

## Inhaltsverzeichnis

### 20.1 Einleitung

### 20.2 Anforderungen an GEP-Berechnungen

- 20.2.1 Auswirkungen der Euronorm EN 752
- 20.2.2 Welche Berechnungsverfahren sind wo einzusetzen?
- 20.2.3 Konzeptberechnungen

### 20.3 Befestigungsgrad und Abflussbeiwert

### 20.4 Regenannahmen

- 20.4.1 Regenintensitätskurven
- 20.4.2 Einzel-Modellregen
- 20.4.3 Modellregen-Gruppen
- 20.4.4 Naturregen
- 20.4.5 Lokale / Regionale Regenverteilung
- 20.4.6 Regendaten für das Kantonsgebiet des Aargau
- 20.4.7 Übersicht über die Regendaten-Grundlagen in der Schweiz

### 20.5 Verwendung von lokalen Regendaten

- 20.5.1 Ausgewählte Starkregendaten
- 20.5.2 Regenserien
- 20.5.3 Bezugsquellen

### 20.6 Ergebnisdarstellung aus Simulationsprogrammen

- 20.6.1 Problemstellung und Hintergrund
- 20.6.2 Ergebnisse der hydrodynamischen Simulation
- 20.6.3 Möglichkeiten zur Verbesserung der Ergebnisdarstellung
- 20.6.4 Auflistung der wichtigsten Bestandteile einer Ergebnis-Dokumentation auf der Grundlage von Simulationsrechnungen

### 20.7 Anhang

- 20.7.1 Auswahl typischer Fragestellungen zur Wahl der Berechnungsmethoden
- 20.7.2 Starkregen Serie – Buchs – Suhr 1985 - 2007 (Frontalgewitter)
- 20.7.3 Starkregen Serie – Buchs – Suhr 1985 - 2007 (Landregen)
- 20.7.4 Starkregen Serie – Buchs – Suhr 1985 - 2007 (Vergleich 1 mit Intensitätskurve)
- 20.7.5 Starkregen Serie – Buchs – Suhr 1985 - 2007 (Vergleich 2 mit Intensitätskurve)
- 20.7.6 Regenmessstationen mit Bedeutung für den Kanton Aargau
- 20.7.7 Daten Berechnungsergebnisse Teil 1
- 20.7.8 Daten Berechnungsergebnisse Teil 2
- 20.7.9 Ergebnisdarstellung Belastungsplan  $Q_{max}$  /  $Q_{voll}$
- 20.7.10 Ergebnisdarstellung Überstauplan
- 20.7.11 Längenprofil mit Drucklinie
- 20.7.12 Abgabe der numerischen Resultate

#### Verfasser

- Ingenieurbüro Christian Eicher, Kirchfeldstrasse 18, 4917 Melchnau, 01.07.2009
- Nachführung und Ergänzung, Ingenieurbüro Roland Widmer, Mühlethalstrasse 111A, 4800 Zofingen

#### in Zusammenarbeit mit

- Abteilung für Umwelt, Departement Bau, Verkehr und Umwelt

## 20.1 Einleitung

Die Verwendung von Simulationsprogrammen im Rahmen von Entwässerungsplanungen erfordert eine Reihe von speziellen Gesichtspunkten und Randbedingungen.

Dies betrifft nicht nur den Einsatz der Simulationstechnik an sich, sondern im Vergleich zur konventionellen Fliesszeit-Berechnung der Abflüsse und Systembelastungen ebenfalls die angepasste Wahl von Belastungsannahmen in Form von Regen, die Aufbereitung der Daten, sowie die Darstellung und Interpretation der Ergebnisse.

Dieser Thematik ist die nachfolgende Sammlung von Beiträgen gewidmet. Diese sollen ergänzend zu den vorhandenen Unterlagen, insbesondere zum GEP-Mustertbuch des VSA, Hilfestellung bieten für den Einsatz von Simulationsprogrammen für die Untersuchung, Dimensionierung, die Optimierung und den Leistungsnachweis von Entwässerungssystemen in Gemeinden, Städten und Abwasserverbänden.

## 20.2 Anforderung an GEP-Berechnungen

*Für die Selektion von Berechnungsmethoden enthält das VSA-GEP-Musterbuch in Kapitel 6.2 eine Reihe von Entscheidungshilfen und Hinweisen, namentlich auch für die Unterscheidung des Bedarfs einfacher Berechnungsmethoden gegenüber Simulationsprogrammen.*

*In der Praxis zeigt sich jedoch vielerorts, dass die entsprechenden Anforderungen ignoriert, heruntergespielt oder aber teilweise nicht verstanden werden.*

*Mit dem Kapitel 20 sollen zu diesem Themenbereich ergänzende Hilfestellungen angeboten und vor allem auch die Vorteile einer besseren Methodik sowie der Nutzen der Verwendung von Simulationen anstelle der oftmals zu stark vereinfachenden Listenrechnung dargestellt werden.*

*Es soll hier aber auch ganz klar festgehalten werden, dass eine kompetent eingesetzte einfache Hydraulik einer falsch verstandenen Zahlengläubigkeit gegenüber den Ergebnissen einer Simulation in den falschen Händen bei weitem vorzuziehen ist – eine Simulationsrechnung bloss um der Simulation willen bringt nichts!*

Wesentlichstes Unterscheidungsmerkmal zwischen Listenrechnung und Abfluss-Simulationen ist, dass in der ersteren nur eine Beziehung zwischen Regenintensität und **Maximalabfluss** an einem bestimmten Punkt des Systems hergestellt wird, während im zweiten Fall die ganzen **Volumen-Zusammenhänge** im System mitberücksichtigt werden.

**Unterscheidung Listenrechnung / Simulation**

Zwar lassen sich auch bei einer einfachen Listenrechnungs-Hydraulik über Hilfsannahmen Quasi-Ganglinien des Abflusses erzeugen; diese ergeben jedoch notgedrungen unsichere Annahmen, welche sich auch in den wenigsten Fällen anhand von vorhandenen Messdaten verifizieren lassen.

Die für die Listenrechnung verwendeten Intensitätskurven der Regen sind statistische Grössen ausgewählter Regendauer-Abschnitte. Diese enthalten keine Ereignis-Volumen-Zusammenhänge; sie können daher diesbezüglich keine sicheren Ergebnisse liefern.

Es ist wichtig, zu verstehen, dass die verschiedenen Berechnungsmethoden sich ebenfalls wesentlich unterscheiden in Bezug auf die erforderlichen **Regen-Annahmen**, welche das Entwässerungssystem belasten. Details hierzu sind im VSA-GEP-Musterbuch im Kapitel 5.5.2 zu finden; ergänzende spezielle Erläuterungen dazu sind in den Kapiteln 20.4 und 20.5 zu finden.

**Regen-Annahme**

### 20.2.1 Auswirkungen der Euronorm EN 752

Die technische Entwicklung steht auch im Bereich Siedlungsentwässerung sowie bezüglich der Anforderungen an die Projektbearbeitungen nicht still.

Auf europäischer Ebene ist es die Euro-Norm EN 752, welche übergeordnete Anforderungen, Vorschriften und Richtlinien für unsern Fachbereich bindend definiert. Im benachbarten Deutschland wurden diese europäischen Rahmen-Normen in den DWA-Arbeitsblättern A118 und A110 umgesetzt (DWA = Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall; Nachfolger der Abwassertechnischen Vereinigung ATV).

**Euro-Norm EN-752**  
**DWA-Arbeitsblatt A118 + A110**

Neu für unsere bisherige Praxis und deshalb von besonderem Interesse sind die Bestimmungen in der EN 752 über den Standard für die Bemessung und den Nachweis von Entwässerungsanlagen. Ferner finden sich generelle Vorgaben über die zu verwendenden Berechnungsmethoden sowie zur Prüfung der Berechnungen.

Die Vorgaben der EN 752 müssen in nationalen und ggf. lokalen Normen und Vorschriften umgesetzt werden. Bei verschiedenen Norm-Texten besteht ein erheblicher Interpretations- und Erklärungsbedarf mit vorderhand noch unbestimmter Endformulierung. Diese Bearbeitung und Umsetzung steht uns in der Schweiz noch bevor.

