssen einstellen. Ergebnisse der Untersuchungen von Northampton bestätigen diese Aussage. Die Untersuchungen in Stuttgart-Büsnau [21] ergaben, dass nicht nur die BSB₅-Konzentration, sondern auch die BSB₅-Fracht mit zunehmender Abflussdauer stark abnimmt. Während der ersten 12 Minuten des Regenabflusses kommen 41,5 % und innerhalb der ersten 33

Minuten 67,0 % der BSB₅-Fracht am Kanalende an. Bei den abfiltrierbaren Stoffen zeigt sich der Einfluss der Abflussdauer noch deutlicher. In den ersten 12 Minuten fließen 53,2 % und während der ersten 33 Minuten 82,6 % der Gesamtfracht ab.

2.4.3. Einfluss der Trockenwetterdauer zwischen zwei Regenfällen

Ebenfalls muss auch der Einfluss der Trockenwetterdauer zwischen zwei Regenfällen auf die Verschmutzung des folgenden Regenwasserabflusses entsprechend auf die Verschmutzung von Mischwasserabflüssen übertragbar sein. Untersuchungsergebnisse hierzu liegen vor (siehe Tabelle 4).

TABELLE 4 - Einfluss des Trockenwetters auf die Verschmutzung von Mischwasserabflüssen [9].

Trockenwetterdauer zwischen aufeinanderfolgenden Regen	BSB ₅ in mg/l			Schwebestoffe in mg/l		
	Northampton	Bradford	Brig-house	Northampton	Bradford	Brig-house
1 Stunde	160	40	70	400	300	400
12 Stunden	280	50	120	700	260	700
5 Tage	600	60	180	1800	330	1000

2.4.4. Verschmutzung in Abhängigkeit des Mischverhältnisses

Für die Gewässerverschmutzung durch Regenüberläufe ist die Verschmutzung der Mischwasserabflüsse in Funktion des Mischverhältnisses, d.h. des Vielfachen der Trockenwettermenge, interessant. In Abb. 3 sind Mittelwerte der Untersuchungsergebnisse von Northampton aufgetragen.

Abb. 3 - Mittelwerte verschiedener Inhaltsstoffe des Mischwasserabflusses Northampton in Abhängigkeit von der Abflussmenge (Untersuchungen Febr. 1960 bis Jan. 1962).

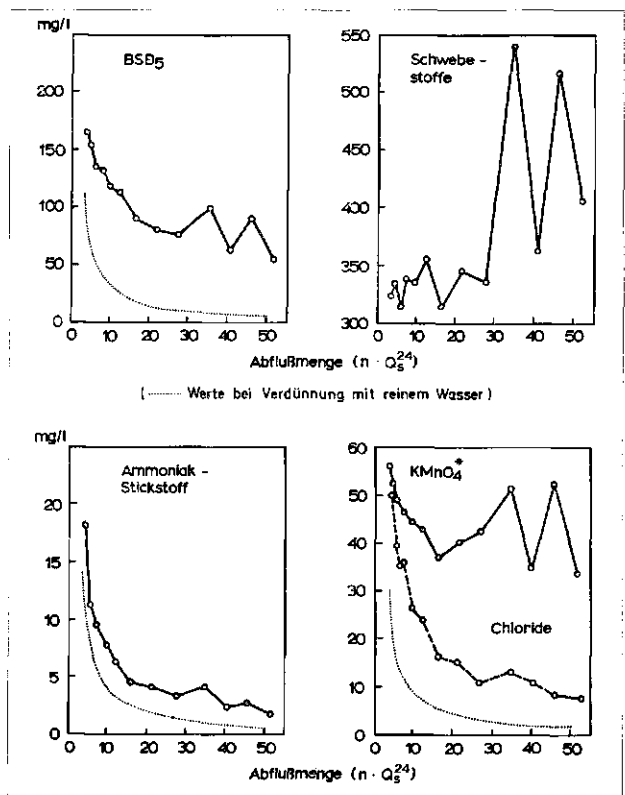
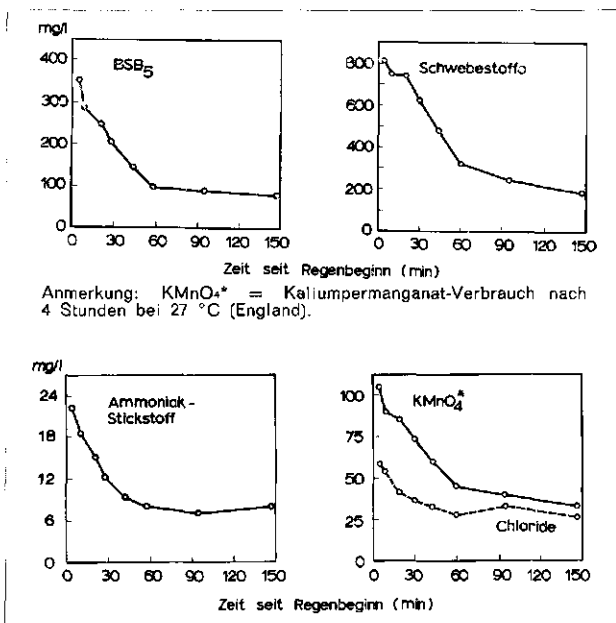


Abb. 2 - Mittelwerte verschiedener Inhaltsstoffe des Mischwasserabflusses Northampton in Abhängigkeit von der Zeit seit Regenbeginn (Untersuchungen Febr. 1960 bis Jan. 1962).



2.4.5. Zusammenfassung

Ganz allgemein lässt sich sagen, dass der erste Mischwasserabfluss die Verschmutzung des normalen Schmutzwasserabflusses bei Trockenwetter erreichen oder sogar überschreiten kann, da die stärkere Verschmutzung der ersten Regenwasserabflusses mit der auftretenden Verschmutzung durch Spülwirkung bei Einsetzen des Regens zusammentrifft. Im weiteren Verlauf des Regens nimmt dann die Verschmutzung des Mischwassers mit zunehmender Verdünnung des Schmutzwassers durch das Regenwasser ab.

