

Berechnungswerkzeuge des siedlungswasserwirtschaftlichen Planers für die Generelle Entwässerungsplanung

Christian Eicher

1 EINLEITUNG

Hinsichtlich der Berechnungsmethoden für Kanalnetze herrscht in der heutigen Ingenieurhydraulik-Landschaft ein ziemlich diffuses Bild vor: mancherorts trifft man wie früher die vertraute manuelle Listenrechnung auf der Basis des Zeitbeiwerts an. Anderswo bekommt man den Eindruck, ohne Computer laufe praktisch gar nichts mehr - vom 'motorisierten Imhoff' bis zum komplizierten instationären Simulationsprogramm ist so ziemlich alles vorhanden.

Fragt man etwas herum bezüglich der Erfahrungen mit komplizierten Berechnungen, dann zeichnet sich ein zwiespältiges Bild ab - von euphorischen bis hin zu vernichtenden Urteilen sind alle Schattierungen vertreten.

Dementsprechend groß ist die Verunsicherung, hervorgerufen durch die Schwierigkeit, sich ein objektives Bild über die reale Situation zu verschaffen, ganz besonders für die Ein- und Aufsteiger zu computerisierten Berechnungsmethoden.

Der vorliegende Aufsatz versucht, in die grosse Auswahl der vorhandenen Werkzeuge für hydraulische Kanalnetz-Berechnungen etwas Ordnung hineinzubringen. Der Text stützt sich auf rund fünfundzwanzig Jahre Praxis mit Entwässerungsplanungen, sowie auf zwanzig Jahre Anwendungserfahrung mit Simulationsmodellen unterschiedlichster Herkunft und Komplexität.

1.1 Veränderte Aufgabenstellungen

Weshalb eigentlich brauchen wir etwas Neues - die Listenrechnung hat uns doch all die Jahre gut gedient, unsere Kanalnetze sind im grossen und ganzen in guter Form, oder nicht?!

Richtig, die traditionelle Zeitbeiwert-Listenrechnung hat uns gut gedient bei der Dimensionierung sowohl kleiner als auch grosser Abwassernetze, dort, wo sie mit der nötigen Umsicht angewendet wurde, begleitet durch erfahrene Ingenieure mit einem Blick für die Zukunft hinsichtlich der Bemessungsannahmen.

Wenn wir die anstehenden Probleme unserer Entwässerungssysteme untersuchen, so lässt sich mit gutem Gewissen sagen, daß diese praktisch nie der gewählten Dimensionierungsmethode anzulasten sind. Der Grossteil der Probleme geht zurück auf unzulässige Vereinfachungen bei der Hydraulik, auf zu schwache Bemessungsannahmen, auf unqualifizierte Anschlüsse zusätzlicher Gebiete, sowie auf konzeptionelle Mängel und Sachzwänge.

Von diesen Problemen schlummern etliche auch heute noch in den stillen Reserven unserer gestrigen Dimensionierung vor sich hin, bis sie sich eines Tages melden, hervorgerufen durch die zunehmende Vollüberbauung und die damit wachsende Netzbelastung, quasi als 'hydraulische Zeitbomben' im Untergrund.

Einerseits sind es gerade diese verschiedenen Zeitbomben, welche erfordern, mit neuen, komplizierten Methoden an die Analyse und Sanierung der hydraulischen Unzulänglichkeiten zu gehen, ohne dabei die Kanalnetze unserer Städte und Dörfer vollständig auf den Kopf zu stellen.

Andererseits sind es die weiteren Zusammenhänge unserer zunehmend gefährdeten Lebensräume, welche uns dazu zwingen, den Auswirkungen der Abwassersysteme auf die Gewässer verstärkte Beachtung zu schenken. Auch hier werden die Methoden von gestern abgelöst oder ergänzt durch neue Instrumente, mit welchen die vielfältigen Fragestellungen in vielen Fällen vertiefter, schneller und umfassender angegangen werden können.

Es muß allerdings klar festgestellt werden, daß diese neuen, oft wesentlich komplexeren Methoden und Instrumente sowohl vom Bearbeiter als auch vom Auftraggeber sowie von der Aufsichtsbehörde wesentlich mehr verlangen als die traditionellen Techniken.

1.2 Neue Zielsetzungen

Die Ziele der Entwässerungsplanung haben sich gegenüber der traditionellen Dimensionierungsaufgabe ganz wesentlich erweitert. Die seinerzeitigen Hauptziele lassen sich etwa auf folgende drei Punkte zusammenfassen:

1. maximaler Schutz gegen Überschwemmungen durch rasche Ableitung des Regenwassers
2. Anschluß aller Abwässer an die Kläranlage, und
3. effiziente Erschließung der Landreserven

Heute liegen die Gewichte in vielen Fällen deutlich anders. Mit der zunehmenden Vollüberbauung wesentlicher Teile unserer Städte und Gemeinden werden die negativen Auswirkungen auf die Vorfluter sichtbar, und es manifestieren sich die hydraulischen und konzeptionellen Mängel unserer Kanalnetze. Die zusätzlichen GEP-Zielsetzungen heißen etwa:

- hydraulische Sanierung unter größtmöglicher Nutzung der vorhandenen Kanalnetz-Infrastruktur,
- Reduktion des Regenwasser-Anfalls durch Maßnahmen an der Quelle,
- Entflechtung von Schmutz- und Sauberwasser,
- Untersuchung und Optimierung der Funktion der Entlastungsanlagen sowie der Regenwasserbehandlung,
- Untersuchung des Speicher-Potentials im Kanalnetz

Wesentliches Merkmal der neuen Zielsetzungen in bezug auf die Berechnungsmittel ist eine veränderte Fragestellung. Die Hauptprobleme sind nicht mehr primär

- wieviel beträgt Q_{max} ?
- wie groß muß die Leitung sein?
- geht es nicht auch etwas kleiner?

Die Fragen, die sich heute stellen, sind zum Beispiel

- wieviel, wie oft, wie lange überläuft Wasser?
- was nützt zusätzliches Volumen im Kanalnetz?
- welchen Nutzen hat eine Fremdwasser-Reduktion?
- wie lange ist der Rückstau wie hoch?
- lässt sich mit einer Netz-Vermaschung der Bau einer größeren Leitung vermeiden?
- wieviel Regenbeckenvolumen erträgt die Kläranlage?

Diese Auswahl dokumentiert, daß die Listenrechnung etliche der heutigen Fragen nicht mehr beantworten kann. Ihre primäre Zielsetzung ist ja eine ganz andere: Sie dient der Bestimmung einer Maximalmenge als Grundlage für die Dimensionierung

von Leitungen, unter der Voraussetzung, daß das Entwässerungsnetz einfach und homogen zusammengesetzt ist.

Mit dem Schwergewicht nicht mehr auf der Dimensionierung neuer Kanäle, sondern auf der Überprüfung und Sanierung vorhandener Leitungsnetze, muss die traditionelle Dimensionierungsmaxime 'Abfluss unter Teilfüllung' in vielen Fällen aufgegeben und ein Überstau in Kauf genommen werden. Dessen Nachweis ist mit den traditionellen Berechnungsmitteln nicht zuverlässig möglich.

1.3 Erweiterte Randbedingungen

In Verbindung mit den heutigen und zukünftigen Zielsetzungen müssen veränderte, d.h. in der Regel verschärfte Randbedingungen berücksichtigt werden.

Die Natur zwingt uns allmählich, die Einschränkungen der Vorfluter zur Kenntnis zu nehmen, wenn wir diese in einem halbwegs naturnahen Zustand erhalten wollen. Das wachsende Verständnis für die ökologischen Zusammenhänge schafft Grundlagen für die Definition von Einleitungsbedingungen aus Trennsystemen, Regenüberläufen und Kläranlagen.

Viele unserer Kläranlagen werden bei Regenwetter mehr oder weniger kräftig durchgespült. Wir beginnen zu realisieren, daß die ARA nicht nur eine Trockenwetterfunktion hat. Die wachsenden Regenbeckenvolumen bewirken, daß die Kläranlage wesentlich mehr Stunden im Jahr Regenwasser zu schlucken bekommt, was uns über kurz oder lang dazu verpflichtet, uns um das **Gesamtsystem ARA + Kanalnetz** zu kümmern anstelle der bisherigen Einzelbetrachtung.

Viele der neuen Fragestellungen sind an statistische Formulierungen geknüpft:

- wie oft überläuft eine Entlastung?
- wie häufig wird der Badebetrieb im Sommer an einem Gewässer in Mitleidenschaft gezogen?
- wie lange wird ein bestimmter Grenzwert überschritten?
- mit welchen Mitteln kann die mittlere jährliche Überlauffracht eines Stoffes begrenzt werden?

Diese teilweise neuen Randbedingungen erfordern eine veränderte Form der Systembelastung, als sie die traditionelle Regenspendelinie darstellt. Historische Regenreihen im Umfang mehrerer Datenjahre ermöglichen in Verbindung mit geeigneten Berechnungswerkzeugen statistische Aussagen in bezug auf Häufigkeit, Fracht und Dauer von Abfluß- und Überlaufwerten.

Nicht mehr die *Statistik des Regens* ist gefragt, sondern die *Ergebnisse der Berechnung* werden mit Hilfe statistischer Kenngrößen beurteilt und interpretiert.

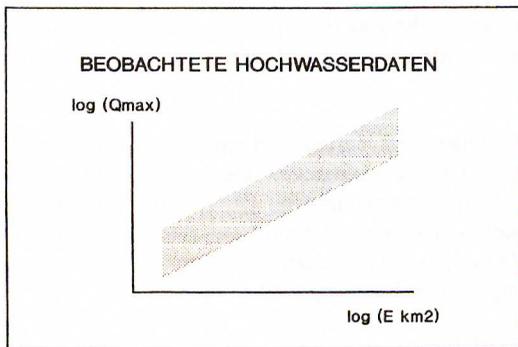
2 VERFÜGBARE BERECHNUNGSWERKZEUGE

Im folgenden Abschnitt soll versucht werden, einen Querschnitt über die vorhandene Palette an Berechnungswerkzeugen zu geben, angefangen von den einfachsten Schätzmethoden bis hin zu den 'Exoten' unter den Simulationsprogrammen.

Die angegebenen Programm-Bezeichnungen stellen eine Auswahl der gegenwärtig in der Schweiz am häufigsten vertretenen Berechnungswerkzeuge dar; die Angaben erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit oder Repräsentativität und stellen keine Empfehlungen dar.

2.1 Schätzmethoden

Einfache Schätzmethoden haben ihren Platz traditionell vor allem im Bereich der Hochwasserberechnungen aus natürlichen Einzugsgebieten mittlerer Größe. Diese Hochwasserformeln sind meistens abgeleitet aus langjährigen Aufzeichnungen von Hochwasserabflüssen, aufgetragen als logarithmische Darstellungen der Abflüsse über zugehörigen Einzugsgebieten.



Daneben findet sich bereits die universelle Abflussformel

$$Q = i \times c \times F$$

wobei die Intensität i auf Schätzwerten beruht, basierend auf Beobachtungen von extremen Regenspenden über bestimmte Dauern, wie Stunden oder Tage.

Beiden Berechnungsverfahren ist eigen, daß ein Bezug auf statistische Grössen, wie der Auftretenswahrscheinlichkeit eines Regens oder einer Hochwassermenge, noch fehlt. Spätere Verbesserungen ermöglichen solche Überlegungen.

2.2 Listenrechnung

Die sog. Rationale Berechnungsmethode, welche sich bei uns weitgehend auf die Abhandlung von Imhoff stützt, war, ist und bleibt wohl auch das Standardwerkzeug für die Ermittlung von Abflussmengen, sowie für die Dimensionierung von Entwässerungsanlagen bei unkomplizierten und übersichtlichen Verhältnissen.

Entscheidendes Merkmal der Fließzeitberechnung ist der Bezug zur statistischen Auswertung von Starkregen in Form von Intensitätskurven (Regenspendelinien), welche in verschiedenster Form die Abminderung der Niederschlags-Intensität in Funktion der Regendauer beschreiben.

Regenspendelinien werden aufgrund einer statistischen Auswertung für verschiedene Wiederkehr-Häufigkeiten definiert. Diese werden vom Anwender in der Regel unbesehen auch als diejenigen Häufigkeiten verstanden, mit denen der berechnete Maximalabfluss auftritt und für welche das so dimensionierte Entwässerungssystem periodisch überlastet wird.

Wachsende Anforderungen auf allen Bereichen der Entwässerungstechnik einerseits, sowie die verbesserten Kenntnisse über die Siedlungshydrologie andererseits haben im Verlauf der Zeit dazu geführt, dass die Fließzeit-Berechnung in verschiedener Hinsicht modifiziert und verfeinert, teilweise aber auch verbogen und vergewaltigt wurde.

Interessante Verbesserungen und Verfeinerungen lassen sich unter anderem in Ländern beobachten, welche aus politischen oder andern Gründen computer- und simulationstechnisch weniger verwöhnt sind als wir. Diese Anpassungen umfassen zum Beispiel häufigkeits- und dauerabhängige variable Abflussbeiwerte, sowie flächenabhängige Abminderungsannahmen zur Berücksichtigung der ungleichförmigen Überregnung grosser Einzugsgebiete.

Bekannte Vertreter solcher Verbesserungen sind zum Beispiel die im deutschen ATV-Arbeitsblatt A118 beschriebenen Methoden mit Zeit-Abfluss-Faktoren nach Pecher oder das Summenlinien-Verfahren nach Kehr.

'Motorisierte' Listenrechnungen nach dem Zeitbeiwert-Verfahren sind heute als ausgereifte Programme von verschiedenen Anbietern zu haben. Diese sind für viele Anwendungen mit geringen Anforderungen bezüglich Hydraulik gut geeignet. Darüberhinaus sind sie als Bemessungswerkzeuge auch in Verbindung mit

komplexen Programmen eine wichtige Ergänzung, da diese in der Regel nicht selber dimensionieren können.

Unterschiede bestehen in bezug auf den Standard hinsichtlich Darstellungskomfort sowie teilweise hinsichtlich Hydraulik bei der Behandlung der Fließzeiten und Teilflächen an Kanalvereinigungen.

2.3 Hydrologische Verfahren

Mit diesem Begriff werden Berechnungen umschrieben, welche die Abflussbildung auf der Oberfläche sowie die Ganglinien-Verformung während dem Transport im Entwässerungssystem durch mathematische Transformationsmethoden beschreiben.

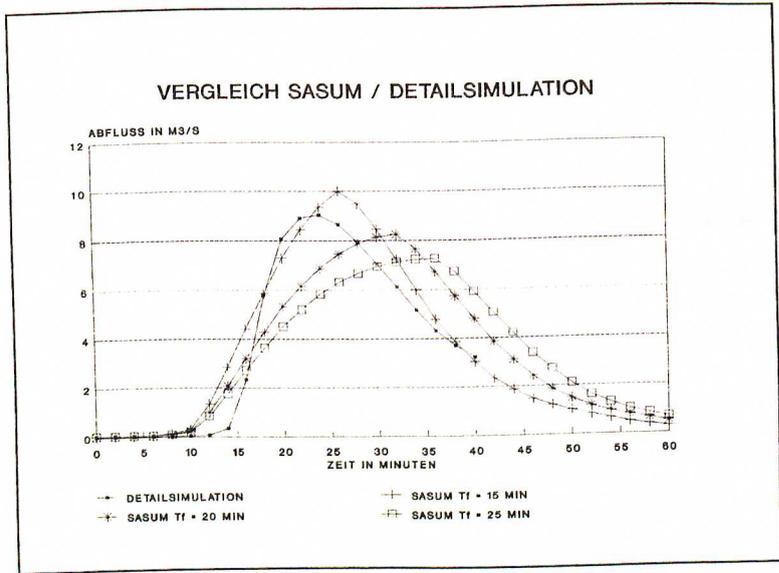
Die modellmässige Behandlung der beiden Teilsysteme Oberfläche und Kanalnetz kann dabei sowohl getrennt als auch gemeinsam erfolgen. Häufig ist die Abgrenzung zwischen den beiden Bereichen ohnehin nicht scharf definiert:

- das Transportsystem umfasst z.B. nur die Hauptkanäle, häufig in vereinfachter oder zusammengefasster Form,
- die untergeordneten Teile des Entwässerungssystems wie z.B. die Nebkanäle werden dem abflussbildenden Oberflächen-system zugerechnet

Diese Berechnungsverfahren eignen sich besonders für Problemstellungen, welche sich primär auf einzelne wenige Punkte des Entwässerungssystems beziehen, sog. 'End-of-Pipe-Probleme'.