Für das **Vorgehen für die Entwässerungsplanung** liefert die EN 752 folgende Vorgaben, wobei Bearbeitungsumfang und -tiefe in jedem Fall von den jeweiligen lokalspezifischen Verhältnissen und Bedürfnissen abhängig sind:

**Vorgehen für die Entwässerungsplanung**

**Systemanalyse:** Diese umfasst die Überprüfung des bestehenden Kanalnetzes durch Nachrechnung und Darstellung der Auslastungsverhältnisse, ergänzende Untersuchungen am Kanalnetz selbst über Funktion, Zustand, Zuflüsse, Fremdwasser, sowie Messungen von Niveaus und / oder Durchflüssen.

**Schritt 1**

**Hydraulische Überprüfung:** Diese behandelt die rechnerische Analyse des Entwässerungssystems mit verschiedenen Belastungsannahmen sowie mit den aus den Ergebnissen von Schritt 1 definierten Ausbau- und Sanierungsvarianten.

**Schritt 2**

**Hydraulischer Rückstaunachweis** zur Überprüfung der Zielerfüllung des sanierten und ausgebauten Systems hinsichtlich dem erreichten Schutzgrad gegen Überschwemmungen.

**Schritt 3**

Vorgängig der Bearbeitung erfolgt die Wahl des benötigten Berechnungswerkzeugs, sowie eventuell dessen Validierung für die vorgesehene Aufgabenstellung und deren Anforderungen. In dieser Validierung sind die Systemdaten in deren Umsetzung im Berechnungsprogramm zu überprüfen – hier primär bezüglich der Oberflächenabfluss-Parameter. Die gängigen Simulationsprogramme selber müssen im Normalfall nicht validiert werden, da in der Regel bekannt – ausser es handelt sich um neue oder nicht dokumentierte Produkte.

**Wahl der Berechnungsmethode**

Entsprechende Systemkenntnisse vorausgesetzt, kann die Berechnungsmethode bereits im Aufgabenbeschrieb des Projekt-Pflichtenhefts bestimmt und vorgegeben werden; dann entfällt dieser Bearbeitungsschritt.

Auf der Grundlage der Überprüfung des Kanalnetz-Ist-Zustands mit heutiger und zukünftiger Überbauung in Schritt 1 werden der Sanierungs-Standard definiert sowie mögliche Massnahmen für die hydraulische Netzsanierung entwickelt.

Die Bearbeitung innerhalb von Schritt 2 läuft in der Regel iterativ ab, indem in mehreren Durchgängen aus den ersten Sanierungsideen optimale Lösungen erarbeitet werden. Schritt 3 bildet die abschliessende Prüfung und Kontrolle der vorgenommenen Optimierungen.

Das übliche Vorgehen bei der Bearbeitung von GEP läuft im Wesentlichen sinngemäss zu den vorgenannten Schritten ab – nur gibt sich der Anwender oft nicht klar Rechenschaft über deren Zusammenwirken und Abhängigkeiten.

Noch nicht allgemein üblich ist die Untersuchung des Ist-Zustands eines Kanalnetzes – diese wird oft eingespart mit dem Argument, dass diese ja doch nichts bringe und gegenüber dem wichtigeren Ausbauzustand gar nicht von Interesse sei.

**Ist-Zustands-Berechnung**

Hauptargument für eine Ist-Zustands-Analyse ist die Möglichkeit einer Verifikation der Ergebnisse anhand der Realität – im besseren Fall sind dies Durchfluss- oder Niveaumessungen; andernfalls sollten zumindest die Auswirkungen historischer Schadenfälle als Kontrolle herangezogen werden anhand verfügbarer Aufzeichnungen von Überlastungen und Rückstau.

Ein weiterer wichtiger Nutzen der Ist-Zustands-Untersuchung ist die Hilfe bei der Beurteilung von Sanierungsprioritäten – wenn nur auf die zukünftigen Bedürfnisse abgestellt wird, kommen bei der Festlegung der Dringlichkeiten oft die bereits heute vorhandenen Sanierungserfordernisse zu kurz.

Ein neuer und wesentlicher Gesichtspunkt der Euro-Norm EN-752 ist der **Überflutungsnachweis**: Bei entsprechenden Verhältnissen und Anforderungen ist nachzuweisen, was auf der Oberfläche passiert, wenn Wasser aus dem Kanalnetz austritt oder infolge Überlastung nicht mehr von diesem aufgenommen werden kann.

**Überflutungsnachweis**

Diese Situation ist im Besonderen gegeben bei tiefliegenden Teilgebieten, sowie für Unterführungen von Verkehrswegen. Wichtig ist dabei auch der Einbezug von kritischen Vorfluter-Wasserspiegeln, nebst abflusseitigen Randbedingungen, zum Beispiel in der Form von regionalen Sammelkanälen, welche bei Gemeinde-GEP oftmals zu Unrecht zur Vereinfachung ausgeklammert werden.

In Deutschland wurde die Umsetzung der EN-752 für die Verhältnisse in der Bundesrepublik in der Überarbeitung des DWA-Arbeitsblatts A118 vorgenommen. Dabei wurde der rechnerisch schwer fassbare Begriff Überflutung vereinfachend ersetzt durch den Überstau, bezogen auf das Überschreiten eines zu vereinbarenden Bezugsniveaus, meistens die Deckel- beziehungsweise Terrainhöhe.

**Überflutung - Überstau**

Dieses Bezugsniveau kann jedoch auch ein bestimmtes Mass unter dem Deckel oder über dem Kanalscheitel liegen, oder aber der entsprechende Wert kann je nach den örtlichen Verhältnissen variabel gewählt werden.

Die **Schweizer Norm SN 592'000 – Liegenschaftsentwässerungen** kennt sinngemäss den Begriff der «Rückstauenebene gemäss GEP» – diese ist jedoch bisher im GEP-Bereich nicht klar definiert oder eingeführt.

**Begriff «Rückstauenebene»**

Die SN 592'000 bezieht sich ihrerseits wiederum auf die Euro-Norm EN-752 und weitere.

Als weiteren Begriff für die hydraulische Beurteilung von Kanalnetzen kennen wir den **Überlastungsnachweis**, d.h. einen rechnerisch ausgewiesenen Belastungsgrad  $Q_{\max}$  zu  $Q_{\text{voll}}$  grösser als ein bestimmter Grenzwert – meistens 85 oder 90 Prozent der theoretischen Vollfüllung. Dieser Belastungsgrad ist in der Regel das einzige Beurteilungskriterium für Kanalnetzberechnungen, wenn mit einfachen Methoden wie der Listenberechnung gearbeitet wird, die sich nur am Verhältnis  $Q_{\max}$  zu  $Q_{\text{voll}}$  orientieren können.

**Überlastungsnachweis**

Zu berücksichtigen ist dabei, dass flache Kanäle (unter ca. 5 Promille Gefälle) Belastungsgrade wesentlich über 100 Prozent relativ tolerant überstehen, währenddem steile Kanalnetze durch den pulsierenden Abfluss bereits bei Belastungs- und Füllgraden deutlich unter 100 Prozent zuschlagen und zu abgedeckten Schächten führen können. Vergleiche auch SIA 190 (September 2017).

W.H. Hager weist anhand von Untersuchungen über diese theoretischen Füllungsgrade nach, dass Kontrollschächte mit Richtungsänderungen und Kanalvereinigungen bei schiessenden Abflüssen einen wesentlich tieferen kritischen Füllungsgrad für Zuschlagen aufweisen und daher limitierend wirken – ein Umstand, der bisher weitgehend vernachlässigt wurde.

Generell ist zu berücksichtigen, dass der Belastungsgrad  $Q_{\max}$  zu  $Q_{\text{voll}}$  für sich allein kein hinreichendes Beurteilungskriterium darstellt für die Definition von Sanierungsmassnahmen. Der Belastungsgrad sollte immer zusammen mit den Auswirkungen einer Überlastung beurteilt werden; diese können erfahrungsgemäss wesentlich anders aussehen und sich an andern Stellen im Kanalnetz manifestieren als dem Ort der Netzüberlastung.

Sanierungskriterien  
Hydraulik

Neu sieht die Euro-Norm EN-752 vor, dass die für die Bemessung angenommenen oder aus Simulationen nachgewiesenen **Überschreitungsjährlichkeiten** nicht mehr pauschal uniform für ein ganzes Gebiet identisch sein müssen, sondern an die unterschiedliche Nutzung beziehungsweise Gefährdung anzupassen sind.