Die Verschmutzungen von Mischwasserabflüssen setzen sich also im einzelnen zusammen aus:

1. der Verschmutzung des Schmutzwassers:
 - a. des häuslichen Abwassers (konstant)
 - b. des industriellen Abwassers (teils konstant, teils verschieden je nach Produktion),
2. der Verschmutzung des Regenwassers (verschieden je nach vorangegangener Trockenwetterdauer und mit der Regendauer abnehmend, auch abhängig von der Häufigkeit und Gründlichkeit der Strassenreinigung) und
3. der Verschmutzung durch Abschwemmen der in den Mischwasserkanälen abgesetzten Schmutzstoffe infolge Spülwirkung (verschieden je nach vorangegangener Trockenwetterdauer, verschieden je nach Grösse des Mischverhältnisses, d.h. je nach Grösse der Regenwasserabflussmenge, und verschieden je nach Dauer der Spülwirkung).

3. Trennverfahren und Mischverfahren

3.1. Vergleich des Regenwasserabflusses zwischen direkter Einleitung und Reinigung in einer Kläranlage

Grundsätzlich bieten sich für die Beseitigung des Regenwasserabflusses zwei entgegengesetzte Lösungen an:

1. Der Regenwasserabfluss wird ohne Reinigung direkt in den Vorfluter eingeleitet. Diese Lösung wird in der Regel beim *Trennverfahren* angewandt.
2. Der gesamte Regenwasserabfluss wird allein oder zusammen mit dem Schmutzwasser in einer Kläranlage gereinigt. Diese Lösung ist bisher praktisch noch nicht ausgeführt worden, obwohl schon einige Ueberlegungen dieser Art, z.B. in Chicago, angestellt wurden.

Zwischen diesen beiden extremen Lösungen bestehen zwei Möglichkeiten:

3. Beim Trennverfahren wird aus dem Regenwassernetz der erste Abfluss des Regenwassers dem Schmutzwasser zugeführt, und erst die weiteren Regenwasserabflussmengen werden ohne Beimischung von Schmutzwasser über einen Ueberfall direkt dem Vorfluter zugeleitet. Diese Lösung ist eine Möglichkeit zur teilweisen Reinigung des Regenwasserabflusses, die schon manchmal vorgeschlagen, aber — soweit gekannt — noch nicht praktisch ausgeführt wurde.
4. Beim Mischverfahren wird der erste Abfluss und ein Teil des Regenwasserabflusses in der Kläranlage gereinigt, der Rest fliesst über Regenüberläufe dem

Vorfluter zu. Allerdings besteht hier die überlaufende Wassermenge aus einem Gemisch von Schmutz- und Regenwasserabfluss, dem sogenannten Mischwasser. Diese Lösung ist die beim *Mischverfahren* übliche Behandlung und Ableitung der Regenwasserabflussmengen.

Die beiden Lösungen 1. und 2. sollen nun miteinander verglichen werden unter der Annahme, dass die Verschmutzung des Regenwassers gemessen am BSB₅ geringer ist als das Ablaufwasser der Kläranlage und gemessen am Gehalt an Schwebestoffen grösser als im Ablauf der Kläranlage. In Oxhey [38] wurden zu dieser Frage Messungen durchgeführt, deren Ergebnisse in Tabelle 5 zusammengestellt sind. Das Regenwasser hatte bei diesen Untersuchungen i.M. einen BSB₅ von nur 7,7 mg/l und einen Gehalt an Schwebestoffen von i.M. 195 mg/l. Damit lassen sich folgende Betrachtungen für die Anwendung der Lösungen 1. und 2. anstellen:

TABELLE 5 - Vergleich der Verschmutzungsbelastung zwischen dem Schmutzwasserabfluss in Oxhey und dem Regenwasserabfluss a) bei direkter Einleitung b) nach Reinigung in einer Kläranlage [38].

	Tatsächlich gemessener Regenwasserabfluss	Gesamtregenwasserabfluss während aller bekannten Regen (geschätzt)	Schmutzwasserabfluss	
			a) bei direkter Einleitung in den Vorfluter	b) bei Reinigung des Schmutz- und Regenwasserabflusses in einer Kläranlage mit einem gleichmässigen Ablauf von 20 mg/l BSB ₅ und 30 mg/l Schwebestoffen
Anzahl der Regen	79	131	131	
Menge (m ³ /Jahr)	88.500	146.000	146.000	723.000
BSB ₅ (kg/Jahr)	680	1.130	2.930	14.500
Schwebestoffe (kg/Jahr)	17.300	28.500	4.390	21.800

Zu den Abflussmengen:

Der geschätzte Gesamtwasserabfluss aller bekannten Regen eines Jahres beträgt in Oxhey 20 % des Schmutzwasserabflusses.

Zum BSB₅:

Der BSB₅ des geschätzten Gesamtregenwasserabflusses beträgt pro Jahr bei direkter Einleitung in den Vorfluter

$$\frac{1130}{14500} \cdot 100 = 7,8 \%$$

des in der Kläranlage gereinigten Schmutzwasserabflusses. Bei Reinigung des Regenwasserabflusses zusammen mit dem Schmutzwasserabfluss in einer Kläranlage mit einem gleichmässigen Ablauf von 20 mg BSB₅/l steigt die Belastung des Vorfluters von 1130 auf 2930 kg BSB₅/Jahr, d.h. um 160 %, bezogen auf den BSB₅ des Regenwasserabflusses. Die Belastung des Vorfluters durch den Regenwasserabfluss würde sich

damit von 7% auf 20% des gereinigten Schmutzwasserabflusses erhöhen.

Zu den Schwebstoffen:

Im Gegensatz zum BSB_5 bringt eine Reinigung des Gesamtregenwasserabflusses in einer Kläranlage mit einem gleichmässigen Ablauf von 30 mg/l Schwebstoffen eine Verminderung der Schwebstoffmenge pro Jahr um 85% gegenüber einer direkten Einleitung des Regenwasserabflusses in den Vorfluter. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass das Verhältnis der organischen Stoffe zu den Gesamtschwebstoffen beim Regenwasserabfluss im Mittel nur 25% beträgt gegenüber 65% beim Schmutzwasserabfluss.

Zusammenfassend lässt sich folgendes sagen: Je grösser der in einer Kläranlage gereinigte Teil der Regenwasserabflussmenge, d.h. je grösser das Mischverhältnis ist, desto geringer wird die Belastung des Vorfluters mit Schwebstoffen des Regenwasserabflusses. Anders verhält es sich mit der BSB_5 -Belastung des Vorfluters. Eine Zuführung und Reinigung des Regenwasserabflusses in der Kläranlage ist nur so lange sinnvoll, wie der BSB_5 -Wert des Regenwasserabflusses über dem Wert des Kläranlagen-Auslaufs liegt.