Exakte Wasserspiegel- und Rückstauverhältnisse können bei diesen Berechnungen im allgemeinen nicht berechnet werden. Meist werden die exakten Sohlkotenverhältnisse nicht berücksichtigt, sodaß auch Abstürze und dergleichen nicht in die Berechnung einfließen. Fliessumkehrungen können nicht erfasst werden, und horizontale Leitungen sowie solche mit Gegengefälle sind nicht zulässig.

Die möglichen Unterschiede zwischen den hydrologischen Verfahren und der hydrodynamischen Simulation zeigt stellvertretend nachfolgender Vergleich der Q-Ganglinien der Programme SASUM und MOUSE, bei Variation der Anlaufzeit als einem von mehreren SASUM-Parametern.



Der benötigte Datenumfang dieser Verfahren ist im Vergleich zu den noch zu beschreibenden Abflussmodellen meistens relativ bescheiden. Ergebnisse können mit minimalem Aufwand und in kurzer Zeit erarbeitet werden. Sie eignen sich deshalb besonders gut für rasche Untersuchungen einfacher Probleme mit minimalen Unterlagen.

Andererseits sind bei den hydrologischen Verfahren die Anforderungen an die Erfahrung des Anwenders erheblich, weil im Bereich der Abflusswellen-Verformung mit Parametern gerechnet wird, welche noch eher selten zum üblichen Grund-Repertoire des Entwässerungsingenieurs gehören, wie zum Beispiel Koeffizienten für Linearspeicher. Auch die Annahmen zur Abflussbildung, wie Fließzeit, Bodenkennwerte und Vorregen-Indices verlangen große Umsicht und Erfahrung.

Bekannte Vertreter dieser Programm-Kategorie sind z.B. SASUM im Modus Detailberechnung, InterHYMO und ILLUDAS. Verschiedene Langzeit-Simulationsmodelle verwenden sinngemässe Ansätze, wie etwa KOSIM.

2.4 H-D-Abflussmodelle

Hydrodynamische Abflussmodelle haben in unseren Breiten beginnend mit den Kanalnetzberechnungen durch die Firma Dorsch aus München in verschiedenen Städten in den 70er Jahren eine erste Premiere gegeben. Die erforderlichen umfangreichen Berechnungen erfolgten zur damaligen Zeit meistens auf Großrechneranlagen im Ausland, was in bezug auf die Rechenkosten massiv zu Buche schlug.

Diese Rechenkosten, verbunden mit andern effektiven oder subjektiv empfundenen Nachteilen, wie etwa der Abhängigkeit von Spezialfirmen führten dazu, dass es nach diesen anfänglichen Gastspielen um diese 'exotischen' Methoden wieder relativ still wurde, und eine Rückbesinnung erfolgte auf die Listenrechnung, sowie auf verfeinerte Methoden mit Flutplan, Einheitsganglinien und ähnlichem.

Der allmähliche Einzug von Rechnersystemen in der Verwaltung, in Forschungsinstitute im Bereich der Siedlungsentwässerung sowie in grössere Ingenieurfirmen, verbunden mit der 'Vulgarisierung' von Simulationsprogrammen im nordamerikanischen Raum durch Veröffentlichung der Software durch die amerikanische Umweltschutzbehörde, brachte auch bei uns eine, wenn auch vorerst allerdings noch zaghafte, Renaissance für die Abflussmodelle.

Der Personal-Computer brachte alsdann die entscheidende Wende: Simulationsprogramme mit beinahe beliebiger Komplexität finden nun auf jedem Schreibtisch auf einigen Quadratdezimetern Platz.

Mit dem Begriff 'Dynamisches Modell' wird in der Regel nur der Transport-Teil eines Simulationsprogramms beschrieben. Dieser ist neben dem Oberflächen-Abflussmodell meistens als separates Modul im Rechensystem enthalten. Die beiden Teile werden nachfolgend getrennt erläutert.

2.4.1 *Das Oberflächen-Abflussmodell*

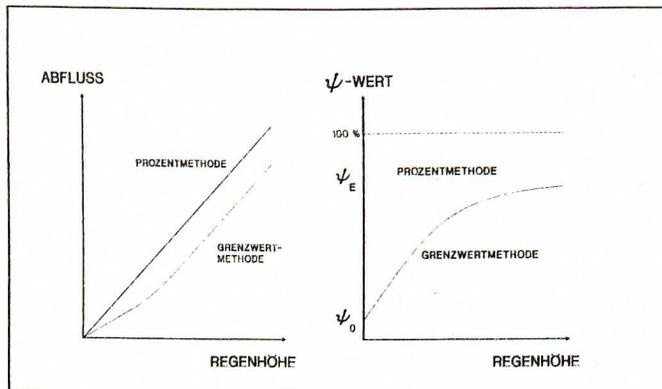
Das Teilmodell für die Simulation der Abflussbildung auf der Oberfläche bis zum Anschluss an den Kanal kann nach verschiedenen hydrologischen Ansätzen gestaltet sein. Einige Programme ermöglichen die Wahl zwischen unterschiedlich komplizierten Modellen, abhängig z.B. von den Anforderungen an den benötigten Detaillierungsgrad und von den verfügbaren Daten für den Gebietsbesrieb.

Für den Bearbeitungsgrad eines üblichen GEP reicht in der Regel ein einfacher Gebietsbesrieb aus, entsprechend zu den in konventionellen Kanalnetzberechnungen vorhandenen Daten über Grösse der Teilfläche und Abflussbeiwert.

Modelltechnisch wird dabei der traditionelle Abflussbeiwert in den meisten Programmen ausgedrückt als Produkt aus Befestigungsgrad und Abflussanteil, sinngemäss zu üblichen Richtlinien für die Bestimmung oder Annahme der Spitzenabflussbeiwerte.

Es ist jedoch zu beachten, dass der traditionelle Spitzenabflussbeiwert streng genommen nur für die Listenrechnung mit einem Blockregen als Inputgrösse Gültigkeit hat; im Abflussmodell kommen andere Regen-Abfluss-Transformationsmechanismen zur Anwendung.

Der erwähnte Abflussanteil wird abhängig vom Modellansatz konstant angenommen (Abflussprozentmethode), oder er wird variiert in Funktion der Muldenauffüllung abhängig vom Regenverlauf über die Zeit (Grenzwertmethode), siehe nachstehende Abbildung.



Die Anfangsverluste für Oberflächen-Benetzung, Mulden-Auffüllung und Interzeption durch die Vegetation, sowie die Dauerverluste durch Verdunstung können modellabhängig ebenfalls berücksichtigt werden. Diese Verluste spielen bei der Einzelereignis-Simulation mit Starkregen für Dimensionierung oder Nachweis im allgemeinen eine untergeordnete Rolle.

Im Gegensatz dazu ist deren Einfluss bei der Langzeit- oder Kontinuum-Simulation (siehe später) wesentlich, bedingt durch die anteilmässig stärkeren Auswirkungen auf die schwachen Regen.

Abhängig von den lokalen Verhältnissen kann der Einbezug des Abflusses von den unbefestigten Flächenanteilen sowie von natürlichen Beizugsgebieten erforderlich

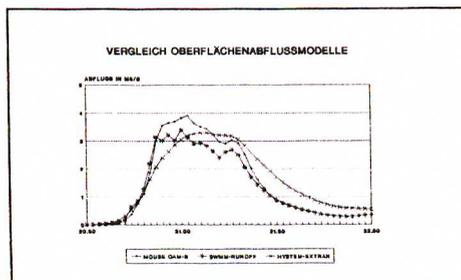
sein. Hierzu bieten sich hydrologische Modellansätze an mit Berücksichtigung des Infiltrationspotentials und des Sättigungsverhaltens des Bodens, welche die wirklichkeitsnahe Simulation des Abflussverhaltens solcher Flächen ermöglichen.

Ohne an dieser Stelle auf diese Berechnungen einzugehen muss betont werden, dass die Simulation natürlicher Gebiete wegen des sättigungsbedingten nicht-linearen Verhaltens um Größenordnungen empfindlicher und schwieriger ist als die Berechnung vorwiegend befestigter Siedlungsgebiete.

Die Simulation der Abflussbildung unter Berücksichtigung der vorgenannten Beiwerte und Verlustannahmen erfolgt zum Beispiel über Einheitsganglinien, Isochronenmethoden oder kinematische Speicheransätze, wobei alle Verfahren ihre Gegner und Befürworter haben.

Zu berücksichtigen ist insbesondere, dass die Abflussbildung abhängig von den beteiligten Flächenarten und Fließwegen einen Mittelungsprozess darstellt, der von verschiedenen Modellen unterschiedlich gut wiedergegeben werden kann. Wichtig sind etwa folgende Gesichtspunkte:

- extreme Regenintensitäten werden z.B. durch limitierende Dachrinnen und Einlaufschächte begrenzt oder abgeschwächt,
- durch verstopfte Strasseneinläufe erfolgen wesentliche Umlagerungen des Oberflächenabflusses von höhergelegenen in tieferliegende Gebiete,
- Anlauf- und Fließzeiten sind intensitätsabhängig und nicht konstant,
- unterschiedliche Eignung für kleine Teilgebiete bis zu z.B. 3 ha gegenüber großen Teilflächen,
- unterschiedliche Empfindlichkeiten hinsichtlich der Grösse der Regendaten- sowie der Berechnungs-Zeitschritte, siehe nachstehendes Beispiel:



2.4.2 Das Transport-Modell

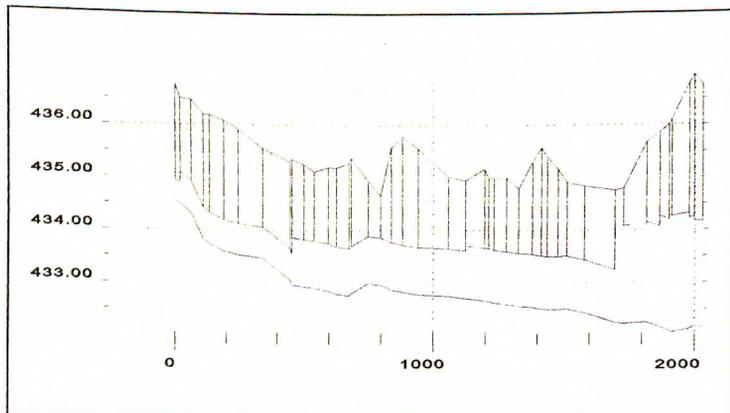
(a) Allgemeine Gesichtspunkte

Abhängig vom verwendeten Lösungsansatz basieren H-D-Abflussmodelle in bezug auf die Hydraulik nicht mehr auf der simplen Normalabfluss-Hydraulik wie die Listenrechnung sowie die meisten hydrologischen Verfahren, sondern sie erfassen die Wasserbewegung in einem Netz von Kanälen bestehend aus Knoten und Verbindungselementen mittels der Differentialgleichungen für Bewegung und Kontinuität.

Die Wasserbewegung im System ist damit nicht mehr in erster Näherung abhängig vom Gefälle einer Leitung, sondern von den jeweiligen Spiegel- oder Druckverhältnissen an den Netzknoten. Daraus erklärt sich, dass das Wasser nun analog zur Wirklichkeit auch in der Simulation rückwärts, d.h. kanalaufwärts fließen kann, sofern zufluß- oder rückstaubedingt der Spiegel unterhalb rascher und höher ansteigt als oben.

Horizontale Kanäle oder solche mit Gegengefälle können nunmehr bezüglich ihrer Auswirkungen auf das Gesamtsystem korrekt erfasst werden. Abflusstrennungen an Netzvermaschungen werden in Funktion der jeweiligen hydraulischen Belastung in allen Kanälen korrekt berücksichtigt.

Die Loslösung der Berechnung vom Kanalgefälle ist von massgebender Bedeutung für den hydraulischen Nachweis von Entwässerungssystemen mit nicht-scheitelbündigen Kanälen. Diese Situation ist in flachen Kanalnetzen praktisch überall anzutreffen, siehe nachstehendes Beispiel.



Besonders in Gebieten mit schlechtem Baugrund sind Verhältnisse wie im gezeigten Beispiel nicht aussergewöhnlich. Geringe natürliche Gefällsverhältnisse zwingen oft zu den gezeigten Kompromissen bezüglich Längenprofil.

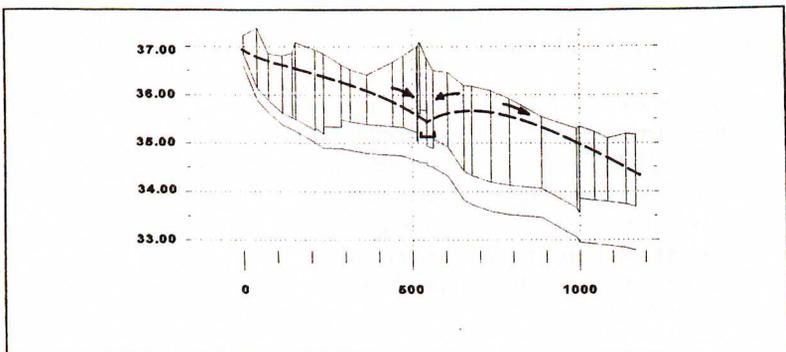
Die Normalabflussbetrachtung ergibt unter den erwähnten Verhältnissen wesentlich zu optimistische Verhältnisse, weil die Spiegel- und Energielinien-Gefälle flacher verlaufen als die Sohlenlinie. Im Extremfall liegt der Wasserspiegel bei ungefährer Vollfüllung praktisch horizontal, und der Abfluss erfordert zwangsläufig den Einstau des Systems.

(b) *Hydraulische Eigenschaften*

H-D-Modelle berücksichtigen im Gegensatz zu einfachen Ansätzen den Inhalt des Kanalnetzes. Flache Kanäle mit großen Kalibern führen daher im teilgefüllten Abflussbereich zu einer merklichen Dämpfung der Abflusswelle. Bei der Listenrechnung kommt dies nur angenähert, auf dem 'Umweg' über die längere Fließzeit ein Stück weit zum Ausdruck, in Funktion des Sohlengefälles.

Diese Dämpfung und Umverteilung der Abflusswelle kommt beim Abfluss unter Druck im überlasteten flachen System nicht mehr zum Tragen. Das Entwässerungsnetz verhält sich in diesem Fall sinngemäss zu einem kommunizierenden System, und die Rückstauspiegel steigen praktisch überall gleichzeitig an. Die Fließzeitberechnung 'merkt' von diesen Verhältnissen naturgemäss nichts.

Währenddem wir uns bei der Listenrechnung buchhalterisch mit Weiterleitungs- und Übernahmemengen von Entlastungspunkten oberhalb abgeben müssen und die Weiterleitungsmengen an Abflusstrennungen über konstante Prozentwerte zu steuern sind, kümmert dies die hydrodynamische Berechnung nicht: Die Simulation berücksichtigt belastungsabhängig die Weiterleitungsbedingungen an Trennbauwerken, Überläufen und Netzvermaschungen.



Wie im vorstehenden Beispiel dargestellt zeigt die hydrodynamische Berechnung ebenfalls auf, dass an Regentlastungen in flachen Gebieten bei Überlastung die Weiterleitungsbedingungen oft nicht eingehalten sind, weil infolge Rückstau die Kapazität kanalabwärts nicht ausreicht, oder im Extremfall aus dem System unterhalb sogar Wasser über die Drosselstrecke auf die Entlastung zurückfließt.

(c) *Numerische Behandlung*

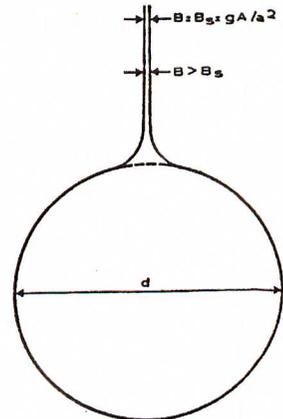
Für H-D-Modelle sind verschiedene mathematische Lösungsverfahren gebräuchlich, die sich für den Benutzer jedoch nicht dramatisch unterscheiden. Die Methoden unterteilen sich hauptsächlich nach impliziten und expliziten Lösungen der umfangreichen Gleichungssysteme, wobei im ersten Fall drastische Änderungen der Abfluss- oder Spiegelverhältnisse im Kanalnetz durch Iterationen überbrückt werden.