Selektive Wahl Jährlichkeiten

Der Sicherheits- oder Sanierungs-Standard ist damit von der Gebiets-Nutzung, vom Alter der Infrastruktur (Gebäude und Kanalnetz), sowie vom Gefährdungspotential abhängig. Das letztere ist von topographischen sowie auch hydrologischen und hydraulischen Randbedingungen abhängig; wichtige Bestandteile sind etwa:

- Rückwirkungen infolge Vorfluter-Einstau bei Hochwasser;
- hohe Grundwasserspiegel, welche u.a. zum Versagen von Versickerungsanlagen führen können;
- wesentliche Gebiete oberhalb, mit Hangwasserproblemen.

Die genannten Zusammenhänge können weitergehende Abklärungen notwendig machen, auch den Einbezug lokaler Gefahrenkarten, nebst den daraus definierten Massnahmen im weiteren Einzugsgebiet.

### 20.2.2 Welche Berechnungsverfahren sind wo einzusetzen?

Einfache allgemeinverbindliche Richtlinien oder Normen über die anzuwendende Berechnungshydraulik lassen sich nach gegenwärtiger Einschätzung nicht festlegen, da zahlreiche Faktoren und Randbedingungen mitbestimmend sind (siehe die zuletzt genannten Aspekte im vorhergehenden Kapitel). Es ist darauf zu achten, dass nur geeignete und in der Praxis vermehrt eingesetzte Verfahren gewählt werden.

Die **Formulierungen der EN-752** lassen die Wahl ebenfalls weitgehend offen; als massgebendes Kriterium für die Wahl eines Simulationsmodells anstelle einer einfachen Listenrechnung werden lediglich «erhebliche Auswirkungen auf unterhalb liegende Kanalnetze» angeführt.

Aus der praktischen Erfahrung können die **Anforderungen an die Berechnungsprogramme** generell etwa wie folgt definiert werden:

- Eine **vereinfachte Hydraulik** ist dann sinnvoll und zulässig, wenn überwiegend neue Kanalnetze dimensioniert werden müssen. Weitere Voraussetzungen für die Zulässigkeit einfacher Berechnungsansätze sind eine einfache Baumstruktur, wenige überlastete Kanäle sowie keine hydraulisch komplizierten Vermaschungen und Sonderbauwerke im System.
- Eine **hydrodynamische Analyse ist angezeigt** für die Untersuchung und Beurteilung überwiegend bestehender Kanalnetze, weil dabei verlässliche Niveau- beziehungsweise Rückstauverhältnisse bei verschiedenen Regenbelastungen gefordert werden, welche mit einer vereinfachten stationären Hydraulik in der Regel nicht sicher genug ermittelt werden können.
- **Hydrodynamische Berechnungen sind zwingend anzuwenden**, wenn die zu untersuchenden Kanalnetze flach, sehr ausgedehnt und in wesentlichen Teilen nicht scheidelbündig verlegt sind oder Vermaschungen aufweisen; gezielte Netz-Vermaschungen können zudem als wichtige Sanierungsmassnahme in Betracht gezogen werden; massgebende Rückstau-Randbedingungen von Gewässern her verlangen in der Regel ebenfalls eine aufwendige Hydraulik; in diesen Fällen sind die Normalabflussbedingungen nicht eingehalten, womit die vereinfachte Hydraulik grundsätzlich nicht mehr gültig ist und zu wesentlichen Fehleinschätzungen der Belastungsverhältnisse führen kann.

Vereinfachte Hydraulik

Hydrodynamische  
Berechnungen

Der wesentliche Nutzen der hydrodynamischen Berechnung verschwindet bei steileren Gefällslagen, weil hier die volumenrelevanten Zusammenhänge mit Füllung, Speicherung, Umverteilung und Entleerung nur noch eine untergeordnete Rolle spielen. Weil jedoch viele Netze sowohl steile wie flache Teilsysteme aufweisen, diktiert das flache Teilnetz mit seinen Anforderungen in der Regel die Berechnungsmethode des Gesamtsystems. Von gemischten Berechnungen ist abzuraten, weil die Übernahme-Randbedingungen an den Schnittstellen nicht zusammenpassen!

**Anforderungen an die Anwender der Hydraulik:** Die Umsetzung hydraulisch anspruchsvoller Sonderbauwerke, die Wahl der Berechnungsannahmen, die Kontrolle der Systemdaten auf Richtigkeit und die Interpretation der Berechnungsergebnisse gehören in die Hand von Fachleuten. Diese müssen ein hochentwickeltes hydraulisches Urteilsvermögen aufweisen für die Erkennung von möglichen berechnungstechnischen Fehlern und Fehleingaben.

Anforderungen an die Anwender der Hydraulik

Hauptvorteil der einfachen Hydraulik gegenüber der hydrodynamischen Simulation ist deren relativ gute Transparenz und Überprüfbarkeit. Trotzdem benötigt auch eine Listenrechnung bei der Beurteilung der Ergebnisse erfahrene Fachleute als Grundvoraussetzung für eine kompetente Interpretation der Daten sowie für die Umsetzung der Folgerungen daraus in Sanierungsvorschläge.

*Eine Auswahl typischer Fragestellungen zu den Kriterien für die Wahl der geeigneten Berechnungsmethoden findet sich im Anhang 20.7.1.*



### 20.2.3 Konzeptberechnungen

Untersuchungen von Entwässerungs- und Entlastungskonzepten haben zum Ziel, die Überlaufkennwerte – Volumen, Dauer und Anzahl von Entlastungen – für die Beurteilung der Einleitbedingungen zu ermitteln, beziehungsweise diese in iterativen Berechnungen zu optimieren unter Berücksichtigung der Anforderungen der Gewässer.

Für solche Bearbeitungen haben seit vielen Jahren Langzeit- oder Kontinuum-Simulationen einen festen Platz in GEP-Bearbeitungen. Diese verwenden meistens eine grobmassstäblich zusammengefasste Kanalnetz-Systematik, mit Abbildung der massgebenden Mischwasser-Entlastungsanlagen sowie ggf. dem Einbezug der Meteorwasserkanäle aus Trennsystemen.

Im Gegensatz zur einzel-ereignisbezogenen Detailberechnung werden in der Langzeit- und Kontinuum-Simulation mehrjährige Regenreihen als Belastungsgrösse verwendet, deren Ergebnisse für jeden Berechnungspunkt in statistischer Form aufbereitet werden.

- **Kontinuum-Simulationen** verwenden hierbei vollständige Regenserien, unter Einschluss der kleinen und kleinsten Niederschläge; diese ergeben insbesondere auch für die Weiterleitfrachten zur Kläranlage verlässliche Ergebnisse, was speziell für die Plausibilisierung der Resultate wertvoll sein kann;
- **Langzeit-Simulationen** rechnen mit «abgespeckten» Regenreihen, bei denen ein Teil des Regenspektrums – typischerweise die kleinen Regen unterhalb eines Grenzwerts – fehlt; dementsprechend sind die Weiterleitfrachten nicht repräsentativ, währenddem die Entlastungsfrachten in der Regel zuverlässig genug ermittelt werden.

Die früher verwendeten SASUM-Regenkataloge unter Verwendung von «Stellvertreter-Regen» mit entsprechenden Gewichten gemäss einer normierten Voraus-Berechnung sollten beim heutigen Stand der Technik und den guten verfügbaren Regendaten nicht mehr verwendet werden.

Ermittlung Überlaufkennwerte

System-Vereinfachung

Kontinuum-Simulationen

Langzeit-Simulationen

## 20.3 Befestigungsgrad und Abflussbeiwert

*Die klare Unterscheidung der beiden Begriffe im praktischen Gebrauch ist wegen der wesentlichen Auswirkungen bei der Abflussberechnung sehr wichtig.*

*Die traditionelle **Listenrechnung** auf der Basis von Regenintensitätskurven verwendet den Spitzenabflussbeiwert für die Ermittlung der Maximalabflüsse in einem Entwässerungssystem. Der **Spitzenabflussbeiwert** ist diejenige Grösse, die dem Praktiker im allgemeinen am nächsten steht.*

*Für Berechnungen mit **Simulationsprogrammen**, welche Ganglinien des Abflusses aus realen oder synthetischen Regenverläufen erzeugen, ist dagegen für die hier massgebenden Volumen-Zusammenhänge der **Anteil der befestigten Flächen massgebend**.*

*Bereits diese grobe Gegenüberstellung zeigt deutlich, dass der traditionelle Spitzenabflussbeiwert in Simulationsanwendungen nichts zu suchen hat und unter Umständen wesentliche Fehler zur Folge haben kann.*

Der **Befestigungsgrad** entspricht dem physikalisch messbaren Anteil der undurchlässigen Flächen am massgebenden Gesamteinzugsgebiet. Der entsprechende Wert für jedes Teileinzugsgebiet wird im Normalfall direkt als Basis-Parameter für die Eingabe in Simulationsprogramme verwendet, welche im Teilmodul Oberflächenabfluss anhand der Verlustbeiwerte für Benetzung, Retention und Pfützenbildung usw. den Nettoabfluss als Ganglinie ermitteln.