3.2. Regenwasserabflüsse in der Bundesrepublik Deutschland

Müller [28] hat im letzten Jahr Menge und Verschmutzung der Regenwasserabflüsse in der Bundesrepublik Deutschland ermittelt. 9,6% der Fläche des Bundesgebietes sind bebaut. Zu diesen Flächen gehören nicht nur die Baugebiete der Städte und Gemeinden, sondern auch Strassen und Wege, Eisenbahnanlagen, Sportplätze, Flugplätze, militärische Übungsplätze usw. Die Regenwasserabflüsse von diesen bebauten Flächen betragen bei einem Gesamtabflussbeiwert von i.M.

- 0,6 für Gebäude-, Hof- und Industrieflächen,
- 0,5 für Wegeland und Eisenbahnen und
- 0,4 für Friedhöfe, öffentliche Parkanlagen, Sport- und Flugplätze sowie militärische Übungsplätze

rd. 10.000 Mio m^3 /Jahr und sind etwa von der gleichen Grössenordnung wie die Summe der häuslichen und industriellen Abwässer, die 1963 ohne die Kühlwässer insgesamt 7.470 Mio m^3 /Jahr betragen haben.

Bei einem BSB_5 von i.M. 10 bis 30 mg/l haben die Regenwässer einen Gehalt an Schmutzstoffen, der etwa 1/10 der Konzentrationen entspricht, wie sie im häuslichen Abwasser gefunden wird. Werden also zukünftig alle häuslichen Abwässer vor der Einleitung in die Vorfluter entsprechend den Normalanforderungen [25] vollbiologisch gereinigt, so dass sie nur noch 10% der ursprünglichen Verschmutzung enthalten, und werden die industriellen Betriebsabwässer in gleicher Weise behandelt und zusätzlich in ausreichenden Umfange von den Gift- und anderen Schadstoffen befreit, dann bleibt eine Restverschmutzung der abgeleiteten Abwässer, die insgesamt für das Bundesgebiet von der gleichen Grössenordnung ist wie die von den Regenabflüssen der besiedelten und bebauten Flächen mitgeführte Verschmutzung.

4. Regenüberläufe

Es sollen kurz die in der Bundesrepublik Deutschland bis heute angewandten Bemessungsverfahren für

Regenüberläufe, die zu den Betrachtungen über das Mischverfahren gehören, erläutert werden.

4.1. Bemessungsverfahren für Regenüberläufe

Verdünnungsverfahren: Das Verdünnungsverfahren ist das älteste Bemessungsverfahren für Regenüberläufe. Es wird die Verdünnung, d.h. das Verhältnis der Regenwasserabflussmenge zur Schmutzwassermenge festgelegt, bei der der Regenüberlauf in Tätigkeit tritt. In Deutschland beträgt das Mischverhältnis für Regenüberläufe vor der Kläranlage im allgemeinen 1 + 1 bis 1 + 2, in Entwässerungsnetzen treten Werte bis 1 + 10, an besonders ungünstigen Stellen auch Maximalwerte bis 1 + 20 auf [27].

Dem Verdünnungsverfahren wurde oft nachgesagt, dass das Mischverhältnis mehr oder minder willkürlich angenommen wurde.

Gewiss folgte in der Vergangenheit mancher Ingenieur einfach den Empfehlungen anderer, so dass z.B. der bei Imhoff [15] angegebene Mittelwert des Mischverhältnisses von 1 + 4 sicher oft ohne weitere Ueberlegung der Berechnung zugrunde gelegt wurde. Es steht aber doch ausser Zweifel, dass sich bei Heranziehung aller die Bemessung beeinflussenden Faktoren ein Mischverhältnis finden lässt, das die besonderen Belange des entsprechenden Vorfluters berücksichtigt.

Grenzregen-Verfahren: In den letzten Jahren hat sich in Deutschland für die Bemessung von Regenüberläufen das Grenzregen-Verfahren immer mehr durchgesetzt. Mit der Grenzregenspende, bei der ein Regenüberlauf in Tätigkeit tritt, glaubte man — im Gegensatz zum früher gebräuchlichen Verdünnungsverfahren — den Schlüssel gefunden zu haben, um Aussagen über die Häufigkeit des Anspringens und die Dauer des Ueberlaufens machen zu können. Aussagen über diese Kriterien eines Regenüberlaufes sind aber tatsächlich nur dann möglich, wenn langjährige und auswertbare Niederschlagsmessungen (Diagramme über Regenspenden und Regendauer) der entsprechenden Orte vorliegen. Ohne Berücksichtigung dieser gegebenen örtlichen Verhältnisse werden auch hier zur Bemessung eines Regenüberlaufes Werte „mehr oder minder willkürlich“ angenommen. Ausserdem lässt sich mit dem gewählten Mischverhältnis jederzeit die zugehörige Grenzregenspende ermitteln und umgekehrt.

In der Literatur werden für Deutschland Grenzregenspenden-Werte angegeben, die alle in dem Bereich zwischen 6 und 10 l/s. ha liegen. Es zeigt sich, dass sich bei einem Schmutzwasseranfall von 150 l/E.d und einer maximalen Schmutzwasserabflussspende (1/14 des 24-h-Abflusses) für verschiedene Besiedlungsdichten und entsprechende Abflussbeiwerte fast gleiche Mischverhältnisse in dem Bereich 1 + 5 bis 1 + 8 ergeben [31]. Mit der Einführung der Grenzregenspende hat sich also an den üblichen Mischverhältnissen nichts geändert. Für die Bemessung der Kläranlage ist auf jeden Fall die Wassermenge im Zulauf bei Trockenwetter und bei Regenwetter massgebend. Die Kenntnis des Mischverhältnisses ist also unbedingt erforderlich, während die Kenntnis der Grenzregenspende für die Bemessung der Kläranlage keine Bedeutung hat.