Die Berechnung der komplizierten hydraulischen Zusammenhänge im dynamischen Modell benötigt in der Regel kleine Rechen-Zeitschritte im Sekundenbereich, abhängig vom verwendeten numerischen Lösungsverfahren und von den Eigenschaften des simulierten Kanalnetzes. Explizite Verfahren benötigen im allgemeinen kleinere Zeitschritte als implizite Techniken. Gewisse Modelle ermöglichen variable Zeitschritte für die Berechnung, abhängig von den Anforderungen des hydraulischen Systemverhaltens.

Die Stabilität der numerischen Behandlung der Hydraulik verlangt grundsätzlich, dass ein betrachtetes Wasserteilchen im Berechnungsschritt das betrachtete Netzelement nicht 'überspringt'. Kurze Leitungsteilstücke und steile Gefälle sind daher bezüglich Stabilität empfindlicher als lange und flache Abschnitte. Ebenso kommen Abflüsse im Freispiegelbereich mit grösseren Zeitschritten aus als rückgestaute Systeme; auch Überläufe mit raschem Spiegelanstieg bis zur Wehrkote sowie Hebewerke erfordern kleine Zeitschritte.

(d) *Behandlung von Überlastungen*

Die Behandlung überlasteter Kanalnetze ist ein wesentliches Element der Simulationsmodelle: Da die verwendete Abflussbeschreibung nach Barré de St. Venant definitionsgemäss nur für offene flache Kanäle gilt, sind bei geschlossenen Querschnitten im Rückstaubereich Hilfskonstruktionen notwendig. Ein Beispiel ist der sog. 'Preissmann-Slot' in nebenstehender Abbildung.



Bei starker hydraulischer Überlastung kann die Rückstaulinie in der Simulation die Deckelhöhe erreichen. Für diese Situation bestehen bei den verschiedenen Programmen erhebliche Unterschiede bezüglich der Behandlung des Überstaus:

- Überlauf geht aus dem System verloren und wird allenfalls buchhalterisch erfasst, d.h. aufsummiert,
- Anstieg als theoretische Drucklinie über Terrain,
- Akkumulierung und Rückfluss nach Rückstau-Ende, oder
- Weiterleitung auf der Oberfläche nach zu definierenden Regeln

Je nach Situation können eine oder mehrere der vier Varianten sinnvoll sein. Wichtig ist aber, dass der Anwender die Randbedingungen kennt.

Typische Vertreter der dynamischen Modelle sind z.B. Hystem-EXTRAN, SWMM-EXTRAN in verschiedenen Versionen, C-PLAN-Software, Dorsch-GVM, MOUSE.

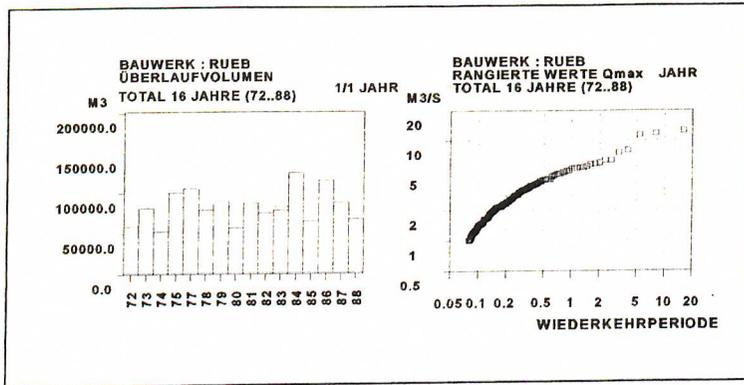
2.5 Langzeit-Simulationsmodelle

Zahlreiche Aufgabenstellungen verlangen heute nicht mehr nur ereignisbezogene Berechnungen, z.B. für einen Dimensionierungsregen. Gefragt sind Angaben über Volumen, Dauer und Häufigkeit von Abfluß- oder Überlaufmengen. Mithilfe der sogenannten Langzeit- oder Kontinuum-Simulation unter Verwendung von Regenkatalogen, Regenspektren oder historischen Regenserien lassen sich solche Ergebnisse ermitteln.

Entsprechend ihrer grobmaßstäblich-konzeptionellen Zielsetzung sind Langzeit-Simulationsmodelle in bezug auf Hydraulik und Hydrologie meist relativ einfach aufgebaut und umfassen den Beschrieb des Entwässerungsnetzes und seiner Systemparameter in stark zusammengefasster Form. Dadurch wird es möglich, mehrere Daten-Jahre aufgezeichneter Regen innert kurzer Zeit durchzurechnen.

Spezifisch für diese Anwendung ausgelegte Auswertungs- und Darstellungs-routinen ermöglichen die Ausgabe der Ergebnisse in konzentrierter statistischer Form, teilweise unterstützt durch graphische Darstellungen. Der Entwicklungsstand der verschiedenen Programme in bezug auf die Ausgabe ist sehr unterschiedlich.

Das Beispiel auf der folgenden Seite zeigt eine Ergebnisdarstellung für eine Berechnung mit 16 Jahren Regendaten als Überlaufkennwerte an einem typischen Regenbecken.



Die Eingabe der Gebiets- und Netzdaten erfolgt meist direkt im Konzept-Maßstab für das zu berechnende System. Die detaillierten Netzdaten des GEP müssen zu diesem Zweck gegebenenfalls grobmaßstäblich umgesetzt werden. Für die zusammengefassten Gebiete müssen die Anlauf- und Fließzeiten geschätzt werden.

Einige Modelle besorgen diese Kanalnetz-Vereinfachung bei bereits vorhandenen detaillierten Systemdaten sowie die Umsetzung in das konzeptionelle System gleich selbst. Übrig bleiben bei der Zusammenfassung einzig Trennbauwerke, Entlastungen, Regenbecken und Auslaufpunkte.

Für die Anlauf-Charakteristik der zusammengefassten Teilsysteme werden bei einzelnen Modellen fließzeitabhängig mehrere Zeit-Flächen-Einflusslinien ermittelt und gespeichert, welche bei der Berechnung abhängig von der mittleren Intensität eingesetzt werden. Der Abfluss schwacher Regen wird damit gegenüber den Starkregen deutlich verzögert, was im Vergleich zu konstanten Einheitsganglinien realistischere Verhältnisse ergibt.

Entsprechend den Vereinfachungen in der modellmässigen Behandlung werden unter Umständen wesentliche Elemente des Kanalnetzes nicht berücksichtigt, wie z.B. Abfluss-Begrenzungen, oder zeitvariable Weiterleitungsbedingungen an Regenüberläufen. Diese Programm-Einschränkungen müssen vom Anwender selbst erkannt und nötigenfalls in geeigneter Form bei der groben Systemdefinition einbezogen werden. Da in der Regel nicht primär die seltenen extremen Ereignisse interessieren, sondern die häufigen geringeren Abflüsse, sind diese Einschränkungen je nach den Verhältnissen nicht einschneidend.

Für Entlastungen unmittelbar vor oder auf Kläranlagen sowie bei kleinen Weiterleitungsmengen spielt der Tagesgang des Trockenwetterzuflusses eine Rolle, ebenso wie die exakte Annahme des QTW und des Fremdwasseranfalls überhaupt. Die diesbezüglichen Möglichkeiten der verfügbaren Programme sind sehr unterschiedlich und daher je nach Problemstellung zu beachten.

Typische Vertreter dieser Modell-Kategorie sind die Programme SASUM, KOSIM und MOUSE-SAMBA. In der BRD sind verschiedene weitere Programme im Einsatz, zum Teil mit länderspezifischen Eigenschaften.

Die genannten Programme unterscheiden sich teilweise deutlich bezüglich der spezifischen Eigenschaften und Möglichkeiten. Für 'normale' Anwendungsfälle wie Hochwasserentlastungen und Regenbecken in üblichen Grössen sind die Ergebnisse bezüglich der Überlaufkennwerte jedoch weitgehend vergleichbar.

In speziellen Anwendungsfällen sind Vergleichsrechnungen mit verschiedenen Programmen empfehlenswert.

Der breiteren Anwendung solcher Vergleichsrechnungen stehen vorläufig leider noch die unterschiedlichen Formate für System- und Regendaten als Haupthindernis im Weg.

2.6 Qualitäts-Simulation

Programme für eine realistische detaillierte Simulation des Stofftransports und qualitativer Stoff-Veränderungen in Kanalnetzen und Gewässern sind gegenwärtig noch äusserst dünn gesät. Einzelne Simulationswerkzeuge für die hydrodynamische Simulation sind teilweise für diese Aufgabe nachrüstbar.

Anwendung, Eichung und Verifikation dieser Modelle sind sehr anspruchsvoll und erfordern Fachleute aus allen beteiligten Disziplinen, d.h. nebst Hydraulik-Ingenieuren auch Limnologen, Chemiker und Biologen.

Die Simulation von Qualitäts-Parametern besteht aus wesentlich mehr als dem Verknüpfen von Stoffkonzentrationen mit Wasserelementen. Klar ersichtlich ist dies vor allem in bezug auf das ungleiche Verhalten gelöster und partikulärer Stoffe in Funktion des Absetzverhaltens der letzteren. Wachstums-, Umwandlungs- und Abbauprozesse erfordern sehr genaue Kenntnisse der Umgebungsverhältnisse im Gewässer, wie Temperatur, pH-Wert, etc.

Als Vertreter dieser Programme sind zu nennen SWMM und MOUSE, QUAL-2 und MIKE-11, wobei die beiden letzteren vor allem für offene Gewässer entwickelt

wurden, währenddem SWMM und MOUSE für Kanalnetze im Siedlungsgebiet geeignet sind.

Stoff-Simulation mit Fracht-Modellen:

Die Langzeit-Simulationsprogramme KOSIM und MOUSE-SAMBA können in vereinfachter Form Stoffwerte berücksichtigen. Die spezifizierten Konzentrationsgrundwerte für die Stoffe werden an den Berechnungspunkten mit der Wasserfracht pro Zeitschritt multipliziert und in die Teilströme Überlauf und Ablauf getrennt.

Ein eigentlicher Transportmechanismus fehlt somit; weitergehende Einflussgrößen wie intensitätsabhängige Oberflächen-Abschwemmung, Ablagerung und Resuspension im Kanalnetz sowie physikalische oder chemische Veränderungen werden nicht oder nur sehr vereinfacht berücksichtigt. Das Stoff-Angebot ist proportional zur Jahresregenmenge und hat keine Relation zum Gebietscharakter; eine Eichung und Verifikation, z.B. mit ARA-Zuflussdaten, ist schwer realisierbar.

Diese stark vereinfachte Stoff-Behandlung beschränkt die Anwendung der Stofffracht-Ergebnisse dieser Modelle auf grobe relative Vergleiche verschiedener Entwässerungskonzepte, sowie auf die Untersuchung der relativen Verdünnung punktueller Stoffzuflüsse, z.B. aus Industriebetrieben.

Für Absolutwerte von Stofffrachten sind diese Berechnungen nicht oder nur mit großen Vorbehalten und für ausgewählte konservative Parameter verwendbar. Exakte Bilanzierungen der Stoffmengen unter Berücksichtigung von Absetzung, Abschwemmung und Schlamm-Ablauf aus Regenbecken fehlen, ebenso meistens der Stoff-Eintrag über den Niederschlag.

2.7 Steuer-Programme

Programme für die Untersuchung, Optimierung und Bewirtschaftung von Steuer-systemen in Kanalnetzen sind für den Normalverbraucher-Ingenieur im heutigen Zeitpunkt eher noch als 'Exoten' zu bezeichnen.

Diese Aufgabenstellung ist jedoch im Begriff, sich langsam im Bewusstsein der Betreiber von grösseren Entwässerungsnetzen einzunisten. Je mehr Regenbecken und Speicheranlagen in einem Netz in Betrieb gesetzt werden, desto klarer tritt zutage, dass diese kostspieligen Installationen ihren Aufgabe nur dann richtig wahrnehmen können, wenn ihre Funktionen zentral überwacht und gesteuert werden.

Ohne Koordination wird jedes Regenbecken dann leerlaufen, wenn die lokalen Bedingungen dies ermöglichen. Das Risiko ist dabei gross, dass der mit großen

Investitionen zurückgehaltene Beckeninhalte nicht in die Kläranlage gelangt, sondern über diverse dazwischenliegende, noch in Funktion stehende Entlastungen und Regenbecken in den Vorfluter verloren geht.

Sinngemäß bleiben Rückhaltebecken teilweise leer oder nur teilgefüllt, währenddem unterliegende gefährdete Ortsteile weiterhin mit Überschwemmungen leben müssen, weil die Zuteilung der vorhandenen Stapelkapazitäten nicht an die variable Systembelastung angepasst ist.

Der Nutzen einer Speichereinrichtung ist damit im besten Fall zwar lokal noch vorhanden, bezogen auf das Gesamtsystem jedoch mit grosser Wahrscheinlichkeit stark reduziert. Das geschilderte Problem wird durch nur grob eingestellte Weiterleitungsmengen sowie Fremdwasser-Einflüsse zusätzlich verschärft.

Simulationsprogramme für Berechnungen im Detailmaßstab sowie für Langzeitberechnungen ermöglichen bzw. unterstützen die Untersuchung von Entwässerungskonzepten im Hinblick auf eine Abschätzung des potentiellen Nutzens von Koordinationsmassnahmen an Beckensteuerungen. Einzelne Programme verfügen zu diesem Zweck über fest eingebaute oder separat erhältliche Optionen für die Simulation von Steuer-Eingriffen.

Aufgrund dieser Möglichkeiten kann es sinnvoll sein, solche Programme ebenfalls für die Steuerung von Anlagen im Kanalnetz einzusetzen. Software für Meß- und Steuerungsaufgaben benötigt jedoch einen besonderen Zuschnitt, wobei im Idealfall ein Programm auf die spezifische Applikation angepasst wird. Für Online-Meß- und Steuerungsaufgaben sind spezielle Echtzeit-Betriebssysteme erforderlich, welche die Zuteilung der Rechnerzeit auf die verschiedenen Aufgaben wahrnehmen.

Gegenwärtig sind die ersten Steuer-Versionen einiger bestehender Softwaresysteme in Erprobung, so von Hystem-EXTRAN, Dorsch-GVM und MOUSE. Weitere Entwicklungen sind aber für die nächste Zukunft abzusehen.

3 DATEN-BEDÜRFNISSE

Die verschiedenen besprochenen Software-Werkzeuge weisen entsprechend der unterschiedlichen Anwendungsgebiete und Zielsetzungen wichtige Unterschiede auf hinsichtlich der Daten-Erfordernisse. Die folgenden Abschnitte sollen diesen Gesichtspunkt etwas vertieft beleuchten, da hier erfahrungsgemäss große Vorstellungs- und Auffassungsunterschiede bestehen. Das Schwergewicht liegt auf besonderen Erkenntnissen aus der praktischen Arbeit.

3.1 Abgrenzung Berechnungsgebiete

Die Einteilung der Berechnungsgebiete stützt sich bei einem neuen GEP aus praktischen Gründen häufig auf diejenige der bestehenden Entwässerungsplanungen. Diese Basis ist zwar einleuchtend, doch sind bei Neuberechnungen unter Umständen einige andere Gesichtspunkte mitzubersücksichtigen.

Berechnungsprogramme der neusten Generation ermöglichen die Berechnung von grossen zusammenhängenden Kanalnetzen ohne Aufteilung, abhängig vom Speicherplatz im Rechner. Damit entfällt eine wichtige Einschränkung. Allerdings ist aus arbeitstechnischen Gründen eine Unterteilung in Berechnungsgebiete sinnvoll, damit z.B. Systemteile mit geringem Sanierungsbedarf nicht als Ballast in jeder Sanierungsrechnung mitgeschleift werden. Grosse Berechnungsgebiete bieten zudem oft erhebliche Probleme bei der Ergebnis-Interpretation sowie bei der Abgrenzung von Ursache und Auswirkung von Ueberlastungen.