**Befestigungsgrad**

Befestigte Flächenanteile, welche in angrenzende durchlässige Böden entwässern, benötigen je nach den Verhältnissen eine besondere Behandlung. Dies gilt sinngemäss für Teilflächen, welche gezielt in Versickerungsanlagen oder direkt in Gewässer abgeleitet werden.

Anfangs- und Dauerverluste durch Mulden, Verdunstung, Verwehen und Versickerung, welche einen Teil des gefallenen Regens nicht zum Abfluss kommen lassen, werden bei Simulationsrechnungen als separate Parameter definiert und bei der Berechnung einbezogen; sie werden nicht im Befestigungsgrad berücksichtigt, im Gegensatz zum Vorgehen bei der Ermittlung des Spitzenabflussbeiwerts.

**Anfangs- und Dauerverluste**

Der **Spitzenabflussbeiwert** ist demgegenüber eine aus dem Befestigungsgrad abgeleitete Grösse. Der Spitzenabflussbeiwert kommt in Verbindung mit der Listenrechnung (englisch: Rational Formula) zur Anwendung und beschreibt definitionsgemäss das Verhältnis zwischen der zu einer bestimmten Fliesszeit massgebenden Block-Regenintensität und der resultierenden Maximal-Abfluss-spende:

**Spitzenabflussbeiwert**

$$\psi_s = \text{Abflussspende} / \text{Regenspende} = q [l/(s \cdot \text{ha})] / r [l/(s \cdot \text{ha})]$$

Der Spitzenabflussbeiwert ist somit für volumetrische Betrachtungen nicht gültig und liefert dort je nach den Verhältnissen sowohl zu kleine wie auch zu grosse Wassermengen. Dies wirkt sich ganz direkt ebenfalls bei Simulationen aus, da dort bei Verwendung des  $\psi_s$ -Werts unmittelbar das Volumen des Ganglinien-Inhalts betroffen ist.

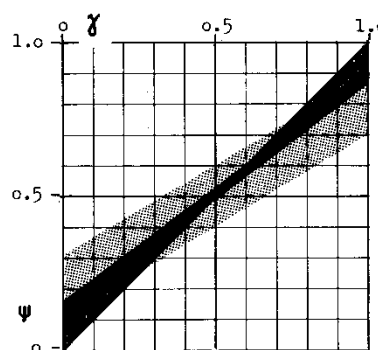
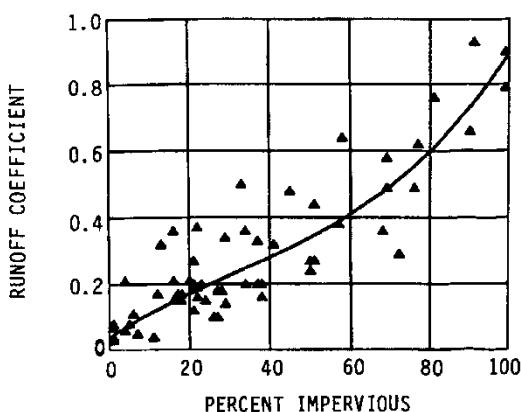
Die Ermittlung des Spitzenabflussbeiwerts erfolgt durch Gewichtung der einzelnen Befestigungsanteile (Dächer, Strassen, Grünflächen, steile Böschungen und Bezugsgebiete...) mit individuellen Abflussfaktoren zur Berücksichtigung von deren Anteil am Gesamtabfluss. Hierzu bestehen gute Vorlagen im GEP-Musterbuch des VSA sowie in kantonalen Richtlinien.

Der Spitzenabflussbeiwert wird üblicherweise vereinfachend als über die Zeit konstant und unabhängig von der Bemessungs-Jährlichkeit angesehen.

Spitzenabflussbeiwerte berücksichtigen je nach den Verhältnissen ebenfalls Abflussanteile aus durchlässigen Flächen, zum Beispiel für sogenannte Gebiete oberhalb, welche aus topographischen Gründen in das Siedlungsgebiet entwässern. Diese Werte sind jedoch wegen den komplexen Sättigungs-Vorgängen natürlicher Böden sehr unsicher und können zu massiven Fehlern führen – sofern diese Zusammenhänge im Rahmen von GEP-Bearbeitungen, etwa bei Hangwasserproblemen, wichtig sind, sollte unbedingt ein erfahrener Hydrologe beigezogen werden.

**Behandlung durchlässige Flächenanteile**

Die nachstehenden Grafiken zeigen den Zusammenhang von Befestigungsgrad  $\gamma$  (Percent impervious, unten beziehungsweise oben) und Spitzenabflussbeiwert  $\psi_s$  (Runoff coefficient, links). Die Darstellung links stammt aus einer älteren amerikanischen Untersuchung der Grundlagendaten zu Messdaten aus dem gesamten Gebiet der USA, die rechte Grafik aus dem Lehrmittel «Abwasser» von W. Munz.



Wie aus der Darstellung ersichtlich, sind die Spitzenabflussbeiwerte für kleine Befestigungsgrade wertmässig tendenziell grösser als dieselben; dagegen bei grossen Befestigungsgraden, d.h. bei geringen Anteilen durchlässiger Flächen, im allgemeinen kleiner als diese.

Gemäss Quelle basieren die Daten der linken Darstellung auf Abflussberechnungs-Grundlagen für Regen-Jährlichkeiten bis  $z = 2$ . Für seltenere Regen sind aus den durchlässigen Flächenanteilen infolge der zunehmenden Bodensättigung grössere Abflüsse zu erwarten.

## 20.4 Regenannahmen

*Die verschiedenen gebräuchlichen Berechnungsmethoden erfordern unterschiedliche Belastungsannahmen in Form von Regendaten.*

*Neben Regendaten in Form von Intensitätskurven kommen vermehrt Regenverläufe in Form von Modellregen und Naturregen zur Anwendung. Für Untersuchungen unter Verwendung von Simulationsmodellen kommt effektiv gemessenen historischen Regendaten als direkte Belastungsannahme in Simulationsrechnungen wachsende Bedeutung zu.*

### 20.4.1 Regenintensitätskurven

Die traditionell verwendete Fließzeitberechnung in Listenform erfordert als Grundlage Kurven der massgebenden Regenintensitäten, ausgehend von der Theorie, dass für einen Berechnungspunkt mit bestimmter Fließzeit die Intensität der entsprechenden Regendauer gerade den maximalen Abfluss erzeugt. Voraussetzung für diese Annahme ist, dass das Einzugsgebiet bezüglich Form und Fließzeiten in etwa homogenen Charakter aufweist und keine Abflusstrennungen und externen Zuflüsse bestehen.

**Bezug zur Fließzeitmethode**

Intensitätskurven sind Ausgleichskurven aus der statistischen Auswertung von Starkregendaten für verschiedene Dauerstufen mit gegebener Wiederkehr-Wahrscheinlichkeit. Die Regenintensitätswerte der in dieser Art vorgenommenen statistischen Auswertung nehmen mit zunehmender Regendauer ab.

Für den Kanton Aargau bestehen Intensitätskurven-Vorgaben basierend auf den Auswertungen von Hörler und Rhein für Regendauern bis 60 Minuten; diese sind im Kapitel 2.3.3 dieses Ordners beschrieben. Ebenfalls definiert sind die massgebenden Formelwerte der Regenintensitäten für Regendauern über 60 Minuten gemäss den alten Tageswert-Auswertungen von Hörler.

**Alte Aargauer-Kurven**

Seit dem Erscheinen der neuen Schweizer-Norm SN 640 350 des VSS Anfang 2001 bestehen für die Dimensionierung von Strassenentwässerungsanlagen neue Intensitätskurven, welche allerdings wiederum begrenzt sind auf Regendauern bis 60 Minuten.