Verfahren nach den ATV-Richtlinien: In den meisten Bundesländern der Bundesrepublik Deutschland ist heute von den Aufsichtsbehörden das Verfahren nach

den ATV-Richtlinien [2] für die Berechnung der Regenüberläufe vorgeschrieben. Bei diesen Richtlinien wird unter Berücksichtigung der Niederschlagsverhältnisse, des Trockenwetterabflusses, des Vorfluterzustandes und des Speichervermögens der Entwässerungsanlagen die Grenzregenspende (in den Richtlinien „kritische Regenspende“ genannt) ermittelt. Der angegebene Bereich des Grenzregens ist bei den ATV-Richtlinien erweitert worden und beträgt 3 bis 15 l/s. ha.

Der *Vorteil* der ATV-Richtlinien gegenüber den früheren Bemessungsverfahren liegt in der Berücksichtigung der verschiedenen Einflüsse bei der Ermittlung der kritischen Regenspende. Neu und wichtig sind die Einflüsse der Vorfluterhältnisse, da sie die Reinhaltung der Gewässer direkt betreffen. Neben der Wasserführung wird die Selbstreinigungskraft des Vorfluters durch Wassergüteklasse und Fließzustand berücksichtigt.

Demgegenüber stehen viele *Nachteile*, von denen einige ge­griffen werden sollen:

1. Es gelten allgemein dieselben Nachteile, die beim Grenzregenverfahren ausgeführt wurden.
2. Mit dem Ansteigen der mittleren örtlichen Niederschlagshöhe im Sommerhalbjahr wächst der Wert für die kritische Regenspende, d.h. das erforderliche Mischverhältnis. Ein Ansteigen der Niederschlagshöhe kann jedoch nur in einer längeren Dauer oder in einer grösseren Anzahl der Regenfälle begründet sein. Beide Möglichkeiten wirken sich aber positiv auf die Reinhaltung des Vorfluters aus, so dass das Mischverhältnis abnehmen müsste.
3. Die ATV-Richtlinien sollen auch für die Bemessung der Regenüberläufe vor den Kläranlagen herangezogen werden. Tatsächlich können sich jedoch bei Anwendung der Richtlinien Mischverhältnisse von $m = 50$ und darüber ergeben, also Werte, die für die Praxis unbrauchbar sind.
4. Abschliessend lässt sich sagen, dass die Anwendung der Richtlinien für den Ingenieur in der Praxis sehr umständlich ist.

Die Abwassertechnische Vereinigung (ATV) und das Kuratorium für Kulturbauwesen (KfK) haben daher auch beschlossen, die mit den „Vorläufigen Richtlinien“ gemachten Erfahrungen zu sammeln, den Inhalt und die Grundlagen der Richtlinien zu überprüfen und überarbeiten in Form eines neuen ATV-KfK-Arbeitsblattes herauszugeben.

4.2. *Unterschiede zwischen den Abflüssen aus Regenüberläufen und Kläranlagen*

Zur Behandlung der Anforderungen an Regenüberläufe im Verhältnis zu den Anforderungen an die Abwasserreinigung ist es weiterhin erforderlich, die Unterschiede zwischen den Abflüssen aus Regenüberläufen und Kläranlagen darzulegen. Unterschiede bestehen bezüglich

- den Anforderungen,
- den Ausgangswerten für die Bemessung,
- der Belastung des Vorfluters und
- der Schmutzstoffe.

Anforderungen: Vor Erscheinen der vorläufigen ATV-Richtlinien zur Bemessung von Regenüberläufen

waren im allgemeinen für den Planer keinerlei Anforderungen zu erfüllen und auch keine Richtlinien zu beachten. Nach ihrer Herausgabe wurden die vorläufigen ATV-Richtlinien jedoch in den meisten Bundesländern vorgeschrieben. Da sich nach diesen Richtlinien Mischverhältnisse bis zu 1 : 50 und darüber ergeben können, ging man in der Folgezeit dazu über, obere Grenzwerte für das Mischverhältnis festzulegen. So wurde z.B. in Rheinland-Pfalz dieser Grenzwert mit 1 : 25, in Hessen mit 1 : 10 festgesetzt.

Im Gegensatz zu den Regenüberläufen sind schon seit Jahren die einzuhaltenden Anforderungen an die Abflüsse der Kläranlagen von der zuständigen Aufsichtsbehörde genau festgelegt. Diese Anforderungen beziehen sich im Hinblick auf die Gewässerreinigung im allgemeinen auf den Gehalt an absetzbaren Schwebstoffen und auf den BSB₅. Ist das häusliche Abwasser mit industriellen Abwässern vermischt, sind darüber hinaus Werte für die Temperatur, den pH-Wert, den Gehalt an gelösten und ungelösten Metallen, an Giftstoffen usw. festgesetzt.

Ausgangswerte für die Bemessung: Regenüberläufe gehören als Sonderbauwerke zur Kanalisation. Da sie Teile der Kanalisation sind, gelten für die Bemessung auch die gleichen Ausgangswerte, die der Berechnung des Entwässerungsnetzes zugrunde gelegt werden.

Kanalisationentwürfe werden für einen Ausbauzustand aufgestellt, der erst in 30 bis 50 Jahren erreicht wird. Es werden dabei sowohl der Bevölkerungszuwachs als auch der steigende Wasserbedarf und damit der sich erhöhende Abwasseranfall berücksichtigt. Für die Dimensionierung der Kanalisationsleitungen wird als Trockenwetterabflussmenge mit der Tagesspitze, d.h. dem maximal stündlichen Schmutzwasseranfall, gerechnet, der etwa der 14. Teil des mittleren täglichen Abflusses ist.

Die Dimensionierung der Kläranlagen schliesst im allgemeinen nur einen Zeitraum der nächsten 10 bis 15 Jahre ein. Die Kläranlagen werden auch nicht für die Tagesspitze, sondern im allgemeinen für das Tagesmittel bemessen.

Belastung des Vorfluters: Regenüberläufe treten nur bei Regenwetter in Tätigkeit und auch dann nur, wenn die Mischwasserabflussmenge ein bestimmtes Mischverhältnis übersteigt. Regenüberläufe bringen dem Vorfluter für kurze Zeiträume Stossbelastungen.

Abgesehen von den täglichen und stündlichen Schwankungen führt der Auslauf einer Kläranlage dem Vorfluter dauernd eine ziemlich konstante Schmutz- und Abwassermenge zu.