Die Nahtstellen zwischen einzelnen Berechnungsgebieten müssen hydraulisch eindeutig definiert sein, d.h.:

- (1) Der Abflusspunkt muss rückstaufrei sein und darf vom Kanalsystem unterhalb nicht beeinflusst werden.
- (2) In flachen Systemen, wo diese Bedingung nicht eingehalten werden kann, muss der Rückstau von unten durch eine Wasserspiegel-Randbedingung in Funktion der Zeit zusätzlich definiert sein.

Diese dynamischen Randbedingungen sind gegebenenfalls durch eine vorhergehende Grobberechnung des Gesamtsystems zu ermitteln.

Bei der traditionellen Listenrechnung bilden Entlastungsanlagen häufig die Schnittstellen zwischen verschiedenen Berechnungsgebieten, mit nominell definierten Weiterleitungsbedingungen. Diese Trennungsstelle für die Berechnung ist für Abflussmodelle in der Regel nicht sinnvoll, da bei flachen Systemen die hydraulischen Verhältnisse im Netz unterhalb einen wesentlichen Einfluss haben auf die Weiterleitungsbedingungen. Berechnungsabschnitte sollten daher nur in begründeten Fällen bei Entlastungsanlagen angenommen werden.

3.2 Einzugsgebiete

Die Definition der Einzugsgebiete und die darauf verwendete Sorgfalt muss in einem realistischen Verhältnis stehen zum verwendeten Abflussmodell. Es macht wenig Sinn, für einen möglichst zuverlässigen Ist-Zustand ein exaktes hydro-

dynamisches Modell einzusetzen, und dann bei der Definition der Einzugsgebiete mit vereinfachten und pauschalen Annahmen zu arbeiten.

Besonders bei hoch belasteten Kanalnetzen spielt die zuverlässige Ermittlung der abflusswirksamen Flächen eine massgebende Rolle. Rückstau über Scheitel in überlasteten Netzen reagiert viel sensibler als der berechnete Maximalabfluss, da die Verbundwirkung des Systems zur Auswirkung kommt. Q_{max} wird begrenzt durch die Systemkapazität, der Rückstau jedoch nicht.

Exakt erhobene Flächendaten sind zudem eine wichtige Grundlage für die Untersuchung des Potentials für alternative Entwässerungsmaßnahmen, wie z.B. die Abkopplung von Dachflächen zur Versickerung. Es ist in den wenigsten Fällen realistisch, solche Optionen allein auf Abflussbeiwert-Basis pauschal abhandeln zu wollen - solche Übungen haben bei der praktischen Realisierung wenig Aussicht auf Erfolg.

Für Berechnungen im Konzept-Massstab gelten teilweise andere Gesichtspunkte als bei der Detailberechnung.

In Verbindung mit der Untersuchung von Regenbecken, im besonderen in bezug auf die Abflussmenge in Richtung Kläranlage, ist die realistische Einschätzung der abflusswirksamen Fläche wichtig. Für Frachtmodelle ist nicht der Spitzenabflussbeiwert massgebend, sondern der Gesamtabflussbeiwert. Dieser liegt in der Regel näher beim planimetrisch erfassten Befestigungsgrad als der ψ -Wert.

Dem Anfangsverlust kommt bei der Frachtberechnung eine wesentlich grössere Bedeutung zu als bei der Detailberechnung einzelner Starkregen; bestimmt dieser doch massgeblich, welcher Volumenanteil bei schwachen Regen noch zum Abfluss in die Kläranlage gelangt.

3.3 Entwässerungsnetz

Die Aufbereitung der Netzdaten für die Berechnung verlangt einige spezielle Überlegungen, wenn Abflussmodelle verwendet werden. Im besonderen ist zu entscheiden, ob primär eine gute Übersichtlichkeit und hohe Rechen-Effizienz, oder eine möglichst exakte Systemabbildung wichtig sind.

3.3.1 Schematische Systemabbildung

Wie im Abschnitt über hydrodynamische Modelle erwähnt sind kurze Leitungsabschnitte aus Gründen der numerischen Stabilität nachteilig. Von Fall zu Fall ist vorgängig abzuklären, welche Folgen kurze Leitungen auf die Berechnung haben,

bzw. welche Massnahmen eventuell im Programm zur Abwendung von numerischen Problemen getroffen werden, z.B. die künstliche Verlängerung kurzer Haltungen auf eine Mindestlänge.

Für viele Anwendungen kann als Grundsatz gelten, dass für die Berechnung das hydraulische System in seiner Funktion möglichst übersichtlich und realistisch abgebildet werden sollte, ohne dass alle Details wiedergegeben werden, obwohl diese im Idealfall im Kanalkataster exakt dokumentiert sind. Eine übertriebene Detaillierung reduziert die Übersichtlichkeit und erhöht den Aufbereitungs- und Berechnungsaufwand, ohne dass ein entsprechender Gewinn an Rechengenauigkeit resultiert.

Bei der Datenaufbereitung zur Berechnung werden kurze Leitungen ohne hydraulische Relevanz daher vorteilhaft zum anschliessenden Kanalabschnitt oberhalb oder unterhalb gerechnet und die Knoten entsprechend dem hydraulisch massgebenden Gefälle angepasst.

Abhängig vom verwendeten Berechnungsprogramm können Einschränkungen bestehen bezüglich der maximalen Anzahl von Verbindungen an Knoten auf Zufluß- und Abflußseite. Dies kann die Einführung zusätzlicher fiktiver Verbindungen und Hilfsknoten erfordern.

Aus diesen berechnungsbedingten Anpassungen ergibt sich, daß Kanalnetz-Bestandesplan und schematisches Berechnungsnetz oft nicht im Massstab 1:1 zusammenstimmen, somit also zwei Pläne zu führen sind. Dies ergibt sich zum Teil ebenfalls durch die Notwendigkeit, unübersichtliche Details zu schematisieren, wo die exakte Darstellung zu Missverständnissen Anlass geben kann.

3.3.2 Exakte Systemabbildung

Können Netzdaten aus einem Kanal-Informationssystem über entsprechende Schnittstellen direkt in das Berechnungsprogramm übernommen werden, dann ist aus praktischen Gründen eine möglichst unveränderte Übertragung unter Umständen sinnvoller als eine hohe Berechnungs-Effizienz. Die Entwicklung moderner Berechnungsprogramme geht dahin, dass auch durch kürzeste Verbindungen keine nachteiligen Auswirkungen auf die Simulation entstehen, trotz offensichtlichem Konflikt mit den traditionellen Stabilitätskriterien.

Sinngemässe Gesichtspunkte gelten, wenn die Ergebnisse der Kanalnetzberechnung in ein Informationssystem zurückgespeist werden sollen. In diesem Fall ist die grösstmögliche Entsprechung der Daten eine wichtige Voraussetzung.

3.4 Sonderbauwerke

Sonderbauwerke sind hinsichtlich der hydraulischen Funktion eines Kanalnetzes Objekte von zentraler Bedeutung. Dies gilt sinngemäss für deren Bedeutung in der hydraulischen Berechnung.

Abhängig von baulicher Ausbildung und hydraulischer Funktion können Sonderbauwerke erhebliche Probleme bieten für die exakte Abbildung im Berechnungsprogramm. Erfahrungsgemäss lohnt es sich, dass der berechnende Ingenieur sich die wichtigsten Sonderbauwerke persönlich anschaut und sich über die hydraulische Funktion vergewissert - nur dann ist einigermassen sicher, dass die Berechnung in etwa die wirklichen Verhältnisse wiedergibt.

Streichwehr-Hochwasserentlastungen:

Sofern die Hydraulik des Entlastungskanals interessiert, muss bei den meisten Berechnungsprogrammen die Entlastungsseite der Wehrkammer als fiktiver Schacht eingeführt werden. Dieser definiert den Anfangspunkt der Entlastungsleitung und den Bezugspunkt für den Überlauf. Die TWA-Seite der Entlastung ist der Bezugspunkt für den Weiterleitungskanal.

Bei den interessierenden Starkregen steigt das Wasser in der Überlaufkammer durch den gedrosselten Abfluss bedingt meistens extrem rasch an. Die exakte Definition des vorhandenen Bauwerk-Volumens als Puffer ist eine wichtige Dämpfungsmassnahme gegen einen überempfindlichen Spiegelanstieg.

Zahlreiche Wehr-Überläufe sind an zumindest schwach schiessenden Kanälen anzutreffen. Es ist eine Illusion, zu glauben, dass Abflussmodelle unter diesen Bedingungen wesentlich besser funktionieren als die Wirklichkeit: Solche Anlagen haben aufgrund ihrer im Verhältnis zum Zufluss geringen Abmessungen ebenfalls häufiger Probleme bei der Simulationsrechnung.

Sprungüberläufe:

Die wenigsten Abflussmodelle sind dafür ausgerüstet, Sprungüberläufe hydraulisch exakt zu simulieren. Diese müssen somit für die Berechnung approximiert werden, unter Berücksichtigung der theoretischen Weiterleitungsmenge.

Bei der detaillierten Nachrechnung von Sprungüberläufen zeigt sich oft, dass der für die Dimensionierung angenommene Normalabfluss nicht erreicht ist, weil die vorhergehende Steilleitung zu kurz ist. Bei langen Steilstrecken kann andererseits der Lufteinfluss bereits wesentlich sein, wird aber selten berücksichtigt.

3.5 Regenannahmen

Für die Dimensionierung mit der Listenrechnung sowie als Bezugsbasis für die Beurteilung von Starkregen werden auch in Zukunft die traditionellen Regenspendelinien ihren Platz haben. Diese sollten zu diesem Zweck mit aktuellen Daten periodisch aufgearbeitet werden, wobei für den Quervergleich verschiedener Stationen gleiche Datenperioden verwendet werden sollten. Wie eine kürzlich abgeschlossene Untersuchung zur Bereitstellung aktueller Regendaten für die Siedlungshydrologie in der Schweiz gezeigt hat, dürfte auch in den Nachbarländern eine Überprüfung der Auswertungsgrundlagen sinnvoll sein.

Abflussmodelle verlangen in der Regel eine gänzlich andere Art von Regendaten als die traditionelle Berechnung: An die Stelle der Regenspendelinien als statistische Belastungsgrösse tritt bei der Simulationsrechnung eine Ganglinie des Regenverlaufs über die Zeit.

Diese Regenverläufe können je nach Bemessungs-Annahme und -Philosophie ganz verschieden aussehen, vom einfachsten Blockregen über von Intensitätskurven hergeleiteten Modellregen bis hin zu historischen Starkregenaufzeichnungen.

Es ist hier nicht der Platz, im Detail die Vorzüge und Nachteile der verschiedenen Annahmen zu diskutieren. Basierend auf der aktuellen wissenschaftlichen und technischen Entwicklung im internationalen Umfeld kann aber gesagt werden, dass die Verwendung historischer Regendaten für die Simulation, verbunden mit der statistischen Auswertung der Rechenergebnisse Abfluss, Rückstau, und Volumina in Zukunft den traditionellen Bezug auf die Regen-Statistik zunehmend ersetzen werden.

3.6 TWA und Fremdwasser

Die traditionelle Listenrechnung umfasst in den meisten Fällen eine Aufstellung der theoretischen Trockenwetter-Abflüsse, teilweise mit Teilfüllungs-Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten.

Die Zielsetzungen vor allem der hydrodynamischen Simulationen liegen in der möglichst zuverlässigen Berechnung von Extremabflüssen; entsprechend ist der Stellenwert des TWA meistens unbedeutend. Für die Resultat-Dokumentation wird dieser von Fall zu Fall stationär aufgerechnet und ausgewiesen.

Der Wert der traditionellen TWA-Dokumentation ist bei kritischer Würdigung für die heutigen Verhältnisse sehr oft mehr als fragwürdig. Werden die Trockenwettermengen nämlich von den Daten der Kläranlage rückgerechnet, dann zeigt sich, dass die meistens verwendeten Annahmen der effektiven Situation selten gerecht

werden, da die Textbuch-Werte von gestern mit der heutigen Realität in den seltensten Fällen übereinstimmen.

Andererseits sind zuverlässige TWA-Mengen für die Bemessung von Abwasserpumpwerken und Entlastungsanlagen eine klare Voraussetzung. Hierbei ist jedoch nicht nur der Schmutzwasseranfall aus Haushalt, Industrie und Gewerbe von Bedeutung, sondern auch die Fremdwasser-Anteile. Diese Zuflüsse sind daher soweit möglich separat und gebietsspezifisch zu ermitteln.

Beim Schmutzwasseranfall ergeben sich zusätzliche Probleme in grösseren Städten und Agglomerationen bei der Beurteilung unterschiedlicher Lastfälle: Daten aus der Einwohnerstatistik sind oft nicht allein massgebend für die Abwassermengen, da große Pendlerströme, Verwaltungszentren sowie Schul- und Sportanlagen wesentlich andere Zuflüsse ergeben können. Sinngemässe Probleme bestehen für die Annahmen in Kurorten mit extremen Wochenend- oder Saisonbelastungen.

Für die Beurteilung von Entlastungsanlagen mit Hilfe von Langzeit-Simulationen bei kleinen Weiterleitungsmengen, etwa im Bereich des doppelten QTW, ist die Festlegung realistischer Trockenwetter- und Fremdwassermengen von zentraler Bedeutung.

Bei solchen Anlagen spielt auch die zeitliche Variation des TWA eine wichtige Rolle, und sinngemäss gilt dies bei der Simulation von Entlastungen auf Kläranlagen zwischen Vorklämung und Biologie. An Hochwasserentlastungen sowie bei Regenbecken mit Weiterleitungsmengen über 3 bis 4 QTW verschwindet der Einfluss der Tages- und Wochenganglinie.

Für konzeptionelle Untersuchungen mit Langzeit-Simulationen muss der Rolle des Fremdwassers unbedingt Beachtung geschenkt werden. Grosse Fremdwasser-Anteile können die Ergebnisse solcher Untersuchungen wesentlich beeinflussen.

4 EINSATZBEREICHE

4.1 Grob-Untersuchungen

Gelegentlich steht der Ingenieur oder eine Gemeinde vor der Aufgabe, lokale Probleme -beziehungsweise solche, die sich aus erster Sicht als solche ausnehmen- im Rahmen einer Teilrechnung anzugehen. Es soll also nicht der gesamte GEP-Perimeter studiert werden, sondern ein lokal begrenzter Teilbereich in bezug auf Ursachen z.B. einer Überschwemmung untersucht und Sanierungsmassnahmen geprüft werden.

Für solche Aufgaben eignen sich je nach den Verhältnissen hydrologische Verfahren sehr gut, um die Zuflüsse zusammengefasster Einzugsgebiete zu ermitteln, ohne dass bereits eine detaillierte Datenerhebung erforderlich ist.

Die lokalen Auswirkungen sowie mögliche Sanierungs-Varianten können abhängig von den hydraulischen Anforderungen des Kanalsystems ebenfalls mit dem hydrologischen Verfahren analysiert werden. Sofern jedoch flache Gefällsverhältnisse, Überlastungen und Rückstau von wesentlicher Bedeutung sind, wird mit Vorteil der Hydraulik-Teil eines hydrodynamischen Modells eingesetzt.

Einfachere hydrologische Verfahren können ebenfalls für Grobuntersuchungen im Rahmen von generellen Planungs-Konzepten vorteilhaft eingesetzt werden, wenn es darum geht, die Wassermengen für verschiedene Varianten von Überbauungs- und Entwässerungskonzepten sowie deren Auswirkungen auf bestehende Kanalsysteme zu überprüfen.

Bestimmte Modelle wie InterHYMO sind speziell geeignet für Abflussberechnungen in natürlichen Einzugsgebieten aller Grössenbereiche. Die spezifischen Modell-Parameter sowie die Regenannahmen erfordern jedoch ein markantes Umdenken gegenüber der konventionellen Listenrechnungs-Analogie.

4.2 Ist-Zustands-Analyse

GEP-Berechnungen sowie lokal begrenzte Sanierungsuntersuchungen sollten wenn immer möglich mit einer Analyse des Ist-Zustands beginnen.