**Neue SN 640'350-Kurven**

Für längere Regendauern, wie sie speziell für die Untersuchung von Retentionsproblemen benötigt werden, sind vorderhand noch keine neuen Daten-Auswertungen verfügbar. Die neuen SN-Regendaten sind aus diesem Grund sowie wegen weiteren Begrenzungen (relativ kurzes Zeitfenster für die Statistik, wenig transparente Regionalisierung) nur mit Vorbehalt für normale GEP-Anwendungen zu verwenden.

**Vorbehalt lange Regendauern**

### 20.4.2 Einzel-Modellregen

Für Simulationsprogramme können die Daten aus den Intensitätskurven nicht – beziehungsweise nicht direkt – verwendet werden: Die Intensitätskurven geben nicht den Charakter eines einzelnen Starkregens wieder, sondern sie sind Ausgleichs-Kurven über die Datenpunkte der Statistik einer Vielzahl verschiedener Regen. Dieser Zusammenhang wird deutlich, wenn ein einzelner effektiv gemessener Regen in die Intensitätskurvenschar hinein aufgeschlüsselt wird.

**Einzel-Modellregen**

Bereits in den fünfziger Jahren wurden für frühe Simulationsberechnungen in Chicago von C.J. Keifer und H.H. Chu Modellregen aus den Intensitätskurven entwickelt.

Diese sog. Chicago-Design Storms (CDS) wurden zwanzig Jahre später mit der rasch zunehmenden Verbreitung der Simulationsmodelle «wiederentdeckt» und breit angewandt – meistens jedoch ohne sich über deren wichtigen Probleme und Anwendungs-Grenzen Rechenschaft zu geben. Hierüber besteht im englischen Sprachraum ausführliche kritische Literatur; diese ist aber in Europa praktisch unbekannt oder wird ignoriert.

**Chicago-Design-Storm**

Die gleiche CDS-Modellregen-Konstruktion hat im VSA-GEP-Musterbuch im Kapitel 5.5.2 Eingang gefunden; ein sinngemäßes Konzept wurde seinerzeit als «Grenzregen» von W. Munz an der EAWAG vorgeschlagen. Zum Berechnungsprogramm SASUM-DIM werden ebenfalls solche Regen mitgeliefert.

In Deutschland ist eine vereinfachte Version des CDS unter der Bezeichnung «Euler-Modellregen» als Quasi-Standard im Gebrauch – für die meisten Anwender jedoch ohne Kenntnis der historischen und technischen Hintergründe, und ohne Reflexion der Limiten. Dieser Modellregen wird von den Entwicklern der Programme Hystem-Extran und REHM-HYKAS unter die Leute gebracht.

**Euler-Modellregen**

Der entscheidende Nachteil des Einzel-Modellregens ist, dass Naturregen mit einem sinngemässen Verlauf in der statistischen Einzel-Auswertung mit vergleichbarer Jährlichkeit über alle Dauerstufen praktisch kaum vorkommen, somit die effektiv resultierende Belastung für das Entwässerungssystem gegenüber der theoretischen Annahme zu hoch ist.

**Vorbehalte zu Modellregen**

Dieser wichtige Kritikpunkt wird allerdings teilweise als wesentlicher Vorteil herausgestrichen: Der CDS produziert im allgemeinen Abflüsse und Rückstauverhältnisse, die auf der sogenannten «sicheren Seite» liegen – die Frage ist aber zu stellen, wie weit auf der «sicheren Seite» zu liegen wir uns bei hydraulischen Sanierungsmassnahmen leisten können oder wollen.

Bei grossen Kanalnetzen und insbesondere bei regionalen Entwässerungssystemen ergeben Einzel-Modellregen wie der CDS zu geringe Belastungen, weil in diesen Fällen in der Regel erst langanhaltende «Volumenregen» mit weitgehender zeitlicher Überlagerung aller Teilnetze für die kritische Systembelastung massgebend werden.

Der Einzel-Modellregen wird immer mit der Jährlichkeit der zugrundeliegenden Intensitätskurve verbunden: Für den Anwender und meist auch gegenüber dem Auftraggeber wird dabei die Illusion erweckt, dass die damit berechneten Ergebnisse  $Q_{\max}$  oder  $H_{\max}$  eine dementsprechende Jährlichkeit des Auftretens aufweisen – dem ist jedoch nicht so.

Genausowenig, wie eine fünfjährige Intensitätskurve für ein Kanalnetz Abflüsse und Belastungen mit einer Jährlichkeit von einmal in fünf Jahren ergibt, kann der Modellregen einer bestimmten Jährlichkeit solche Ergebnisse produzieren. Die Auswirkungen eines Regens hängen massgeblich von den Randbedingungen des untersuchten Systems ab, von dessen unterschiedlicher Empfindlichkeit auf Regen-Intensität oder Regen-Volumen, sowie zahlreichen weiteren Faktoren.

### 20.4.3 Modellregen-Gruppen

Verschiedene Autoren haben versucht, den wesentlichen Nachteilen des Einzel-Modellregens etwas Besseres gegenüberzustellen. Die sogenannte Modellregen-Gruppe stellt einen solchen Versuch dar: Anstelle eines einzelnen Modellregenverlaufs werden mehrere solcher Modellregen mit spezifischer Struktur für verschiedene Regendauerstufen generiert und parallel durchgerechnet.

#### Modellregen-Gruppen

Für die Ergebnis-Beurteilung wird sodann der jeweilige Höchstwert der verschiedenen Modellregen verwendet, und dieser mit der Jährlichkeit der Ausgangsdaten der zugrundeliegenden Regenstatistik in Verbindung gebracht.

Die einzelnen Regenverläufe werden in der Regel auf der Basis einer Mittelung normalisierter relativer Regenverläufe für ausgewählte Dauer-Klassierungen gewonnen. Diese Regenverläufe werden hierzu übereinandergelegt, wobei entweder der Schwerpunkt der Histogramme, oder vereinfachend die Regenspitze übereinandergelegt werden.

Es versteht sich von selbst, dass dabei der individuelle Charakter des Einzelregens verloren geht. Im Besonderen werden Regen mit mehrfachen Spitzen ausgemittelt und unterdrückt. Modellregen haben demzufolge praktisch immer nur eine einzige Spitze – Naturregen dagegen weisen oft mehrere Regenspitzen auf, was sich erfahrungsgemäss für die Belastung im Netz durch die Überlagerungen wesentlich kritischer auswirken kann.

Bekannte typische Vertreter der Modellregen-Gruppen sind die Regenannahmen der Städte Zürich und St.Gallen, für die dortigen GKP- und GEP-Bearbeitungen erarbeitet durch Otter und Königer von der Firma Dorsch in München.

Im Vergleich zu den Einzel-Modellregen resultieren mit diesen Modellregengruppen geringere Überschätzungen der effektiven Systembelastung. Die Berücksichtigung der Volumen-Empfindlichkeit grosser Netze ist ebenfalls besser abgedeckt als beim Einzel-Modellregen. Die Stadt-Zürcher Modellregengruppe der seinerzeitigen Berechnungen weist allerdings aus historischen Gründen zu geringe Intensitäten auf; diese Regen sind daher für Berechnungen an andern Orten nicht empfehlenswert. Zwischenzeitlich ist auf aktuelleren Regendaten eine Neubearbeitung erfolgt.

## 20.4.4 Naturregen

Die Verwendung historischer Regenverlaufsdaten ist die mit Abstand beste Belastungsgrundlage für die Untersuchung von Kanalnetzen – das grosse Problem war jedoch lange Zeit die beschränkte Verfügbarkeit solcher Daten. Ein wichtiges Handicap ist ferner das Fehlen einer klar definierten Methodik für deren Selektion und Anwendung.

Nunmehr hat der Kanton Aargau grosse Anstrengungen unternommen, Regendaten für das ganze Kantonsgebiet verfügbar zu machen, sodass solchen Anwendungen heute wesentlich weniger Hindernisse im Weg stehen.