Schmutzstoffe: Während die überlaufenden Wassermengen der Regenüberläufe eine Verschmutzung aufweisen wie das ankommende Mischwasser selbst, werden in der Kläranlage die absetzbaren Stoffe in der mechanischen Stufe zurückgehalten. Ferner werden in der biologischen Stufe die organischen Stoffe abgebaut. Dadurch entstehen Abbauprodukte, die den Kläranlagenablauf bezüglich der Zusammensetzung der Schmutzstoffe verändern.

Zusammenfassung: Bisher wurde der Regenüberlauf für sich betrachtet und berechnet, wohl in Hinblick auf die Verschmutzung des Vorfluters, aber unabhängig von

der Bemessung der Kläranlage. Bei Betrachtung der Unterschiede zwischen beiden Abflüssen scheint das auch auf den ersten Blick gerechtfertigt. Vom Vorfluter aus gesehen ergibt sich aber ein ganz anderes Bild. Bei Regenwetter hat der Vorfluter nach Anspringen der Regenüberläufe neben dem Ablauf aus der Kläranlage ein oder mehrere weitere Zuläufe entsprechend der Anzahl der Regenüberläufe. Er muss mit der Gesamtheit der ihm auf einer bestimmten Länge zugemuteten Verschmutzung fertig werden, unabhängig davon, woher die Belastungen kommen.

Entwässerungsnetze, Regenüberläufe und Kläranlage bilden eine Einheit auf dem Gebiete der Abwasserbeseitigung. Sie sind unter Beachtung von wirtschaftlichen Faktoren so aufeinander abzustimmen, dass in den Vorfluter nur soviel Schmutzstoffe eingeleitet werden, damit er seine Aufgabe in der Wassergütwirtschaft erfüllen oder auch wiedererlangen kann. Abflüsse aus Regenüberläufe und Kläranlagen lassen sich trotz der vorhandenen Unterschiede nicht unabhängig voneinander betrachten, da sie gemeinsam den Vorfluter belasten. Es soll daher versucht werden, aus dieser Zusammenschau heraus zu einer neuen, sinnvollen Bemessung der Regenüberläufe zu kommen.

4.3. Bemessung von Regenüberläufen im Hinblick auf die Reinhaltung der Gewässer [31]

Unter Beachtung der notwendigen und für wichtig erkannten Einflüsse soll ein Bereich für das Mischverhältnis ermittelt werden, das der Bemessung der Regenüberläufe vor der Kläranlage zugrunde gelegt werden kann.

Untere Grenze des Mischverhältnisses: In dem aufzustellenden Bereich kommt der Bestimmung der unteren Grenze des Mischverhältnisses die grössere Bedeutung zu. Die untere Grenze soll das unter allen Umständen einzuhaltende minimale Mischverhältnis darstellen. Die Ergebnisse der Gesichtspunkte, die jeder für sich zur Feststellung eines minimalen Mischverhältnisses führen, sind folgende:

- Verschmutzung des Schmutzwassers,
- Verschmutzung des Regenwasserabflusses,
- Schmutzstoff-Ablagerungen bei Trockenwetter,
- Ueberlastbarkeit der Kläranlage,
- Belastbarkeit des Vorfluters.

Auf jeden Fall sollte die Belastbarkeit der Kläranlage voll ausgenutzt werden und der erste Abfluss des Regenwassers in die Kläranlage geleitet und dort mit dem Schmutzwasser gereinigt werden. Diese Ueberlegung führt zu einer unteren Grenze des Mischverhältnisses für Regenüberläufe vor der Kläranlage von 1 + 1, bezogen auf die der Berechnung der Kläranlage zugrunde gelegte Trockenwetterabflussmenge. Dieses Mischverhältnis von 1 + 1 gewährleistet, dass bei Regenwetter die gesamte zur Kläranlage gelangende Mischwassermenge durch die Kläranlage fließen kann und dabei der Wirkungsgrad vorübergehend nur wenig absinkt. Ist durch besondere Ausbildung oder Betrieb der einzelnen Kläranlagenteile ein höheres Mischverhältnis möglich, sollte auf jeden Fall das grösstmögliche Mischverhältnis gewählt werden.

Obere Grenze des Mischverhältnisses: Die Ueberlegungen zur Festsetzung einer oberen Grenze des Mischver-

hältnisses fussen auf drei Faktoren, die bekannt sein müssen:

- Verschmutzung des Schmutzwasserabflusses (häusliches und industrielles Abwasser),
- Verschmutzung des Regenwasserabflusses und
- Belastbarkeit des Vorfluters.

Sind diese Faktoren nicht bekannt, müssen sie ermittelt, errechnet oder geschätzt werden.

Die obere Grenze ist bestimmt durch den Schmutzgehalt des Mischwassers, der bei steigendem Mischverhältnis immer geringer wird und schliesslich einen BSB₅-Wert erreicht, der dem Schmutzgehalt des Ablaufs der Kläranlage gleichwertig ist. Ein höheres Mischverhältnis als dieser Grenzwert würde sich nur nachteilig auf den Vorfluter auswirken, weil dann für den Ablauf der Kläranlage theoretisch ein höherer BSB₅-Werte zulässig wäre als im Zulauf vorhanden ist. Diese obere Grenze kann natürlich kein fester Wert sein, sondern sie ist eine Funktion des Wirkungsgrades der Kläranlage.

Abb. 4 - Geschätzte Konzentrationen von städtischen Regenwasserabflüssen vor dem Einlauf in den Mischwasserkanal in Abhängigkeit der Abflussmenge (ausgedrückt als Vielfaches der Trockenwettermenge).