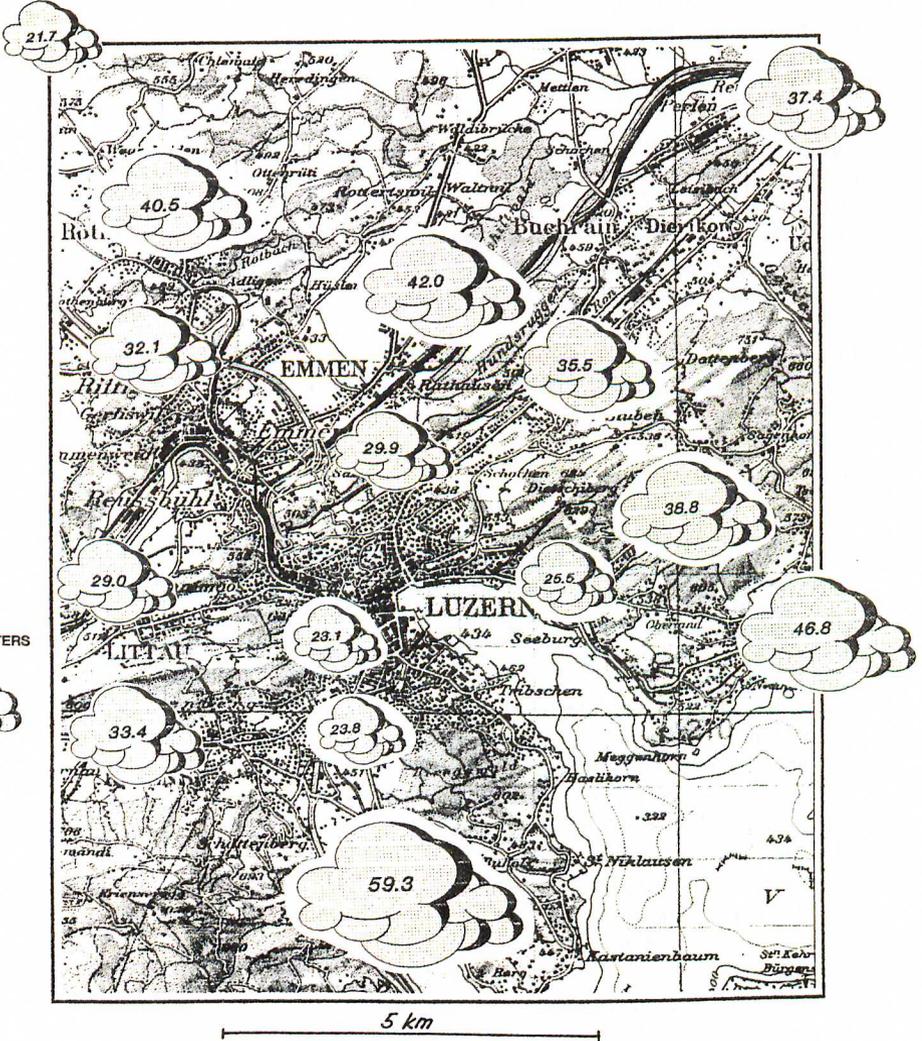
Unabhängig davon, ob für diese Situation im Sinne einer Null-Variante ebenfalls Sanierungen untersucht werden oder nicht, dienen die Ergebnisse der Ist-Zustandsrechnung als Verifikationsmöglichkeit sowie als Bezugsgrösse für die weiteren Entwicklungsannahmen für die Prognosezustände. Jede Form von Verifikation der Ist-Zustandsrechnung dient der Stärkung der Glaubwürdigkeit für die Arbeit des GEP-Ingenieurs.

Eine seriöse Verifikation setzt nach Möglichkeit lokal registrierte Niederschlagsdaten von entsprechenden kritischen Ereignissen voraus, nebst Abfluss- oder Hochwasser- und Rückstaubeobachtungen. Vor allem heftige Gewitter weisen tendenziell große räumliche Unterschiede auf, sodaß Starkregendaten von andern Orten nicht brauchbar sind. Die Aufzeichnungen eines Gewitterregens aus der Region der Stadt Luzern im Herzen der Schweiz auf der nächsten Seite illustrieren diesen Sachverhalt.

Die Ist-Zustandsrechnung ermöglicht bzw. erzwingt darüberhinaus die Auseinandersetzung des Ingenieurs mit der hydraulischen Funktion des Systems - fehlende

LANGNAU
4.7

WILLISAU
7.8



STARKREGEN VOM 21. AUGUST 1992

GESAMT-REGENMENGE IN MM WÄHREND 60 MINUTEN

oder ungenaue Unterlagen sowie unklare Randbedingungen werden sichtbar, und gegebenenfalls kann sich die Notwendigkeit eines Systemwechsels ergeben von einem einfachen Rechenprogramm auf ein Werkzeug mit mehr hydraulischem Gehalt, ohne dass bereits unumstössliche Fehlentscheide erfolgt sind.

4.3 Sanierungsrechnungen

Aufgrund der Berechnungsergebnisse von Ist-Zustand und aufgerechneter Planungsinformation für die zukünftige Nutzung werden Belastungs- und Rückstaupläne erstellt. Die Interpretation dieser beiden Dokumente in Verbindung mit hydraulischen Längenprofilen dient dazu, Ursachen und Auswirkungen von Rückstau-Problemen auseinanderzuhalten und darauf aufbauend Ideen für Sanierungsmassnahmen zu entwickeln.

In diesem Bereich sollten nunmehr die entscheidenden Vorteile der computer-gestützten Berechnung voll zum Tragen kommen: Einfache Editier-Möglichkeiten, rasche Berechnungen mehrerer Sanierungsvarianten und praktische Darstellung-Hilfsmittel unterstützen im Idealfall den Ingenieur bei der Suche nach optimalen Massnahmen.

Die Untersuchung und schrittweise Optimierung von Sanierungsmassnahmen ist praktisch immer ein iterativer Prozess, dessen Umfang und Detail stark beeinflusst wird von den zeitlichen und finanziellen Randbedingungen des Ingenieurmandats. Ein praktisches und vielseitiges Werkzeug ist eine Voraussetzung dafür, dass die Kreativität des Ingenieurs unterstützt und nicht behindert wird.

Die besonderen Eigenschaften der hydrodynamischen Werkzeuge ermöglichen im Zusammenhang mit der Untersuchung verschiedener Lösungsvarianten auch die Nutzung von Netzvermaschungen. In flachen Kanalnetzen und bei Überlastungen im obersten Teil von Kanalsystemen können solche Verbundmassnahmen häufig hydraulisch und finanziell interessante Sanierungen ergeben.

Die Überdimensionierung von sanierungsbedingten Leitungsneubau-Abschnitten für die Nutzung als Speicherkanal kann mit einem hydrodynamischen Modell ebenfalls evaluiert werden. Einfache Berechnungsansätze sind hierzu nicht in der Lage.

Die Speicherwirkung einzelner vergrösserter Kanäle im Bereich der Anfangshaltungen kann in vielen Fällen die nach konventioneller Berechnung erforderliche weitreichende Vergrösserung ganzer Hauptkanäle ersetzen. Rückhalte- und Abkopplungsmassnahmen an der Quelle können die Wirkung solcher Speicher zusätzlich verbessern.

4.4 Prognose-Rechnungen

Endprodukt der hydraulischen Untersuchungen im GEP ist die Schlussrechnung des Prognose-Zustands für die Dokumentation des sanierten und optimierten Systems. In diese Endrechnung müssen ebenfalls die Überlegungen zum Entwässerungskonzept mit den Regenwasserbehandlungs-Massnahmen einfließen.

Beim heutigen Stand der EDV-Ausrüstung sowohl bei den Ingenieurbüros als auch bei den kommunalen Bauämtern stellt sich die Frage, inwieweit die Berechnungsergebnisse weiterhin nur in dicken Wälzern mit mehr oder weniger unübersichtlichen Tabellen dargestellt werden sollen, oder ob die Ergebnisse sinnvoll ebenfalls in Form von Datenfiles und Hilfsprogrammen abgegeben werden, welche am Computer ein rasches und gezieltes Auffinden der gewünschten Information ermöglichen.

Moderne Informationssysteme ermöglichen heute eine rationelle Suche und Darstellung von Daten in tabellarischer oder graphischer Form. Kanallängsschnitte mit Wasserspiegeln bzw. Drucklinien, sowie Rückstau- und Belastungspläne bieten in der Regel einen wesentlich besseren Überblick über die hydraulische Situation als umfangreiche Tabellen. Zahlenwerte sind andererseits unabdingbar für die Beurteilung von Reserven sowie für die Definition erforderlicher Baumaßnahmen.

Im gegenwärtigen Zeitpunkt wird man sich wahrscheinlich für eine Sowohl-als-auch-Lösung entscheiden, womit den unterschiedlichen Bedürfnissen sämtlicher Bearbeiter gedient sein dürfte. Für die Gewässerschutz-Fachstellen, wo GEP mit den unterschiedlichsten Bearbeitungsstandards zusammenlaufen, dürfte vorerst die konventionelle Dokumentation die normalere Form darstellen.

4.5 Konzept-Untersuchungen

Die Bearbeitung von Entwässerungskonzepten umfasst beim heutigen Stand der Technik und der Anforderungen des Gewässerschutzes mehr als eine simple statische Wassermengen- und Entlastungssystematik.

War dieser Bearbeitungsstandard bei der letzten Netz-Überrechnung vor zehn oder zwanzig Jahren noch gängig, weil bessere Grundlagen über den Abwasseranfall und die Entwicklung noch kaum vorlagen, sowie weil viele Kläranlagen erst im Entstehen begriffen waren, so haben wir heute keine Ausrede mehr, auf die gerade bei den ARAs vorhandenen Informationen zurückzugreifen, um die Gesamtkonzeption umfassend und richtig anzugehen.

Ein wesentlicher Teil der kommunalen GEP sind in übergeordnete regionale Abwasserverbände eingebunden, deren Randbedingungen die Bearbeitung

einzelner GEP durch Zufluß- und Weiterleitungsmengen massgebend beeinflussen. Auch bei einer einzelnen kanalisationstechnisch 'unabhängigen' Gemeinde gibt zumindest die Kläranlage wichtige Randbedingungen für die Entwässerungskonzeption.

Berechnungswerkzeuge wie KOSIM, SASUM, MOUSE-SAMBA und ähnliche ermöglichen die Untersuchung und Optimierung der Entwässerungssysteme mit Hilfe von Langzeit-Simulationen im Grobmassstab, zur Beurteilung der Wirkung und Funktion von Entlastungsanlagen, Regenbecken und Speicherkanälen.

Weiterleitungsmengen müssen in Funktion der Sammelkanal-Kapazitäten zugeteilt werden, Schmutzwasser-Zuflüsse aus Trennsystemen sowie von wichtigen Einzeleinleitern sind zu gewichten, und Verdünnungsverhältnisse an Überlaufpunkten müssen verifiziert werden.

Konzept-Untersuchungen müssen die vorhandenen und zukünftigen Randbedingungen der Kläranlage einbeziehen. Hierzu gehören in der Regel auch die Überlegungen zum Fremdwasser-Sanierungskonzept, mit realistisch eingeschätzten Bandbreiten für die mögliche Fremdwasser-Reduktion. Modellrechnungen zeigen den großen Einfluss des Fremdwasser-Anteils am TWA auf die Überlaufkennwerte der verschiedenen Anlagen.

Schliesslich sind die Schutz-Anforderungen der verschiedenen Vorfluterabschnitte zu berücksichtigen und in Form von individuellen Einleitungs-Bedingungen in einen ingenieurtechnischen Massstab umzusetzen.

In flachen und hydraulisch komplexen Kanalnetzen sind die vereinfachten Normalabfluss-Annahmen der Grobmodelle sehr oft nicht ausreichend. Ergänzende Untersuchungen mit hydrodynamischen Simulationsprogrammen anhand mehrerer ausgewählter Einzelregen können nötig sein. Solche Kontrollrechnungen zur Verifikation der Annahmen der Langzeit-Simulation ermöglichen z.B. die iterative Anpassung der Weiterleitungsmengen in Funktion der effektiven hydraulischen Verhältnisse.

Die Beurteilung von Massnahmen bei wichtigen Einzeleinleitern sowie bei Trennsystem-Anschlüssen an Mischsysteme kann die Anwendung der Stofftransport-Möglichkeiten in Form von sog. Tracer-Annahmen nahelegen, um approximative Grössenordnungen für die resultierenden Mischungs- und Verdünnungsverhältnisse zu ermitteln, unter Beachtung der weiter oben erwähnten Vereinfachungen der grobmaßstäblichen Frachtberechnungen.

4.6 Spezial-Anwendungen

Simulationsmodelle erschliessen nicht nur im Bereich der ihnen im Normalfall zugeordneten Aufgaben neue Möglichkeiten, sondern sie werden darüberhinaus sehr oft für Sonderanwendungen eingesetzt, so etwa in folgenden Situationen:

In Verbindung mit der Untersuchung von Havarie- und Katastrophen-Konzepten im Gewässerschutz stellen sich Fragen zu den Fließzeiten in Kanalnetzen bei verschiedenen Regen-Abfluss-Annahmen oder zur Funktion und Wirkung von Löschwasser- und Pufferbecken.

Regenwasser-Versickerungsanlagen erfordern häufig Rückhaltebecken als Puffer bei Starkregen. Die Langzeit-Simulation mit langjährigen Regenreihen ermöglicht eine sichere Bemessung und den Nachweis solcher Anlagen, mit der raschen Untersuchung unterschiedlicher Abflussannahmen zur Ermittlung kritischer Grenzwerte. Die Langzeit-Simulation unter Verwendung vollständiger Regenserien stellt dabei sicher, dass auch die Vorregen- und Nachregen-Verhältnisse richtig berücksichtigt werden.

5 DATEN-SCHNITTSTELLEN VON UND ZU ANDERN ANWENDUNGEN

Bei der traditionellen Kanalnetzrechnung war die Erhebung der Systemdaten noch weitgehend eine isolierte Übung, um die nötige Grundlage über die Netzstruktur für die hydraulische Berechnung zu schaffen. Die Berechnungsergebnisse wurden als Tabelle abgeliefert, gegebenenfalls ergänzt mit Quartier- und Strassenamen, nebst den Angaben über die Kanalzonen und Berechnungsgebiete. Die Grunddaten für die Berechnung wurden anschliessend archiviert.

Heute jedoch ist alles anders: Die Erhebung auch des kleinsten Informations-Bits kostet bares Geld. Deckel- und Sohlenkoten werden deshalb wie rohe Eier behandelt und müssen für die halbe Ewigkeit aufbewahrt werden, und bei der Definition des Numerierungssystems muss fast ein Gemeinderatsbeschluss her, damit keine Kollisionen mit andern Werkeigentümern entstehen.

Durch das gewachsene Bewusstsein, dass die Daten über das Kanalnetz neben der Berechnung ja auch dem Zustands-Inventar und dem Kanalunterhalt dienen können einerseits, sowie andererseits durch den rasch zunehmenden Einsatz von Informationssystemen und Datenbanken ist in den letzten paar Jahren fast jedermann klar geworden, dass das einstige Wegwerfprodukt einen grossen Wert darstellt, der entsprechend gehegt und gepflegt werden muss.

Die Kanalnetzberechnung ist damit nurmehr ein Glied innerhalb der ganzen Kette der Daten-Beschaffung, Daten-Pflege und Daten-Verwaltung; sie wird eingebunden in eine ganze Reihe von Applikationen zur Nutzung der Daten über das Entwässerungssystem. Als Teil-Applikation wird die Kanalnetzberechnung darin im weitesten Sinn zu einem Lieferant von Informationen über Durchflüsse und Wasserspiegel sowie über Belastungsgrade und Rückstauverhältnisse.

Moderne Programme für die detaillierte Kanalnetzberechnung verfügen dementsprechend über verschiedene Möglichkeiten der Eingabe von Daten sowie für die Ausgabe von Ergebnissen.

5.1 Standard-Ein- und -Ausgabe

Die Standardmöglichkeiten erlauben die Eingabe von Gebiets- und Netzdaten über die Tastatur, wobei unterschiedlich komfortable Hilfsmittel für die Benutzerführung in Form von Menüs, Eingabemasken, etc. bestehen.

Diese Eingabemöglichkeit wird in der Regel auch für das Editieren der Daten verwendet, wenn für Sanierungen Änderungen an den Dimensionen und an der Netz-Struktur erforderlich sind, sowie wenn Anpassungen und Ergänzungen der Gebietsdaten für die zukünftige Nutzung vorgenommen werden.

Graphische und halbgraphische schematische Netzdarstellungen erlauben bei einigen Programmen eine gute Kontrolle der eingegebenen Daten bezüglich Lage und Verknüpfungslogik. Maßstäbliche Kanal-Längenprofile unterstützen die Überprüfung der Höhenverhältnisse auf Eingabefehler.