Die Bearbeitung mit Naturregen zwingt den Ingenieur dazu, sich mit dem Charakter der effektiven Regenverläufe und mit deren Auswirkungen auseinanderzusetzen. Dies bedeutet meist auch eine Konfrontation mit der wesentlichen und ansonsten vernachlässigten Tatsache, dass das «Angebot» an ausserordentlichen Starkregen meistens sehr klein ist, womit auch die Aussagekraft der statistischen Auswertungen relativiert wird – diese werden sonst einfach unbesehen in der Form der Intensitätskurven als «gegeben» übernommen und nicht hinterfragt.

Das Vorgehen bei der Verwendung von Naturregen in Verbindung mit Simulationsprogrammen ist so, dass anstelle einzelner Modellregen eine Reihe von ausgewählten Naturregen durchgerechnet und nachfolgend die berechneten Ergebnisse einer statistischen Auswertung unterzogen und auf dieser Grundlage interpretiert werden.

Dies entspricht damit der ursprünglichen effektiven Zielsetzung der Arbeit des Ingenieurs – die bisher verwendete Stellvertreter-Funktion der Regen-Jährlichkeit als Ersatz für die fehlende Jährlichkeitsbeurteilung der Auswirkungen kann damit endlich ersetzt und auf die Seite gelegt werden.

Wie zuvor erwähnt, ist das Vorgehen für die GEP-Bearbeitung mit Naturregen noch nicht über klare Richtlinien definiert – der entsprechende Bearbeitungsweg muss also vorderhand noch individuell gesucht werden.

### Historische Naturregen



### Jährlichkeits-Beurteilung





Diese grobe Gegenüberstellung der beiden Haupttypen dokumentiert ansatzweise, weshalb Einzel-Modellregen in vielen Fällen eine überhöhte Belastung simulieren, da sie unkorrekterweise die beiden unterschiedlichen Regentypen in einem einzigen Regenverlauf kombinieren.

Demgegenüber vermögen Einzelmodellregen mit einer einzigen Spitze die relativ häufig vorkommenden Regen mit mehreren Intensitätsspitzen sowie deren komplexe Belastung für ein Entwässerungssystem nicht wiederzugeben – siehe Regenverlaufs-Beispiele im Anhang.

Ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt ist die Tatsache, dass die üblichen Intensitätskurven von Hörler+Rhein sowie auch SN-640'350 neu nur Regendauern bis 60 Minuten umfassen – somit fehlen die langen Landregen in diesem Spektrum, was bei grossen und insbesondere bei regionalen Kanalnetzen ins Gewicht fallen kann.

Für Verbands-GEP sind deshalb in der Regel nicht die in den Gemeinde-GEP verwendeten Dimensionierungs- und Nachweisregen zu verwenden, weil diese für die langen Anlauf- und Fliesszeiten meistens zu kurz sind und damit ein falsches Belastungsbild vermitteln.

### 20.4.5 Lokale / Regionale Regenverteilung

Ein räumlich ausreichend dichtes Messnetz vorausgesetzt – wie zum Beispiel im Kanton Aargau in der Region um den Hallwylsee – können mit dafür geeigneten Simulationsprogrammen zusätzlich die Auswirkungen der lokalen oder regionalen Regen-Unterschiede berücksichtigt werden. Hierzu müssen die Regendaten von ausreichender Qualität und insbesondere sauber zeitlich synchronisiert sein.

**Lokale und regionale Regen-Unterschiede**

Pilot-Applikationen dieser Art bestehen leider in der Schweiz erst sehr wenige, und die Auswirkungen einer verteilten gegenüber der üblichen uniformen Regenannahme sind hierzulande noch nicht systematisch untersucht worden. Diese Zusammenhänge können jedoch speziell bei grossräumigen Verbands-GEP erhebliche Auswirkungen haben.

### 20.4.6 Regendaten für das Kantonsgebiet des Aargau

Bedingt durch die Ausdehnung und Topographie des Kantons Aargau sind für die Regensituation grundsätzlich verschiedene Messstationen wichtig, von Rheinfeldern bis ins Limmattal sowie von der Region Olten bis zur Aaremündung in den Rhein – um das Gebiet einmal in Form eines «X» zu charakterisieren.

**Regendaten Kanton Aargau**

Die Gebiete im Tal des Rheins weisen gegenüber der Jurafuss-Region geringere Regenmengen auf, und die nördliche Jura-Abdachung mit dem Fricktal hat ebenfalls ein eigenes Niederschlagsregime.

Bezüglich Extremregen mit Auswirkungen auf Maximalabflüsse weist das Gebiet des Jurafusses etwa ähnliche Verhältnisse auf wie das übrige Mittelland; hier sind somit die Regenintensitätskurven SNV-N alt oder die Kurven «Mittelland» nach SN 640'350 neu zuverlässig, ebenso die bisherigen Aargauer Regenintensitätskurven entsprechend dem Kapitel 2.4 im vorliegenden Ordner «Siedlungsentwässerung».

Die Region Basel weist bei geringeren Regenmengen deutlich höhere Spitzenintensitäten auf als das übrige Gebiet; in den höheren Jura-Regionen sind die Spitzenintensitäten tendenziell geringer als am Südfuss des Juras.

Die vorhandenen Unterschiede zwischen den einzelnen bestehenden Intensitätskurven sind weitgehend methodisch sowie durch die verfügbaren Daten bedingt; eine detaillierte Gegenüberstellung und wissenschaftliche Begründung fehlt bisher.

Die Auswertungen der ANETZ-Station Buchs-Suhr für die neue SN 640'350 ergeben für den Jährlichkeitsbereich 1 bis 10 Jahre Intensitäten innerhalb weniger Prozente entsprechend der gemittelten Kurve «Mittelland».

Für die ANETZ-Station Wynau bei Olten sind die Verhältnisse bezüglich Regenintensitäten praktisch identisch zu Buchs-Suhr.

Für **Berechnungen mit Simulationsprogrammen** anhand von Naturregen sowie mit Regen-Serien für Kontinuum-(Langzeit-) Betrachtungen im Aargauer Kantonsgebiet weisen nach gegenwärtiger Einschätzung die Daten der SMN-Stationen Buchs-Suhr (SMN01 BUS) sowie vom KKW Leibstadt (SMN04 LEI) die längsten Messdauern auf.

**Berechnungen mit Simulationsprogrammen**

Zwischenzeitlich weisen jedoch auch die folgenden kantonalen Stationen Messdauern von  $\geq 10$  Jahren auf (Messdaten seit mind. 2008), welche zudem im 1-Minutenintervall gemessen werden:

- METEO\_0001 ARA Hallwilersee (alte Bezeichnung: AG01)
- METEO\_0002 RB Fahrwangen (alte Bezeichnung: AG02)
- METEO\_0003 RB Birrwil (alte Bezeichnung: AG03)
- METEO\_0004 ARA Oberwynental (alte Bezeichnung: AG04)
- METEO\_0005 ARA Aarburg (alte Bezeichnung: AG05)
- METEO\_0006 ARA Wohlen (alte Bezeichnung: AG06)
- METEO\_0007 ARA Brugg – Birrfeld (alte Bezeichnung: AG07)
- METEO\_0008 RB Lupfig (alte Bezeichnung: AG08)
- METEO\_0009 ARA Kaisten (alte Bezeichnung: AG09)
- METEO\_0010 ARA Baden - Wettingen (alte Bezeichnung: AG10)
- METEO\_0011 RB Frick (alte Bezeichnung: AG11)

Weitere Datensätze, aber mit deutlich kürzeren Datensätzen liegen vor von:

- METEO\_0012 ARA Sins
- METEO\_0013 RB Sulz
- METEO\_0014 Zofingen
- METEO\_0015 ARA Wildegg.

Zudem existieren Messdaten von verschiedenen MeteoSchweiz-Stationen als 10-Minuten-Summen. Sämtliche Messstationen sind in Kapitel 20.7.6 dargestellt.

Die Beispieldaten im Anhang, Kapitel 20.7, zeigen neben den Verläufen der ausgewählten massgebenden stärksten Regen der Periode 1985 bis 2007 für die Station Buchs-Suhr für kurze Gewitter sowie für lange Landregen deren grobe Einordnung in die Referenz-Intensitätskurven – hier für die alten Hörler+Rhein-Kurven für SNV-N.

Die «Ereignis-Definition» für die dargestellten Regen basiert auf einer Regenspauze von 30 Minuten ohne Niederschlag. Diese Definition ist an sich von der Fließ- beziehungsweise Entleerungszeit eines Kanalsystems abhängig und nicht a priori festgelegt.