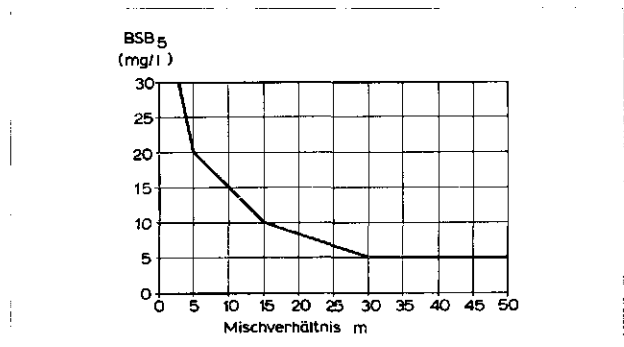
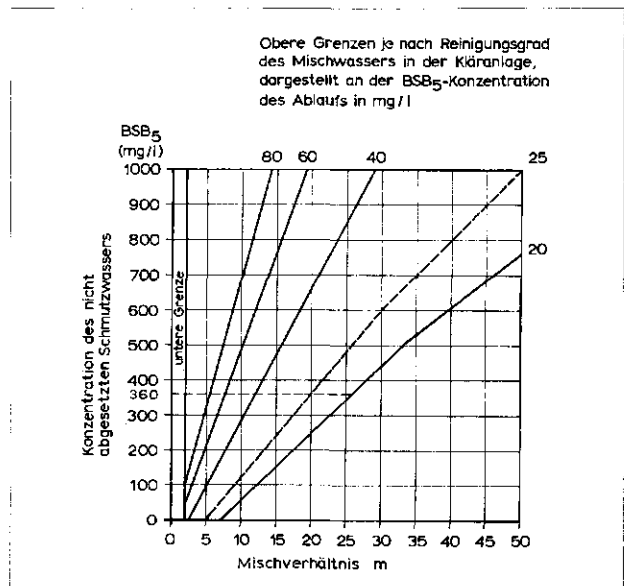


Abb. 5 - Bemessung von Regenüberläufen nach der Theorie der unteren und oberen Grenzen



Für eine BSB₅-Konzentration des Rohabwassers von 360 mg/l und eine BSB₅-Konzentration des Kläranlagen-Ablaufes von 25 mg/l (biologische Vollreinigung nach den Normalanforderungen) ergibt sich aus Abbildung 5

ein Mischverhältnis für die obere Grenze von $m = 20$. In den Normalanforderungen wird aber davon ausgegangen, dass die mechanische Anlage bis zum 5-fachen und die biologische Anlage bis zum 1,5 bis 2-fachen der Trockenwettermenge behandelt. Das hat zur Folge, dass bei Regenwetter eine Mischwassermenge vom 5-fachen der Trockenwettermenge teils vollbiologisch und teils mechanisch gereinigt wird. Die Qualität des Gesamtablaufs der Kläranlage entspricht also nicht der biologischen Vollreinigung, sondern nur einer Teilreinigung mit einem Gesamtablauf von 47 mg BSB₅/l. Das überlaufende Mischwasser eines Regenüberlaufs im Kanalisationsnetz würde bei einem Mischverhältnis von etwa $m = 11$ eine BSB₅-Konzentration von 47 mg/l erreichen, d.h. seine obere Grenze läge bei diesem Mischverhältnis.

Zusammenfassung: Die Ergebnisse meiner Untersuchungen über Regenüberläufe [31] werden in folgenden Punkten zusammengefasst:

1. Der Regenüberlauf unmittelbar vor der Kläranlage teilt endgültig die Mischwassermenge in einen Teil, der zur Kläranlage weitergeführt und dort teilweise oder vollkommen gereinigt wird, und in einen Teil, der unbehandelt in den Vorfluter geleitet wird. Dieser Regenüberlauf springt in der Regel auch als erster an. Daher wird die gesamte Berechnung der Regenüberläufe auf diesen Regenüberlauf vor der Kläranlage aufgebaut.
2. Dieser Regenüberlauf ist bereits ein Teil der Kläranlage. Um auch bei Regenwetter einen bestimmten oder gleichmässigen Wirkungsgrad in der Abwasserreinigungsanlage zu erzielen, müssen die bei Regenwetter zu behandelnden Wassermengen als Vielfaches der Trockenwettermenge bestimmt werden. Infolgedessen muss auch der Regenüberlauf vor der Kläranlage mit dem Mischverhältnis bemessen werden.
3. Für die Wahl dieses Mischverhältnisses gibt es im Hinblick auf die Reinhaltung der Gewässer sowohl eine „untere“ als auch eine „obere“ Grenze. Das Mischverhältnis m kann nur innerhalb eines Bereiches, der durch diese beiden Grenzen gebildet wird, gewählt werden.
4. Als untere Grenze zur Bemessung des Regenüberlaufs vor der Kläranlage sollte ein Mischverhältnis gewählt werden, das die Belastbarkeit der Kläranlage voll ausnützt. Ein Mischverhältnis von $1 + 1$ gewährleistet, dass bei Regenwetter die zur Kläranlage gelangende Mischwassermenge durch die Kläranlage fließen kann und dabei der Wirkungsgrad der Kläranlage nicht merklich absinkt. Damit wird zumindest der allererste, stärker verschmutzte Abfluss bei Regenwetter in der Kläranlage aufgefangen.
5. Die obere Grenze wird erreicht, wenn der Schmutzgehalt des Mischwassers gemessen am BSB₅ einen Wert erlangt, der dem Schmutzgehalt der Kläranlagen-Ablaufs gleichwertig ist. Eine Ueberschreitung dieser oberen Grenze ist nicht nur unwirtschaftlich, sondern auch für die Reinhaltung der Gewässer nachteilig, weil dann für den Ablauf der Kläranlage theoretisch ein höherer BSB₅-Wert zulässig wäre als im Zulauf vorhanden ist. Die allgemeine Meinung, je höher das Mischverhältnis, desto besser sei es in jedem Fall für den Vorfluter, ist damit widerlegt.

6. Wichtiger als „Angaben über die zu erwartende Häufigkeit des Anspringens und die Dauer des Ueberlaufens“ — das Ziel der ATV-Richtlinien und des Grenzregenverfahrens überhaupt — sind Betrachtungen über die einzelnen oder auch gemeinsamen Schmutzmengen der Abflüsse von Kläranlagen und Regenüberläufen und über die Belastbarkeit des Vorfluters. Auf jeden Fall sollte die mögliche Gesamtschmutzbelastung des Vorfluters auch bei Regenwetter festgesetzt werden.
7. Erst nach Berechnung des Regenüberlaufes vor der Kläranlage werden die Regenüberläufe im Entwässerungsnetz auch mit Hilfe des Mischverhältnisses bemessen. Werden für alle Regenüberläufe dieselben Mischverhältnisse gewählt, so springen die Regenüberläufe im Entwässerungsnetz — bezogen auf die Bemessungsgrundlagen des Regenüberlaufes vor der Kläranlage — erst bei einem Mischverhältnis an, das 30 bis 60 % höher liegen kann. Es ist jedoch darauf zu achten, dass auch für die Regenüberläufe im Entwässerungsnetz die obere Grenze des Mischverhältnisses nicht überschritten wird.