Bei der Beurteilung von Programmen muss diese Standard-Bedienungsmöglichkeit über die Tastatur für die beiden Gesichtspunkte Dateneingabe und Datenmutation je nach Situation unterschiedlich gewichtet werden: Durch die wachsende Bedeutung der Schnittstellen für die direkte Datenübernahme ist der Aspekt der Datenmutation stärker zu gewichten, auch wenn beim Einstieg in die Programmanwendung die manuelle Eingabe meistens den Haupt-Stolperstein darstellt.

Die Standard-Ausgabe der Berechnungsergebnisse erfolgt in der Regel in Form von Tabellen für die verschiedenen Ergebnisparameter. Diese Listen enthalten bei Simulationsprogrammen häufig umfangreiche Zusatz-Informationen, welche für den Normalanwender relativ wenig Nutzen haben.

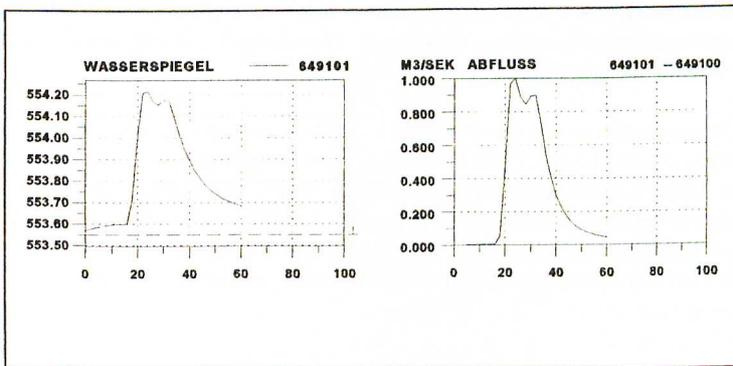
Ergebnistabellen weisen bei einigen Programmen nicht nach der Fließlogik geordnete Aufstellungen auf, was das Auffinden bestimmter Elemente erschwert. Ferner

sind oft Wasserspiegel-, Abfluß- und Belastungsdaten in getrennten Listen enthalten, was der Übersichtlichkeit ebenfalls abträglich ist.

Verschiedenen Simulationsprogrammen fehlt zudem eine systematische Resultatliste traditionellen Zuschnitts, in Anlehnung an die Listenrechnung. Durch die Trennung von Oberflächenabfluss und Kanalnetz-Transportsystem sind Flächen- und Einwohnerdaten häufig nicht zusammen mit Abflussmengen und Wasserspiegeln dargestellt.

Andererseits sind die Ergebnisdaten meist als Textfiles verfügbar, sodaß diese als Eingabedateien in Nachbearbeitungsprogramme eingelesen und weiterverarbeitet werden können, mit spezifischem Zuschnitt nach den Bedürfnissen des Auftraggebers. Bei grösserem Dokumentationsumfang lohnt sich auch die Anlage eines alphanumerischen Registers, welches das Auffinden bestimmter Kanalhaltungen erleichtert.

Einige Simulationsprogramme verfügen neben den tabellarischen Ausgaben über gut ausgebaute graphische Darstellungsmöglichkeiten für die Ergebnisdaten. Damit können Abflüsse und Wasserspiegel als Zeitserien-Ganglinien dargestellt werden, wie untenstehend gezeigt:



Zusätzliche Ausgabemöglichkeiten für Kanal-Längenprofile mit Wasserspiegel-linien bieten ideale Voraussetzungen für die Beurteilung der Rückstausituation.

Die graphischen Mittel sind eine gute Ergänzung zu den vor allem bei umfangreichen Kanalnetzen enormen Zahlenmengen; sie können jedoch die tabellarischen Darstellungen in der Regel nicht vollwertig ersetzen. Es ist wichtig, dass sich der Kaufinteressent von den teilweise spektakulären graphischen Möglichkeiten nicht blenden lässt, da die konventionelle Ausgabe ebenso wesentlich ist.

Sinngemässe Gesichtspunkte gelten für die Eingabefiles der Berechnungsprogramme. Bei einigen Programmen werden die Daten in binärer Form gespeichert; solche Files sind für den Benützer nicht ohne Hilfsmittel les- und interpretierbar. Daneben bestehen meistens zusätzlich Schnittstellen zu Files in Textform, siehe nachfolgender Abschnitt.

Files in Textform sollten eine transparente und lesbare Struktur aufweisen. Dies ist nicht bei allen Programmen der Fall. Besonderes Augenmerk ist zu richten auf die Möglichkeit der Eingabe mehrstelliger Höhenkoten, was besonders für die Anwender in den Alpenländern bei GEP-Bearbeitungen um 1000 m.ü.M. nachträglich erhebliche Frustrationen sparen kann.

5.2 Fremd-Input von Daten

Der Einsatz von Informationssystemen und Datenbanken für die Unterbringung von Kanaldaten eröffnet für die Daten-Eingabe bzw. -Übertragung in Kanalnetz-Berechnungsprogramme wichtige neue Möglichkeiten.

Für geometrische Netzdaten, welche bereits in irgendeiner Form numerisch gespeichert vorhanden sind, sollte unbedingt die Möglichkeit eines direkten Imports in die Kanalnetzberechnung geprüft werden. Selektions- und Transformationsprogramme können diesen Datenaustausch sicherstellen. Selektionsmittel ermöglichen die Auswahl bestimmter Kanalnetz-Abschnitte. Transformationsprogramme setzen die Datenformate um vom Quellenformat zum Zielformat.

Beim Datentransfer ist ein Zwischenfile in Textform sinnvoll, in welchem die übernommenen Daten überprüft und bei Bedarf bereits ergänzt und angepasst werden können. Diese Zwischenfiles können ebenfalls durch Textkommentare ergänzt und für Dokumentationszwecke archiviert werden. Dieser Dokumentation wird im Verlauf der Arbeit häufig zuwenig Gewicht beigemessen; nach eigener Erfahrung rächt sich dies bei späteren Ergänzungen sowie bei mehrjährigen Projektbearbeitungen bitter.

Kanalnetz-Programme benötigen für den Import von Daten aus Drittquellen entweder eine offene, dokumentierte Schnittstelle, oder eine transparente Filestruktur für die Inputdaten, siehe vorheriger Abschnitt. Auf der Herkunftsseite muss sinngemäss eine bekannte Datenstruktur vorhanden sein, welche angezapft werden kann. Die Datenformate auf beiden Seiten der Schnittstellen müssen eine minimale Dauerhaftigkeit bzw. 'Standard-Charakter' aufweisen, damit die längerfristige Kompatibilität der Daten sichergestellt ist.

Sofern die Daten auf Computern mit unterschiedlichen Betriebssystemen und nicht-kompatiblen Datenträgern liegen, kann der Filetransfer z.B. über serielle Verbindungen oder über vorhandene Netzwerke realisiert werden.

Detail-Gesichtspunkte

Gelegentlich entsprechen die Daten am Herkunftsort nicht in allen Teilen den Bedürfnissen der Kanalnetzrechnung. Fehlende Daten, wie z.B. Koordinaten oder Sohlenkoten müssen dann entweder in ein Zwischenfile eingegeben oder im Berechnungsprogramm ergänzt werden. Programmspezifische Kenndaten wie Rohrmaterial-Codes, Rauigkeitsbeiwerte, etc. können soweit zulässig bei der Datenübernahme pauschal eingesetzt und nachträglich modifiziert werden.

Sinngemäß können Parameterwerte, z.B. für Abflussbeiwerte, Rohrrauigkeiten, etc. in Funktion von Schlüsselcodes in den Datenfiles im Transferprogramm für die Berechnung spezifisch nach den Programmbedürfnissen zugeordnet werden. Kanalnetz-Datenbanken können -und sollten!- somit weitgehend unabhängig von der Berechnungs-Software definiert werden, wobei die Minimalanforderungen an die Daten einzuhalten sind.

Daten zu Spezialbauwerken werden bei der Direkt-Übernahme aus bestehenden Textfiles und Datenbanken wegen der häufig komplizierten Umsetzung meistens weggelassen und direkt von Hand ins Berechnungsprogramm eingegeben. Wegen ihrer meist geringen Zahl haben diese nur einen unwesentlichen Anteil am Umfang der Systemdaten. Für grosse Kanalnetze gelten gegebenenfalls andere Gesichtspunkte.

Dieser Aspekt gilt sinngemäss auch für Kanal-Sonderprofile; eine direkte Übernahme mit allen Attributen ist in der Regel nicht sinnvoll. Besser ist der Transfer z.B. der Profilhöhe als Haupt-Dimension sowie einer Typenbezeichnung.

Flächendaten für die Teileinzugsgebiete sind häufig noch nicht in Datenbanken enthalten; sie müssen separat aufbereitet und in das Berechnungsprogramm eingegeben werden. Im Gegensatz zu den Systemdaten der Kanäle ist eine Normung bei den Teilgebietsdaten wesentlich schwieriger, wegen der vorhandenen Vielfalt an Berechnungsansätzen und Spezialparametern.

Mit der Zunahme von CAD- und graphischen Informationssystemen werden vermehrt auch die Flächendaten am Bildschirm aufbereitet, durch Verschnitt der Teilgebietsgrenzen mit den Angaben über die Bodenbedeckung. Damit entfällt ein wesentlicher Teil der aufwendigen Planimetrierarbeit, wobei zuverlässige Daten über die Bodenbedeckung vorausgesetzt werden. Zu berücksichtigen ist dabei, dass

für die Planung nebst dem Ist-Zustand auch das Planungsziel, gegebenenfalls mit Zwischenstufen, zu definieren und im Informationssystem zu halten ist.

Externe Datenaufbereitung

Die Aufbereitung der Daten für die Kanalnetzrechnung ausserhalb des Berechnungsprogramms kann ebenfalls unabhängig vom Vorhandensein einer Datenbank oder eines umfassenderen Informationssystems sinnvoll und effizient sein. Der leistungsfähige Computer mit dem Simulationsprogramm wird dadurch für die eigentlichen Berechnungen freigestellt.

Die getrennte Daten-Aufbereitung über Text- oder Tabellenfiles ermöglicht eine unabhängige dezentrale Bearbeitung von Teilinformationen an mehreren Stellen, wie z.B. beim Feldaufnahmeteam, beim GEP-Ingenieur, bei Kanalfertseh- und Auswertungsfirmen sowie bei der Baubehörde der Gemeinde. In vielen Fällen werden von den verschiedenen Stellen unterschiedliche Daten-Komponenten zum Endprodukt beigetragen, wie etwa die geometrischen und die Zustands-Daten.

Wichtig ist bei diesem Vorgehen, dass die Datenstruktur für das Berechnungsprogramm sowie gegebenenfalls für weitere Applikationen vorgängig klar definiert und für alle Bearbeiter verbindlich vorgeschrieben wird. Nur unter dieser Voraussetzung ist eine problemlose Zusammenführung der Daten und nachfolgend der Datentransfer zur Kanalnetzrechnung sowie zu andern Anwendungen realisierbar.

5.3 Daten-Ausgabe zur Weiterverarbeitung

Sinngemäss zum Daten-Import ermöglichen die meisten Berechnungsprogramme grundsätzlich auch den Daten-Export der Ergebnisse. Die Resultate in Form von Maximalwerten oder Zeitserien von Durchfluss, Wasserspiegel, Fließgeschwindigkeit und summierten Volumina können damit in Datenbanken, Informationssystemen, oder auch einfach in Textfiles gespeichert werden.

Die Selektion und Darstellung der Daten am Computer kann in unterschiedlicher Form über direkte oder logisch verknüpfte Suchbegriffe erfolgen, durch speziell auf den Anwender zugeschnittene Ausgabemenüs angezeigt werden, oder aber in Verbindung mit graphischen Informationssystemen in beliebiger Kombination mit andern Daten sichtbar gemacht werden.

Nach dem gegenwärtigen Stand der Informationssysteme ist abzusehen, dass der direkte Einbezug der Ergebnisse aus der Kanalnetzrechnung bald zum allgemein akzeptierten Standard der Datendarstellung gehören wird. Aus diesem Grund ist die Entwicklung verbindlicher Datenmodelle für die Programmierung der allseitigen Schnittstellen ein wesentliches Erfordernis.

6 SPEZIALITÄTEN

6.1 Modell-Eichung und -Verifikation

Die Eichung und Verifikation von Simulationsprogrammen ist ein kontroverses Thema. Grundsätzlich ist sicher nötig und sinnvoll, Berechnungssysteme in bezug auf die erreichbare Genauigkeit zu prüfen und die Empfindlichkeit der Eingabeparameter zu ermitteln.

Demgegenüber zeigt die Erfahrung, dass die heute verfügbaren echten Abflussmodelle im allgemeinen 'genau' rechnen, sofern die Eingabedaten bezüglich Hydrologie und Kanalnetz-Systematik zuverlässig erhoben und modelltechnisch richtig umgesetzt worden sind. Dies setzt voraus, dass der Anwender die hydrologischen und hydraulischen Randbedingungen des Programms versteht und diese auch bei vom Durchschnitt abweichenden Aufgabenstellungen richtig umsetzen kann.

Weiter ist zu berücksichtigen, dass bei der Vornahme eines Messprogramms bei den Abflußmessungen im Kanal, bei der Übernahme von Regendaten von Meßstellen, welche nicht direkt im Einzugsgebiet liegen, sowie bei der Umsetzung von Punktniederschlag auf ein grösseres Einzugsgebiet, die möglichen Abweichungen mindestens in der gleichen Grössenordnung liegen können wie die bei der Anwendung des Berechnungsprogramm zu erwartenden Fehler.

Die Übertragung der Folgerungen aus einem einzelnen Meßgebiet auf eine ganze Stadt, oft erst noch erarbeitet aus Messungen über eine relativ kurze Zeitspanne, ist nach bisherigen Erfahrungen schwierig und nur mit erheblichen Vorbehalten zulässig.

In diesem Sinne ist es aus der Sicht des Autors nicht zweckmässig, für jedes GEP in einer grösseren Gemeinde oder Stadt eine umfangreiche Eich- und Verifikations-Übung durchzuführen, da der zu erwartende direkte Nutzen oft minimal, der Zeitaufwand, die Kosten und die Frustration dagegen zuweilen erheblich sein können.

Als gute Alternative müssten hingegen die vorhandenen Meßeinrichtungen für Regen und Abfluss von nationalen Forschungsprogrammen an einigen wenigen Stellen neu aktiviert, gut dokumentiert und diese Grundlagen breit bekannt gemacht werden, damit verbindliche Daten für Programm-Verifikationen und Empfindlichkeits-Untersuchungen der Modellparameter zur Verfügung stehen.

Solche Datengrundlagen sind wertvoll für die Einarbeit in die Anwendung von Berechnungswerkzeugen gleich welchen Zuschnitts; sie dienen insbesondere der Untersuchung von Parameter-Empfindlichkeiten sowie für Tests verschiedener Bearbeitungs- und Detaillierungsmaßstäbe für die praktische Anwendung.

Eichungen und Programm-Verifikationen können in besonderen Fällen allerdings notwendig sein, z.B. wenn wesentliche Systemvereinfachungen oder Gebietszusammenfassungen verwendet werden sollen. Sind Messungen nicht verfügbar, können auch Detailsimulationen von Teilgebieten mit einem hydrodynamischen Simulationsprogramm als Referenzgröße für die Eichung eines Grobmodells verwendet werden.

Speziell bei Frachtberechnungen in flachen Kanalsystemen und großen verzweigten regionalen Sammelkanalnetzen sind Volumen-Verifikationen angezeigt, wobei u.a. auch auf die meist in guter Qualität verfügbaren ARA-Daten abgestellt werden sollte. Dies ermöglicht den Einbezug der TWA-Daten unter Einschluss des Fremdwassers.

6.2 Einbezug Gewässer und natürliche Einzugsgebiete

Die öffentlichen Gewässer spielen im Zeitalter der Revitalisierungsanstrengungen vermehrt wieder eine wesentliche Rolle. Als Vorfluter waren sie zwar bereits im traditionellen Entwässerungsplan meistens in irgendeiner Form mit dabei, doch reichte es seinerzeit im Rahmen des Honorars nach eigener Erfahrung selten zu einer vertieften Bearbeitung der diversen Bäche.