Die beiden unterschiedlichen Darstellungsmassstäbe linear und doppelt-logarithmisch zeigen verschiedene Regen-Eigenheiten auf:

- Entsprechend dem Regentyp verlaufen im log-log-Massstab die theoretischen Häufigkeits-Charakteristika flacher oder steiler als die statistisch ermittelten Intensitätskurven;
- die Kurven der einzelnen Regen sind zudem in der Regel stärker gekrümmt – dies erklärt zu einem Teil, weshalb Einzelmodellregen extremere Abflüsse erzeugen als Naturregen;
- Regen im Jährlichkeitsbereich 5 bis 10 Jahre sind für die in kommunalen GEP massgebenden Dauerstufenbereich bemerkenswert abwesend – der aussergewöhnliche Regen vom 20. Juni 1986 liegt weit oberhalb üblicher Bemessungs- und Nachweis-Belastungen;
- an dieser Situation zeigt sich im übrigen eine generelle Feststellung: der Anwender von Intensitätskurven gibt sich meistens kaum Rechenschaft darüber, auf welcher dünner Datenbasis die statistische Auswertung im Einzelfall zustande kommt; dementsprechend schwach ist auch das Fundament, auf welchem Modellregen entwickelt werden!

Für Simulationsrechnungen zur Verifikation der Systemmodelle anhand von Messdaten im Kanalnetz oder in Gewässern ist in jedem Fall auf lokale Regendaten einer möglichst nahe gelegenen Station abzustellen.

**Regendaten für Verifikationsrechnungen**

Die Regendaten verschiedener Jahre können wesentliche Unterschiede aufweisen. Vergleiche mit benachbarten Stationen, mit gegebenenfalls längeren Datenreihen sind aus diesem Grund sinnvoll zur Absicherung, dass für die Simulationen ein repräsentatives Zeitfenster verwendet wurde.

### 20.4.7 Übersicht über die Regendaten-Grundlagen in der Schweiz

*Der Vollständigkeit halber ist nachfolgend eine Aufzählung der verschiedenen in der Schweiz verfügbaren alten und neuen Regendaten wiedergegeben. Der historische Hintergrund und die Herkunft der Daten ist oft wesentlich für das Verständnis, zum Beispiel bei der Beurteilung alter Berechnungsgrundlagen.*

*Für den Bereich der Siedlungsentwässerung sind die nachfolgenden Datenquellen massgebend.*

- Die Basisdaten von Hörler «Rhein» über deren Auswertung der Starkregen in der Schweiz an der EAWAG, publiziert in verschiedenen Publikationen mit unterschiedlichem Detailgrad (u.a. Schweizerische Bauzeitung, 79. Jhrg., Heft 32, 10. August 1961);
- die alte Norm VSS\_SNV 640'350 mit der Umsetzung dieser Daten in Regionen;
- diverse lokale Umsetzungen von Regenaufzeichnungen basierend auf der Methodik von Hörler + Rhein, wie zum Beispiel diejenigen für den Kanton Aargau gemäss Kapitel 20.4.1;
- die neue Auswertung ETHZ-IHW von Naef + Horat im Auftrag des VSS, mit den Basisdaten von deren Untersuchungen für rund 70 ANETZ-Stationen der Schweiz;
- deren Umsetzung in der neuen Norm VSS-SN 640'350, wiederum mit fix definierten Niederschlags-Regionen, jedoch mit fließenden Übergängen dazwischen.

*Daneben bestehen noch weitere Grundlagen, welche vor allem für Anwendungen in der generellen Hydrologie, d.h. für grössere Gewässer und natürliche Einzugsgebiete, anzuwenden sind:*

- Der Hydrologische Atlas der Schweiz HADES, mit grafischen Auswertungen von Regenmengen über längere Zeitfenster (Stunden, Tage ....);
- die sogenannten «Blauen Ordner» der EAFV-WSL-Starkregen-Auswertung, mit Schwergewicht auf dem Alpen- und Voralpengebiet, sowie mit Ergänzungen für die übrigen Gebiete.

Bei diesen beiden Datenquellen ist Vorsicht geboten bei der Nutzung von Daten für Regendauerabschnitte unter einem Tag, da deren Umsetzung nicht über alle Zweifel erhaben erscheint.

## 20.5 Verwendung von lokalen Regendaten

### 20.5.1 Ausgewählte Starkregendaten

Für GEP-Bearbeitungen und sinngemässe Einzeluntersuchungen sind historische Starkregendaten lokaler Messstationen eine wichtige Berechnungsgrundlage. Gleiches gilt für die Verifikation von Berechnungen anhand von Messdaten in Entwässerungssystemen.

Daten historischer Starkregen

Für die Selektion der massgebenden Starkregen bestehen für viele ANETZ-Stationen der **MeteoSchweiz** in den Siedlungsgebieten der Schweiz bereits grafische Auswertungen. Ebenfalls verfügbar sind ergänzende Informationen dazu, soweit relevant.

Die Auswahl der massgebenden Regen ist abhängig vom Zusammenhang der Aufgabenstellung für deren Nutzung: Für die Ermittlung von Extremabflüssen sind ggf. andere Regen massgebend als für die Überprüfung oder Dimensionierung von Retentionsanlagen.

In Verbindung mit Langzeit- und Kontinuum-Simulationen mit Programmen wie MikeUrban, SWIMM, REBEKA, SASUM, KOSIM und MOUSE-SAMBA für die Untersuchung und Optimierung von Entwässerungs- und Entlastungskonzepten werden nach dem heutigen Stand der Technik historische Regenserien mit mindestens 10 bis 25 Datenjahren eingesetzt.

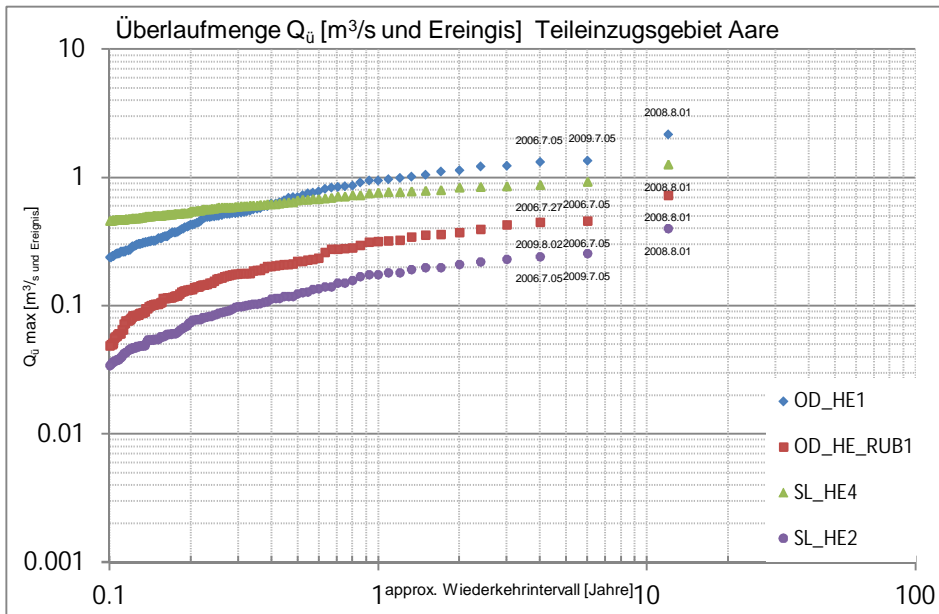
Historische Regenserien

Anhand der Simulation mit solchen Regenreihen werden nachfolgend aus den Ergebnisdaten Jahresmittelwerte sowie sortierte Extremereignis-Werte für Überlauf und Ablauf erarbeitet, welche interpretiert und dokumentiert werden.