5. Vorfluter-Belastung bei Regenwetter

Unter dem Gesichtspunkt der gemeinsamen Verschmutzung des Vorfluters durch den Abfluss der Kläranlage und durch die Abflüsse aus Regenüberläufen bzw. Regenwasserkanälen sollte in Zukunft die Vorfluter-Belastung bei Regenwetter ebenfalls festgesetzt werden. Das kann geschehen:

1. durch Festsetzung des Anteils oder der Verschmutzungskonzentration für Abflüsse aus Kläranlage und Regenüberlauf vor der Kläranlage bzw. Regenwasserkanälen.

Dabei kann man wie folgt vorgehen: Zunächst wird in Abhängigkeit der Vorfluter-Belastbarkeit die zulässige konstante Verschmutzung durch den Kläranlagen-Ablauf bei Trockenwetter bestimmt. Die zulässige Verschmutzung kann ausgedrückt werden in kg BSB₅ pro Tag (oder auch pro Jahr) oder umgerechnet als BSB₅-Konzentration (BSB₅ in mg/l) des Ablaufes. Sie wird erreicht durch den entsprechenden Wirkungsgrad der Kläranlage, der wiederum von der Verschmutzung des Rohabwassers abhängig ist.

Danach wird die Belastbarkeit des Vorfluters bei Regenwetter ermittelt. Die Belastung, die durch die Regenüberläufe bzw. Regenwasserkanäle entsteht, wird zweckmässig in % der zulässigen BSB₅-Menge bei Trockenwetter (in kg/Tag oder kg/Jahr) oder aber als Vielfaches der Schmutzstoff-Konzentration des Kläranlagen-Ablaufs gewählt. Mit Hilfe der als bekannt vorausgesetzten BSB₅-Konzentration von Schmutz- und Regenwasserabflüssen lässt sich nun das erforderliche Mischverhältnis für den Regenüberlauf bzw. die erforderliche Reinigung der Regenwasserabflüsse aus den Regenwasserkanälen berechnen. Die gleiche Berechnung lässt sich für Schwebstoffe oder auch Giftstoffe anstellen.

Sind Regenüberlaufbecken vorhanden oder im Entwurf vorgesehen, teilt sich die zulässige Schmutzmenge auf in den Ablauf aus Regenüberlauf und aus den Regenüberlaufbecken.

Die Vorfluter-Belastung bei Regenwetter kann auch festgelegt werden:

2. durch Festsetzung einer zugelassenen Gesamt-Schmutzmenge für Abflüsse aus Kläranlage und Regenüberlauf vor der Kläranlage bzw. Regenwasserkanälen.

Für Trockenwetter gelten die gleichen Voraussetzungen wie bei der ersten Lösung beschrieben.

Für Regenwetter wird eine dem Vorfluter zumutbare Gesamt-Schmutzmenge festgesetzt, ausgedrückt in kg BSB₅ pro Tag oder Jahr. Jetzt muss eine Wirtschaftlichkeitsberechnung eine optimale Lösung finden, in der folgende Faktoren ermittelt werden müssen:

- a. beim Mischverfahren:
 - Wirkungsgrad der Kläranlage bei Regenwetter
 - Mischverhältnis für den Regenüberlauf und
 - Grösse der Mischwassermenge und Aufenthaltszeit für die Behandlung in einem Regenüberlaufbecken.
- b. beim Trennverfahren:
 - Wirkungsgrad der Schmutzwasser-Kläranlage
 - Wirkungsgrad der Regenwasser-Kläranlage.

Bis heute ist es in Deutschland üblich, die Belastbarkeit des Vorfluters bei Trockenwetter durch die Angabe des Grenzwertes für die BSB₅-Konzentration des Kläranlagen-Ablaufs festzusetzen, während für Regenwasser die Gesamt-Belastbarkeit des Vorfluters nicht festgestellt wird und daher auch keine entsprechenden Anforderungen bei Regenwetter aufgestellt werden. Der Grund hierfür liegt darin, dass Kläranlagen und Regenüberläufe bzw. Regenwasserabflüsse für sich betrachtet und getrennt voneinander bemessen werden.

6. Schlussbetrachtung

Die Bundesländer der Bundesrepublik Deutschland haben sich bis zum Jahre 1985/1990 das Ziel gesetzt, 90 % der Einwohner an Kanalisationen und biologischen Kläranlagen anzuschliessen. Auch das Abwasser der Industriebetriebe soll bis dahin in ähnlicher Grossenordnung erfasst und behandelt werden [21].

Zu der verbleibenden Restverschmutzung kommt in gleicher Grösse die Verschmutzung durch die Regenwasserabflüsse, so dass die Sanierung der Gewässer in Frage gestellt wird. Es wird einerseits eine weitergehende biologische Reinigung, z.B. eine 3. Reinigungsstufe, der Schmutzwässer, aber andererseits auch gleichzeitig eine möglichst biologische Reinigung der Regenabflüsse von den bebauten Flächen erforderlich werden, um die sich immer stärker auswirkende Belastung der Vorfluter zu reduzieren. Voraussetzung hierzu ist jedoch die Kenntnis der Mengen und Schmutzstoffkonzentrationen der Regen- und Mischwasserabflüsse. Meine Ausführungen befassten sich daher in erster Linie mit diesen Fragen.

Es ist weniger eine Entscheidung zu fällen, ob Misch- oder Trennverfahren vorzuziehen ist, vielmehr müssen wir uns überlegen, wie wir bei beiden Verfahren dem Vorfluter bei Regenwetter ein Minimum an Schmutzstoffen zuführen.

Literatur

1. Abwassertechnische Vereinigung e.V.: Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik, Band 1. Verlag Ernst u. Sohn, Berlin - München 1967.
2. Abwassertechnische Vereinigung e.V.: Vorläufige Richtlinien

für die Bemessung und Gestaltung von Regenüberläufen in Mischwasserkanälen. ZfGW-Verlag GmbH, Frankfurt/Main 1962.