Durch die angestrebte Abtrennung des Sauberwassers aus unsern Kanalisationen wird die Rolle der kleinen und kleinsten Gewässer in den Siedlungsgebieten zunehmend an Bedeutung gewinnen. Diese Gewässer sind als Teil des Entwässerungssystems in das GEP und damit in die hydraulische Berechnung einzubeziehen.

Diese Aufgabenstellung bringt ein spezielles Problem mit sich: Das Abflussverhalten der natürlichen Einzugsgebiete ist wesentlich anders als dasjenige der Siedlungsgebiete. Die traditionelle Berücksichtigung mit einem bescheidenen konstanten Abflussbeiwert wird jedoch bekanntermassen den effektiven hydraulischen Verhältnissen nicht gerecht.

Für detaillierte hydraulische Untersuchungen an natürlichen sowie an gemischt natürlichen und urbanen Einzugsgebieten stehen heute spezielle Simulationsprogramme zur Verfügung. Deren breiter Anwendung steht allerdings häufig noch

das mangelnde Verständnis seitens der Auftraggeber und Aufsichtsbehörden und damit die ungenügende Dotierung entsprechender Ingenieurmandate entgegen.

6.3 Analyse Speicher- und Steuer-Potential

Der vielerorts noch bestehende Bedarf an Regenwasser-Behandlungsanlagen an Überläufen in Vorfluter lässt Ingenieure in Gemeinden und Planungsbüros vermehrt nach Möglichkeiten suchen, um die im Kanalnetz schlummernden Speicherkapazitäten nutzbringend einzusetzen.

Flache Kanalnetze mit ihren entsprechend grösseren Kalibern weisen einen großen Speicherinhalt pro Hektar Fläche auf. Mit baulichen Massnahmen und / oder bei entsprechender Steuerung und Bewirtschaftung lässt sich dieses Volumen nutzen, vor allem bei schwachen und mittleren Regen.

In vielen Fällen bringt bereits das vorhandene Systemvolumen in Verbindung mit hochgezogenen Überfallschwellen an Entlastungen einen wesentlichen Nutzen, der mangels Nachweis jedoch meistens unberücksichtigt bleibt.

Untersuchungen über das hydraulisch verfügbare Speichervolumen und dessen mutmasslichen Nutzen unter Voraussetzung baulicher Massnahmen oder entsprechender Steuereingriffe sind für jeden Einzelfall erforderlich. Der Nachweis der Hochwassersicherheit bei Extremabflüssen bildet hierbei eine wesentliche Komponente. Hierbei leisten hydrodynamische Simulationsprogramme die erforderliche Hilfestellung. Flexible Optionen im Programm für Steuermaßnahmen unterstützen solche Anwendungen.

Bei diesen Untersuchungen muss in Zukunft unbedingt auch die hydraulische Kapazität der Kläranlage in bezug auf die Verarbeitung der zusätzlichen Regenwasser-Volumina einbezogen werden.

Wichtige Voraussetzungen für solche Spezial-Untersuchungen sind neben der Erfahrung mit der Modellanwendung ein gutes hydraulisches und abwassertechnisches Know-How, sowie ein vertieftes Verständnis für Gesamt-Zusammenhänge in bezug auf die Funktion des analysierten Abwassersystems. Letztere setzen in der Regel eine langjährige intensive Auseinandersetzung mit dem Kanalnetz, sowie einen guten Kontakt mit dem Personal voraus, welches täglich mit dem Abwassersystem zu tun hat. Für das Personal ist der Sicherheitsaspekt bei allen solchen Massnahmen sehr wesentlich.

6.4 Evaluation Steuerungs-Strategien

Steuerungsmaßnahmen im Kanalnetz umfassen eine breite Palette von Möglichkeiten, angefangen von der gezielten Entleerung von Regenbecken ab Kläranlage, über die Fernsteuerung von Pumpwerken, bis hin zur Bewirtschaftung aller möglichen Speicherräume im Kanalnetz in Funktion der lokalen Regensituation bezogen auf deren örtliche und zeitliche Variation über einem Einzugsgebiet.

Solche Steuermaßnahmen werden nicht vom Schreibtisch aus geboren, sondern setzen eine intensive Auseinandersetzung mit den Funktions- und Belastungszusammenhängen des Systems bei unterschiedlichen Wettersituationen voraus.

Der notwendige Einbezug der Kläranlage erfordert ein klares Verständnis für die dort ablaufenden Prozesse bei Trocken- und Regenwetter, sowie der Randbedingungen in bezug auf den gegenwärtigen und zukünftigen ARA-Betrieb in Funktion der laufend verschärften Einleitbedingungen in den Vorfluter.

Mehrjährige Messungen und Auswertungen der Ergebnisse sind unabdingbar, bevor Strategien für eine Verbund-Steuerung mit wechselseitigen Abhängigkeiten entwickelt werden können. Eine Evaluation der Risiken sowie von Nutzen und Kosten muss zudem aufzeigen, welche Massnahmen sinnvoll sind, und mit welcher Priorität die einzelnen Ausbauschritte zu realisieren sind.

Die hydraulische Evaluation verschiedener Steuerstrategien umfasst im wesentlichen die beiden Hauptaspekte

- (A) Sicherheit bezüglich Rückstau für das System sowie für die angeschlossenen Liegenschaften, und
- (B) Nutzen bzw. Schutz für den Vorfluter durch Reduktion der Überläufe und Einleitungen.

Die Bearbeitung dieser Aufgabenstellungen kann durch den Einsatz von Simulationsprogrammen wesentlich unterstützt werden: Die hydrodynamische Berechnung ermöglicht die Untersuchung von Risikoszenarien durch zuverlässige Rückstauanalysen mit Starkregen, und die Langzeit-Simulation liefert statistische Informationen über die Auswirkungen modifizierter Speichervolumina und Weiterleitungsmengen.

7 WELCHES WERKZEUG FÜR WELCHEN ZWECK?

Bezogen auf die angebotene Form lassen sich Simulationsprogramme für hydraulische Untersuchungen grob in folgende zwei Kategorien einteilen:

(1) 'Black-Box-Programme'

Diese Produkte sind für den Benutzer nicht transparent; die genaue Funktion und numerische Behandlung der Hydraulik ist im besten Fall aus der Dokumentation ersichtlich. Änderungen und problemspezifische Anpassungen sind nicht möglich.

(2) Offene Programme

Viele dieser Programm-Systeme stammen mehrheitlich aus dem amerikanischen Public-Domain-Bereich. Der Inhalt ist transparent für den interessierten Benutzer, Änderungen oder ein Zuschnitt auf spezifische Anwendungen sind denkbar.

Programme der Kategorie (1) sind in der Regel mit guter Benutzerführung, Graphik sowie teilweise mit dem bei kommerzieller Software heute üblichen Schnickschnack versehen. Sie machen den Löwenanteil der gegenwärtig eingesetzten Programme aus, mit steigender Tendenz. Der Preis ist im allgemeinen relativ hoch. Anpassungen können nur in Verbindung mit dem Software-Ersteller realisiert werden. Die Ursache von vermeintlichen oder effektiven Programmfehlern ist mangels Einsichtsmöglichkeit meist schwierig bis unmöglich aufzudecken.

Software der Kategorie (2) ist im allgemeinen altmodisch und farblos in der Bedienung, gemessen am aktuellen Bedienungsstandard und an der Farbenpracht von kommerzieller Software. Demgegenüber stehen ein häufig sehr günstiger Preis und die Möglichkeit, im Quellenprogramm selbst Möglichkeiten und Grenzen zu erkunden, sowie das Programm gegebenenfalls auf eine problemspezifische Applikation zuzuschneiden.

Zwischen diesen beiden Kategorien liegt ein breites Feld von Produkten mit unterschiedlicher Transparenz, sowie ebenso unterschiedlichem Bedienungskomfort und Preis.

Womit ist nun welchem Anwender am besten gedient?

7.1 Das fertige Paket

Der Ingenieur, welcher morgen mit der GEP-Berechnung anfangen will, und sowieso keine Zeit hat, in die Innereien und Details der Software und erst recht der

Programmierung einzudringen, will sicher ein Programm der Kategorie (1) - meist ist er auch bereit, dafür (murrend zwar) etwas tiefer in die Tasche zu greifen.

Wesentlicher Pluspunkt einer abgerundeten 'Package' mit guter Anwenderführung ist die Reduktion der Hemmschwellen für die Bedienung. Häufig ist der Einstieg in ein neues Hilfsmittel ohnehin mit wesentlichen Umstellungen der Bearbeitung verbunden, und es ist wichtig, dass der Programmbenutzer-Neuling sich nicht zusätzlich mit der Bedienung von Text-Editoren und Tabellenberechnungen herum-schlagen muss.

Menü-bezogene Hilfestellungen im Programm selbst ermöglichen in vielen Fällen den Verzicht auf das umständliche Nachschlagen in Handbüchern und beschränken den Bildschirm-Inhalt auf das Wesentliche. Eingabehilfen durch Kontrolle auf zulässige Wertbereiche unterstützen den Anwender beim Input von Daten. Die Portierung der gängigsten Programme für Windows tut ein Übriges, um Einsteigern und Nicht-Freaks die Bedienung so einfach wie möglich zu machen.

Testprogramme überprüfen die Netzdaten vor der Berechnung auf grobe Fehler in Logik und Geometrie. Detaillierte Texte für Fehlermeldungen und Warnungen unterstützen bei der Korrektur der eingegebenen Daten. Graphische Darstellungsmöglichkeiten am Bildschirm tun ein Übriges zur Unterstützung der Fehlerkontrolle.

Die im allgemeinen gute Verbreitung einer bewährten Software sichert die Kontinuität für deren Weiterentwicklung und die technische Unterstützung der Anwender. Die damit realisierte breite Erfahrungsbasis sichert eine gute Akzeptanz auch bei den Genehmigungsbehörden, welche sich nicht jedesmal mit einem neuen Produkt herumschlagen müssen.

Auf der Negativseite zu verbuchen ist der Mangel an Einsicht in die Feinheiten des Programms, was bei vermuteten oder effektiven Mängeln sowie bei speziellen Anwendungen ein erhebliches Handicap sein kann. Die vielzitierte "breite Akzeptanz" sichert auch nicht zwangsläufig den kompetenten und fachgerechten Umgang mit dem Berechnungswerkzeug, da in etlichen Fällen ein Programm nur deshalb eingekauft wird, weil es der Konkurrent auch hat.

Nicht zu vernachlässigen ist weiter, dass raffinierte benutzerfreundliche Bedieneroberflächen sowie weitgehend automatisierte Berechnungen und Resultatdarstellungen die effektiven hydraulischen Randbedingungen sowie die technischen Probleme zunehmend verbergen. Die hohen Anforderungen an die fachliche Kompetenz des Anwenders werden damit ein gutes Stück verschleiert.

7.2 Das Bastelprogramm

Der Tüftler, der davon träumt, übermorgen 'sein' GEP-Programm in die Kanalnetzsteuerung on-line zu integrieren, wird mit einer Black-Box nichts anfangen können, trotz Maus-Bedienung und Graphik. Er will ein offenes Programm der Kategorie (2) und opfert auch die Zeit, sich in dieses einzuarbeiten. Was er bei der Anschaffung spart, geht voraussichtlich bei der Auseinandersetzung mit den inneren Werten der Software mehr als drauf.

Offene Programme sind für Anwender interessant, welche selbst Weiterentwicklungen vornehmen wollen, etwa für die Berechnung spezieller Aufgaben wie der Steuerung, die exakte Simulation der Wasserqualität, von Absetz- und Erosions-Eigenschaften, etc. Diese Möglichkeiten sind in Standard-Programmen noch kaum oder dann nicht immer in der erforderlichen Form vorhanden.

Gerade die Anwendung in Verbindung mit Kanalnetzsteuerungen wird vermehrt ein Interesse an Simulationsprogrammen mit applikationsspezifischem Zuschnitt wecken. Damit können Online-Messungen von Niederschlag, Füllstand sowie Positionen von Steuerorganen zur Vorausberechnung von optimierten Steuermaßnahmen verwendet werden, zur Unterstützung des Operators bei der Wahl von Steuereingriffen im System.

Die direkte Integration eines Berechnungsprogramms in grössere, übergeordnete Informationssysteme als weiteres Beispiel ist mit einem offenen System wesentlich einfacher, da Zugriffe möglich sind auf die internen Datenstrukturen.

Als Minuspunkte sind zu erwähnen, dass solche Individuallösungen in bezug auf Kontinuität, Wartung und Unterhalt meist wesentlich schlechter dastehen als Package-Programme mit einer gewissen Verbreitung. Einzel-Applikationen stehen und fallen mit einem Team an kompetenten Betreuern, im Idealfall im eigenen Betrieb. Unterhalt und Programmpflege müssen oftmals über eine einzige oder im besten Fall einige wenige Applikationen abgeschrieben werden und schlagen sich bei den Kosten entsprechend nieder.

Die Anpassung einer Individuallösung anhand von Updates von Teilen des Ausgangs-Programms wird durch vorgenommene Modifikationen erschwert oder verunmöglicht. Verbesserungen müssen individuell vorgenommen werden. Da verschiedene Programmanbieter in der Zwischenzeit Zusatzmodule in Richtung Steuerung, Bewirtschaftung und erweitertes Daten-Management entwickeln oder bereits verkaufen, dürfte der Bedarf an solchen Individuallösungen in Zukunft deshalb eher schwinden.

8 GRUNDSÄTZLICHE ÜBERLEGUNGEN

8.1 Was ändert wenn ich ein kompliziertes Programm einsetze?

Diese Frage steht naturgemäss oft am Anfang des Entscheidungsprozesses in der Verwaltung oder im Ingenieurbüro, wenn ein neuer Anlauf in der Entwässerungsplanung genommen wird.

Der 'Blick über den Zaun' ist eine mögliche Entscheidungshilfe, kann aber die sorgfältige Analyse der eigenen Bedürfnisse und Möglichkeiten nicht ersetzen. Nach eigener Erfahrung geht dem Entscheid für ein Berechnungssystem vielfach ein langwieriger Denk- und Lernprozess sowie eine intensive Beschäftigung mit der hydraulischen Funktion des Kanalnetzes voraus.

Der entsprechende Zeitbedarf ist oft zwar wohl eine Strapazierung der Nerven wartender Mitarbeiter und / oder potentieller Auftragnehmer. Dennoch zeigt sich, dass ein rascher unbürokratischer Entscheid sich oftmals nachträglich rächt, und dabei nicht zu Ende gedachte Fragen später wieder an die Oberfläche kommen, wichtige Vorlagen wie z.B. für Sanierungen blockieren oder bremsen, weil entscheidende Grundsatzelemente nicht ausdiskutiert wurden.

Erfahrungsgemäss werden bei der Beurteilung der Anforderungen eines Entwässerungssystems vor der Wahl des Berechnungswerkzeugs die hydraulischen Probleme oftmals unterschätzt. Die Wahl eines einfachen Teilsystems an der Gebietsperipherie als 'Pilotgebiet' für die Einarbeit in ein GEP ist zwar wertvoll, verstärkt aber unter Umständen diese falsche Einschätzung zusätzlich. Die echten Probleme zeigen sich oftmals erst im Bereich der Hauptstränge im Kern bzw. im untern Teil des Siedlungsgebiets.

8.1.1 Mögliche Überraschungen

Eine nicht untypische Folge der Einführung einer hydrodynamischen Berechnung ist, dass gelegentlich Probleme auftauchen, die man vorher gelöst glaubte:

Bereits sanierte Systeme zeigen plötzlich gravierende Rückstauprobleme, weil die mangels Gefälle sohlengleich verlegten Kanäle eben nicht das leisten, was die Normalabfluss-Theorie bisher vortäuschte ...

Teure neue Entlastungsleitungen oder Rückhaltebecken weisen Probleme aus, weil bis anhin vereinfacht mit rückstaufreiem Abfluss gerechnet wurde; nun fliesst Wasser aus dem über-

lasteten Gebiet unterhalb oder vom hochwasserführenden Vorfluter rückwärts ...

Solche Alpträume können zu den Konsequenzen des Umstiegs auf eine komplizierte Hydraulik gehören. Diese lassen sich durch Ignorieren umschiffen, doch ist abzusehen, dass sich solche Vereinfachungen mit der Zeit rächen.