3. Albert, W.: *Mischverfahren oder Trennverfahren?* Gesundheitsingenieur 66 (1943), S 244-246.
4. Anonymus: *Domestic Sewage: Load per Person per Day.* Journal of the Water Pollution Control 66 (1967), S. 193-196.
5. Blunk, H.: *Beitrag zur Frage der Regenwasserbehandlung.* Die Städtereinigung 33 (1941), S. 60-68.
6. Breitung, W.: *Trenn- oder Mischverfahren bei Stadtkanalisationen.* Gesundheitsingenieur 57 (1934), S. 382-386.
7. Bucksteeg, W.: *Untersuchungen zur Korrektur des Einwohnerwertes.* Wasser, Luft und Betrieb 12 (1968), S. 463-469.
8. Camp, T. R.: *Water and Its Impurities.* Reinhold Publishing Corporation, New York 1963.
9. Davidson, R. N., Gameson, A. L. H.: *Field Studies on the Flow and Composition of Storm Sewage.* Symposium on Storm Sewage Overflows. William Clowes and Sons, Ltd. London and Beccles 1967, S. 1-11.
10. Frühling, A.: *Die Entwässerung der Städte*, 4. Auflage. Verlag W. Engelmann, Leipzig 1910.
11. Gameson, A. L. H., Davidson, R. N.: *Storm-Water Investigations at Northampton.* Journal Proc. Inst. Sew. Purif. (1963), S. 105-130.
12. Geissler, W.: *Kanalisation und Abwassereinigung.* Verlag J. Springer, Berlin 1933.
13. Harza, Engineering Company, Bauer Engineering Inc.: *Flood and Pollution Control, A Deep Tunnel Plan for the Chicago-Land Area.* Report, Chicago 1966.
14. Heilmann, A.: *Ueber grossstädtische Regenwasserabflüsse.* Gesundheitsingenieur 49 (1926), S. 101-104.
15. Imhoff, K.: *Taschenbuch der Stadtentwässerung*, 22. Auflage. R. Oldenbourg Verlag, München-Wien 1969.
16. Imhoff, K. R.: *Englische BSB- und Schwebstoffzahlen des Einwohners.* Gas- und Wasserfach 108 (1967), S. 1021.
17. Imhoff, K. R.: *Oelabscheidebecken für Fernstrassen im Ruhr-tal.* Gesundheitsingenieur 108 (1967), S. 43-45.
18. Jacobitz, K.-H.: *Die Ableitung industrieller Abwässer in öffentliche Entwässerungen und die gemeinsame Behandlung mit häuslichem Abwasser.* Dissertation Technische Hochschule Darmstadt 1965.
19. Kisser, P.: *Vorteile und Probleme der Mischkanalisation.* Gesundheitsingenieur 81 (1960), S. 245-247.
20. Knorr, M., Borneff, J.: *Mikrobiologische und hygienische Forschungen.* Bodensee-Projekt der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Erster Bericht, 1.7.1963. Franz Steiner Verlag GmbH, Wiesbaden, S. 27-40.
21. Krauth, K.: *Der Abfluss und die Verschmutzung des Abflusses in Mischwasserkanalisation bei Regen.* Dissertation Universität Stuttgart 1971.
22. Kuratorium für Kulturbauwesen, Abwassertechnische Vereinigung e.V.: *Hinweise für die Abwasserableitung im Hinblick auf die Reinhaltung der Gewässer, Mischverfahren/Trennverfahren.* Arbeitsblatt A 105, ZfGW-Verlag GmbH, Frankfurt/Main 1962.
23. Kuratorium für Kulturbauwesen, Abwassertechnische Vereinigung e.V.: *Planung einer Ortsentwässerung, Grundlagen und Hinweise.* Arbeitsblatt A 101, ZfGW-Verlag GmbH, Frankfurt/Main 1959.
24. Kurzweil, H. E.: *Ueber die Zulässigkeit der Einleitung von Niederschlagswässern aus dem Kanalnetz in den Vorfluter.* Dissertation an der Hochschule für Bodenkultur, Wien 1961.
25. Länderarbeitsgemeinschaft „Wasser“ — Ausschuss Normalanforderungen für Abwasser: *Normalanforderungen für Abwasser bei Einleitung in die Gewässer.* Manuskript.
26. Lautrich, R.: *Das Abwasserkanal.* Verlag Wasser und Boden Axel Lindow u. Co., Hamburg-Blankenese 1964.
27. Müller, W. J.: *Abwasserbeseitigung, Teil I, Ortsentwässerung, Lehrstuhl für Wasserversorgung, Abwasserbeseitigung und Stadtbauwesen der Technischen Hochschule Darmstadt 1960.*
28. Müller, W. J.: *Der Beitrag der Regenabflüsse zur Verunreinigung der Gewässer.* Gas- und Wasserfach Wasser/Abwasser 112 (1971), S. 15-17.

29. Müller-Neuhaus, G.: *Zur Frage der Bemessung von Regenüberläufen bei Entwässerungsnetzen und Kläranlagen*. Gesundheitsingenieur 71 (1950), S. 149-152.
30. Munz, W.: *Die Wirkung verschiedener Gewässerschutzmassnahmen auf den Vorfluter*. Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie 28 (1966), Fasc. 2, S. 184-237.
31. Otto, H.: *Die Anforderungen an Regenüberläufe in Kanalisationsnetzen des Mischverfahrens im Verhältnis zu den Anforderungen an die Abwasserreinigung in Kläranlagen*. Dissertation Technische Hochschule Darmstadt 1971.
32. Palmer, C. L.: *Feasibility of Combined Sewer Systems*. Journal Water Pollution Control Federation 35 (1963), S. 162-167.
33. Palmer, C. J.: *The Pollutional Effects of Stormwater Overflows from Combined Sewers*. Sewage and Industrial Wastes 22 (1950), S. 154-165.
34. Pfeiff, S.: *Zur Frage der Wahl des Entwässerungssystems*. Gesundheitsingenieur 80 (1959), S. 141-144.
35. U.S. Public Health Service: *Pollutional Effects of Stormwater and Overflows from Combined Sewer Systems*. USPHS Publ. No. 1246, 1964.
36. Weibel, S. R., Anderson, R. J., Woodward, R. L.: *Urban Land Runoff as a Factor in Stream Pollution*. Journal Water Pollution Control Federation 36 (1964), S. 914-924.
37. Weibel, S. R., Weidner, R. B., Christianson, A. G., Anderson, R. J.: *Characterization, Treatment and Disposal of Urban Stormwater*. Third International Conference on Water Pollution Research, 1966, Section I, Paper No. 15.
38. Wilkinson, R.: *The Quality of Rainfall Run-off Water from a Housing Estate*. Journal Inst. Public Health Engr. L.V., (1956), S. 70-78.