Eine kompliziertere Berechnung vermittelt ganz allgemein ein wesentlich besseres Bild über die effektiven Belastungs- und Rückstauverhältnisse. Sinngemäß sind realistischere Aussagen über die Wirksamkeit von Sanierungsmassnahmen möglich, und es können Optionen untersucht werden, welche mit konventionellen Berechnungen hydraulisch nicht korrekt wiedergegeben werden können.

8.1.2 Die Dimensionierung

Ein wichtiger Gesichtspunkt in Zusammenhang mit der Berechnung ist die Tatsache, dass ein H-D-Programm in der Regel nicht dimensionieren kann - die Bemessung muss der Anwender vornehmen.

Die H-D-Simulation ist ein Analysen- und Nachweis-Werkzeug, kein Dimensionierungsprogramm.

Sofern Neubaugebiete zu bearbeiten sind, wird dort somit zuerst mit einer Listenrechnung das Kanalnetz vordimensioniert; danach erfolgt der Nachweis mit der H-D-Simulation. Dieser Weg wird zukünftig auch durch die relevante Euro-Norm vorgezeichnet, indem für die Bemessung einerseits sowie für die Prüfung der lokalen Rückstau- und Überflutungssicherheit auf individuellen Überschreitungshäufigkeiten abzustellen sein wird.

Einzelne Programmsysteme bieten Listenrechnungs-Module an, welche mit dem Zeitbeiwert oder mit sinngemässen Verfahren eine Dimensionierung vornehmen, so zum Beispiel Hystem-EXTRAN. Sanierungen auf Listenrechnungsbasis können jedoch in der Regel nicht als optimal betrachtet werden, da resultierende Mehrabflüsse meist eine Kanalvergrösserung bis zum Abfluß- oder Entlastungspunkt nach sich ziehen.

8.1.3 Die Sicherheit

Als Argument gegen die hydrodynamische Berechnung wird gelegentlich angeführt, dass damit die System-Reserven bis zum letzten ausgereizt würden und daher am sanierten Kanalnetz keine Sicherheit mehr vorhanden sei.

Für eine mittels hydrodynamischer Berechnung optimierte Dimensionierung, bei welcher mit dem Standard-Bemessungsregen der letzte Centimeter Kanaldurchmesser ausgenützt und der zulässige Rückstau voll in Rechnung gesetzt wird, steht in der Tat wahrscheinlich schlechter da als eine Listenrechnung mit großzügigen Annahmen und aufgerundeten Durchmessern.

Diese Vision entspricht jedoch sicher nicht den Zielsetzungen des Einsatzes besserer Berechnungsmethoden. Ein *'hydraulischer Bruchsicherheitsnachweis'* für den gewählten Systemausbau anhand verschiedener Regenannahmen, z.B. in Form mehrerer historischer Starkregen, kann zeigen, wo mit welcher Belastung welche Folgen auftreten, und welche möglichen Auswirkungen zu erwarten sind.

Im Gegensatz zur eingangs erwähnten Argumentation kann nur mit der H-D-Simulation die effektive Belastungs- und Rückstau-Situation realitätsnah dokumentiert werden. Vorausgesetzt ist dabei, dass nicht nur ein einzelner Lastfall untersucht wird, sondern auf der Basis mehrerer Starkregen die individuelle Empfindlichkeit in Funktion von Lage und Umfeld für alle Netzpunkte berücksichtigt wird.

8.2 In welche Hände gehört ein Abflussmodell?

Kann eine Listenrechnung im Rahmen des GEP in gewissen Grenzen durch weniger erfahrene Personen mehr oder weniger routinemässig und mechanisch durchgeführt werden, so gilt dies bei einem Abflussmodell in beschränktem Mass gerade noch für die Eingabe der Daten.

Bei der Überprüfung der modelltechnischen und hydraulischen Randbedingungen vor der eigentlichen Berechnung ist ein erfahrener Ingenieur-Hydrauliker gefordert. Andernfalls ist bei den Berechnungsergebnissen mit negativen Überraschungen zu rechnen, als Folge numerischer Instabilitäten oder unrichtiger Annahmen, z.B. bei den Randbedingungen bezüglich Rückstau.

Die Interpretation der Ergebnisse nach der Berechnung sowie deren Umsetzung in Varianten-Ideen für die Sanierung erfordern wiederum einen Hydrauliker mit Erfahrung - hier macht die Simulation keinen Unterschied zur Listenrechnung, sofern nicht eine simple durchgehende Vergrösserung der Leitungsdimensionen als ausreichende Grundlage für die Sanierung angesehen wird.

8.3 Was hat die Gemeinde/Behörde am Schluss in der Hand?

Das traditionelle Produkt einer Listenrechnungs-Bearbeitung besteht aus Resultatlisten, Situationsplänen und eventuell Längenprofilen, nebst einem technischen Bericht und Angaben über Kosten und Ausbau-Prioritäten des Kanalnetzes.

Bei einer komplizierten Berechnung ändert an diesen Grundbestandteilen in erster Linie nur der Informationsgehalt:

- Situationspläne können ergänzt sein durch farbig codierte graphische Darstellungen von Rückstau und hydraulischer Netzbelastung,
- Längenprofile können ergänzt werden mit Drucklinien für unterschiedliche Belastungs- und Sanierungszustände sowie verschiedene Belastungsvarianten,
- Ganglinien von Q, Niveau, Volumen, etc. ergänzen die statischen Qmax-Angaben der traditionellen Rechnung

Zusätzlich zu den üblichen Unterlagen liefern Frachtberechnungen Angaben über die Funktion der Entlastungs- und Überlaufanlagen im Kanalnetz, sowie gegebenenfalls über die Regenwasserbelastung der Kläranlage. Diese Daten bilden eine wichtige Basis für die Beurteilung der Überlaufanlagen hinsichtlich Einhaltung der Anforderungen des Gewässers.

8.4 Vertragen sich Listenrechnung und Modell nebeneinander?

Komplizierte Modellrechnungen zeigt ihren besten Nutzen im Bereich flacher und vermaschter Systeme mit Überlastungen und erhöhten Anforderungen an die Hydraulik.

Im Bereich steiler Gebiete mit nicht überlasteten Leitungen ist dagegen die Listenrechnung oft besser geeignet als komplizierte Programme, wegen der für die numerische Stabilität der Simulation abträglichen großen Geschwindigkeiten.

Wieso also nicht ein GEP für die oberen 90 Prozent des Einzugsgebiets mit der Listenrechnung bearbeiten, und nur die kritischen 10 Prozent ganz unten mit einem Simulationsmodell?

Das Problem hierbei liegt in der Schwierigkeit, die Qmax-Berechnungslogik der Fließzeitberechnung mit der Ganglinien- und Volumen-Logik der Modelle zu verbinden. Die traditionelle Listenrechnung kümmert sich nicht um Volumen, sondern nur um Momentanwerte von Abflüssen. Modifizierte Ansätze wie der Flutplan versuchen, diesen Mangel in gewissen Grenzen auszugleichen.

Durch vereinfachte Berücksichtigung und Zusammenfassung der oberen Einzugsgebiete im Modell sind gegebenenfalls Hilfskonstruktionen möglich. Solche An-

sätze können sinnvoll sein, wenn ein GEP bereits weitgehend oder ganz mit der Listenrechnung durchgearbeitet ist, und nachträglich noch Detailuntersuchungen in einem hydraulisch empfindlichen Teilbereich einbezogen werden sollen.

Durch die Inkompatibilität der Regenannahmen für Listenrechnung und Modell ist die Anpassung der Q-Werte an den Zuflusspunkten schwierig; die Abstimmung der Ergebnisse für das untersuchte Teilgebiet, sowie die Interpretation der Ergebnisse bieten erhebliche Probleme. Ein Weiterziehen der Teilergebnisse aus der Simulation in eine anschliessende Listenrechnung ist ebenfalls kaum möglich.

In der Regel ist es deshalb nicht sinnvoll, Verbundlösungen mit Listenrechnung und Modell von Anfang an einzubeziehen oder gar als Patentrezept zu propagieren. Eine allfällig notwendige spätere 'Heirat' bietet noch genügend Spielraum für unkonventionelle Problemlösungen.

8.5 Was kostet und was spart die Modellrechnung?

Mehrkosten oder eine mögliche Ersparnis durch den Einsatz eines Simulationsmodells sind nicht ohne weiteres geldwertmässig zu beziffern.

Die Anwendung eines Abflussmodells, dessen anteiligen Einführungsaufwand und das intensivere Engagement, sowie die voraussichtlich vertiefere Bearbeitung mit mehr Varianten wird sich ein Ingenieur bei der GEP-Bearbeitung realistischerweise durch einen höheren Preis bezahlen lassen, gegenüber einer Bearbeitung mit der Listenrechnung.

Den richtigen Partner vorausgesetzt, stehen diesen höheren Kosten jedoch echte Vorteile gegenüber durch ein besseres, meist wesentlich realistischeres Bild der effektiven Belastungs- und Rückstausituation im Kanalnetz. Dieses wiederum dient als zuverlässigere Basis für die zu treffenden Sanierungsmassnahmen.

Die Optimierung der Sanierungsmassnahmen durch die Möglichkeit, die Verbundwirkung im System und die Auswirkungen des Speicherraums im Netz zu nutzen, kann im Einzelfall wesentliche grossräumige Sanierungen einsparen.

Die Listenrechnung sowie vereinfachte Berechnungsverfahren können den Nutzen von Verbundmassnahmen nicht aufzeigen. Kanalvergrösserungen an einer Stelle ziehen bei der traditionellen Berechnung durch den Wegfall vorhandener Begrenzungen in vielen Fällen den Ausbau weiterer Leitungsabschnitte kanalabwärts nach sich. Daraus resultieren sehr oft große und kostspielige Ausbauprojekte.

Und ein Regenbecken, welches durch die mit Hilfe der Modellrechnung nachgewiesene Möglichkeit der Nutzung von Puffervolumen im Netz eingespart werden

kann, bezahlt unter Umständen die jetzige sowie auch noch die nächste GEP-Bearbeitung ...

9 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

9.1 Die wachsende Rolle der Kanalnetz-Bewirtschaftung

Die Kanalnetzberechnung mithilfe von H-D-Simulationsprogrammen ist vielerorts erst zaghaft im Kommen; gesamthaft gesehen ist die Erfahrungsbasis noch recht schmal.

Trotzdem werden mit Abflussmodellen in einigen Fällen schon eher aussergewöhnliche Aufgabenstellungen im Bereich der Kanalnetz-Bewirtschaftung angegangen. Diese Feststellung gilt sinngemäss auch für die Untersuchung von Entwässerungskonzepten mithilfe von Langzeit-Simulationen für die Optimierung von Entlastungs- und Regenwasser-Behandlungsmassnahmen.

In diesem Bereich der Siedlungsentwässerungen besteht noch ein enormes Aufgabenpotential, im besonderen hinsichtlich der Untersuchung regionaler Sammelkanalnetze, unter Einschluss der Überarbeitung der vielerorts überholten regionalen Wassermengen-Systematik.

Die Untersuchung bestehender Kanalnetze hinsichtlich der Nutzung vorhandener Speichervolumina wurde bereits erläutert. Dieses Einsatzfeld der Abflussmodelle dürfte in Zukunft zunehmende Bedeutung erhalten.

Für Kanalnetze mit grösserer Ausdehnung wird dabei auch der wesentliche Einfluss der zeitlich und räumlich ungleichförmigen Niederschläge einzubeziehen sein. Eine wichtige Rolle wird hier in Zukunft die Beschaffung entsprechender lokaler Regendaten in guter Qualität bekommen, sowie die Verbesserung des Zugriffs auf dieselben durch die Anwender.

Für die Untersuchung und Optimierung von Steuer-Konzepten, sowie für den Betrieb der eigentlichen Kanalnetz-Bewirtschaftung sind Simulationsprogramme in Arbeit oder in der Prototyp-Phase der Erprobung. Die Bedeutung von Mess- und Steuerkonzepten für Entwässerungssysteme und damit der geeigneten Werkzeuge zur Unterstützung der ARA- und Kanalnetz-Betriebe wird in den nächsten Jahren voraussichtlich stark zunehmen.

9.2 Wohin steuert die Kanalnetz-Berechnung?

Versucht man, die aktuelle Situation sowie die Informationen der Programm-ersteller zu interpretieren hinsichtlich der aktuellen Trends, dann ergeben sich etwa folgende Tendenzen für die weitere Entwicklung:

- *Einfachere und sicherere Programmbedienung*: Durch Weiterentwicklungen im Bereich der numerischen Hydraulik ergeben sich weitere Verbesserungen hinsichtlich der Stabilität und 'Narrensicherheit' der komplexen Berechnungen, auch bei Fehleingaben, welche normalerweise zu unstabilem Verhalten der Simulation führen.
- *Grössere Berechnungsnetze*: Durch leistungsfähigere Rechner und grössere Arbeitsspeicher verringern sich die Limiten bei der Berechnung, bei gleichzeitiger Beschleunigung der Verarbeitung. Der Einbezug der grösseren UNIX-Rechnerfamilie ermöglicht weitere Leistungssteigerungen.
- *Vernetzung auf der Eingabeseite*: Der Einbezug von Datenbanken und Informationssystemen in die Daten-Aufbereitung und -Übernahme wird stark erweitert und vereinfacht. Diese Datenquellen werden künftig die Handeingabe in Berechnungsprogramme weitgehend ablösen.
- *Schnittstellen auf der Ausgabeseite*: Sinngemässe Verbindungen zurück in Datenbanken und Informationssysteme, sowie zu Zeichenprogrammen, vereinfachen und verbessern die bildschirm- und graphikorientierte Aufbewahrung und Darstellung der Ergebnisdaten.
- *Simulation von Stoff-Frachten in Kanalnetzen*: In diesem Bereich ist eine starke Entwicklung im Gang; die Anforderungen an den Anwender sind jedoch sehr hoch, da multi-disziplinär. Hinsichtlich der notwendigen Eichungs- und Verifikationsdaten besteht ein grosses Defizit; hier sind große Anstrengungen von seiten der Forschung nötig.
- *Schnittstellen zu Gewässergüte-Simulationen*: Programme zur Simulation des Stoffhaushalts in Gewässern sind unterwegs; Verbindungen zu Kanalmodellen sind wichtig für die Simulation von übergreifenden Problemen. Auch hier ist die Verifikationsbasis noch sehr schmal.
- *Schnittstellen zur Kläranlagen-Simulation*: Modelle zur Untersuchung der ARA-Funktion bei Trockenwetter sind bereits seit

längerem mit Erfolg im Einsatz. Deren Verbindung mit Kanalnetz-Simulationsmodellen für die Regenwetter-Situation ist abzusehen, bzw. ist in vereinfachter Form bereits realisiert.

Modelle und Prozeduren der beschriebenen Art sind eine wichtige Voraussetzung dafür, dass wir den immer höheren Anforderungen in bezug auf den Schutz unserer Ökosysteme gerecht werden können, ohne dass dabei der Standard des Schutzes gegen Rückstau und Überschwemmung auf der Strecke bleibt.

Für die anstehenden großen Aufgaben in bezug auf die Untersuchung, die Sanierung und den Ausbau unserer Kanalnetz-Infrastruktur im Rahmen der GEP sind wir auf moderne und leistungsfähige Werkzeuge angewiesen.

Voraussetzung für deren Einsatz ist allerdings auch die entsprechende Aus- und Weiterbildung des Ingenieurs.

Darüber hinaus müssen wir uns in Zukunft beim Betrieb und der Optimierung der kostspieligen Anlagen mehr einfallen lassen. Es kann nicht angehen, dass wir zwar immer mehr und immer bessere Anlagen bauen, ohne diese jedoch auch richtig zu betreiben. Die Überlegungen zum GEP dürfen nicht einfach fünf Meter vor der Rechenanlage der ARA stehenbleiben!

Aus den genannten Gründen ist es sicher nötig, unsere Werkzeugkiste von Zeit zu Zeit einer Prüfung zu unterziehen und zu entrümpeln. Wir brauchen auf den 'Engländer' von gestern zum Nägel einschlagen nicht zu verzichten, aber ein neuer Hammer wäre sicher auch nicht zu verachten!

Christian Eicher, Ingenieur HTL
Beratung und Unterstützung für siedlungshydrologische Probleme

Holzackerstrasse 16A

CH-3123 Belp-Schweiz