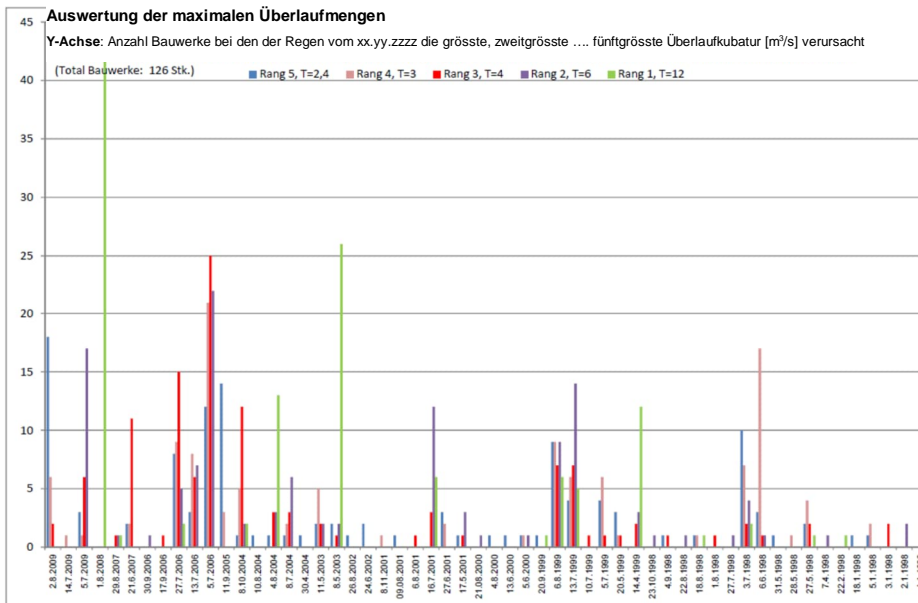
Es werden nun Regenereignisse ausgewählt, welche bei den Entlastungsbauwerken ein ungefähr 5- (10-) jähriges Abflussereignis bezüglich  $Q_{\max}$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] auslösen.

Für die Wahl der massgebenden Starkregen und die Jährlichkeitsbeurteilung kann auch die Unterstützung von Michael Fuchs, Monitron AG genutzt werden. Wichtig ist dabei die Erkenntnis, dass sich diese Werte aufgrund der noch relativ kurzen Auswerteperiode bei den kantonalen Messstationen über wenige Jahre und je nach Auflösung der Datengrundlage stark verändern kann. Die Verwendung von aktuellen Daten und deren Einordnung sind unabdingbar. Die Aufwendungen im Zusammenhang mit GEP-Bearbeitungen werden durch die AfU / AS übernommen.

Die nachstehenden Abbildungen zeigen am Beispiel eines VGEP das oben beschriebene Vorgehen in 2 möglichen Varianten auf. Die Auswertungen zeigen, dass die Regen vom 05.07.2006, 27.07.2006, 05.07.2009 und 02.08.2009 bei sehr vielen Bauwerken ungefähr 5- jährige Abflussereignisse bezüglich  $Q_{\max}$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] auslösen.



Variante 1: Auswertung der Resultate der Langzeitsimulation (SAMBA) bezüglich  $Q_{\dot{u}}$  [m<sup>3</sup>/s und Ereignis] im Teileinzugsgebiet «Aare»



Variante 2: Auswertung der Resultate der Langzeitsimulation (SAMBA) bezüglich  $Q_{\dot{u}}$  [m<sup>3</sup>/s und Ereignis] Betrachtung des gesamten VGEP – Einzugsgebietes

### 20.5.2 Regenserien

Historische Regenserien für diese Programme sind in den entsprechenden Eingabeformaten aufzubereiten.

**Hinweis:** Die Daten der MeteoSchweiz dürfen nur für den angegebenen und bewilligten Zweck verwendet werden. Diese Daten dürfen ausschliesslich im Rahmen und für die Dauer des Auftrags verwendet und die Daten nicht an jemand anderen gegeben werden. Allfällige Rohdaten müssen noch individuell kontrolliert und aufbereitet werden.

Für die lokalen **Regenmessstationen der Kantone Aargau und Luzern** sind die Daten digital auf Anfrage erhältlich. Die Daten der vorangegangenen Jahre sind geprüft, Daten des aktuellen Jahres sind Rohdaten. Die Daten sind als CSV- oder TXT-File verfügbar; sie stehen nur für Anwendungen im Auftrag von Gemeinden oder von Abwasserverbänden zur Verfügung.

**Regenmessstation der Kantone Aargau und Luzern**

### 20.5.3 Bezugsquellen

#### **Regendaten ANETZ ganze Schweiz:**

MeteoSchweiz – Kundendienst: [www.meteoschweiz.ch](http://www.meteoschweiz.ch)  
MONITRON AG, Schachenallee 29A, 5000 Aarau  
Tel.: 062 834 44 64, Fax: 062 834 44 65  
E-Mail: [aarau@monitron.ch](mailto:aarau@monitron.ch)

**Regendaten ANETZ ganze Schweiz**

#### **Regendaten Kantone Aargau und Luzern:**

MONITRON AG, Schachenallee 29A, 5000 Aarau  
Tel.: 062 834 44 64, Fax: 062 834 44 65  
E-Mail: [aarau@monitron.ch](mailto:aarau@monitron.ch)

**Regendaten Kantone Aargau und Luzern**

Es können digital Messdaten (Regenintensitäten) der Regenmessungen des Kantons Luzern (Messnetz Region Luzern 1991 - 1999 und neue Regenmessungen ab 2000 in Regensummen) sowie des Kantons Aargau (Regenmessung ab 2000) bezogen werden. Sie werden jährlich nachgeführt mit den Messdaten bis Ende des Vorjahres. Solche können jeweils ab Ende März bezogen werden. Die Regendaten werden im Format Text-Format (.txt) abgegeben.

Im Rahmen der GEP-Bearbeitung kann die Unterstützung von Michael Fuchs, MONITRON AG, für die Regenaufbereitung (verschiedene Formate möglich), die Wahl der massgebenden Regenmessstation sowie die Ermittlung der massgebenden Starkregen, kostenlos genutzt werden.



## 20.6 Ergebnisdarstellung aus Simulationsprogrammen

*Die Berechnungsergebnisse von hydrodynamischen Berechnungsprogrammen weichen erheblich ab von den üblichen Datenlisten aus einfachen Listenrechnungen. Damit ist die Interpretation für den ungeübten Anwender oft erschwert, sofern nicht eine Aufbereitung der Resultate in Anlehnung an die konventionelle Darstellung erfolgt.*

*Der nachfolgende Text erklärt die Abweichungen und liefert Anregungen für eine sinnvolle Ergebnis-Aufbereitung.*

### 20.6.1 Problemstellung und Hintergrund

Simulationsprogramme sind im Gegensatz zu einer konventionellen Listenberechnung nicht an eine in Baumstruktur definierte Kanalnetz-Logik in Fließrichtung gebunden und organisieren sich die Systemdaten üblicherweise selber, weil der Lösungsalgorithmus auf mathematischen und nicht auf fließlogischen Zusammenhängen beruht.

**Fehlende Fließlogik**

Teilweise resultiert die Sequenz der Daten im Berechnungsprogramm auch aus dem Transfer vom Kataster des Kanalnetzes zum Input im Programm – die entsprechende Daten-Folge muss jedoch ebenfalls nicht zwingend auf der Netztopologie beruhen, sondern entspricht dann der Sortierlogik in der Kataster-Datenbank.

Die Ergebnisse einer Simulations-Berechnung sind aus diesen Gründen oft nicht in logischer Reihenfolge präsentiert und müssen deshalb in einer für die Nutzung sinnvollen Logik und Systematik aufbereitet werden.

Zusätzliche Komplikationen können dadurch entstehen, dass in komplexen vermaschten Kanalnetzen die Abflussverhältnisse nicht einer einfachen Baumstruktur folgen: Es können Abflusstrennungen bestehen, an welchen die Abflussaufteilungen nicht a priori definiert ist, sondern nach der Systembelastung variabel erfolgt. Die hydrodynamische Simulation kann mit diesen Verhältnissen umgehen, im Gegensatz zur Handrechnung. Bei solchen Verhältnissen kann eine simple Netzlogik nur mit erheblichen Schwierigkeiten definiert werden.

**Abflusstrennungen im Netz**

Ein bekanntes Problem ist allerdings, dass die Anwender von HD-Simulationen in der Vergangenheit die Ergebnisse der Berechnung ohne jegliche Aufbereitung oder nur mit minimaler Anpassung an die Nutzer-Bedürfnisse abgeliefert haben, was beim Anwender und bei der Genehmigungsbehörde zwangsläufig zu Unverständnis und Diskussionen führt.

### 20.6.2 Ergebnisse der hydrodynamischen Simulation

Im Gegensatz zur einfachen Listenrechnung liefert eine HD-Simulation einerseits eine Fülle ergänzender Informationen, welche in manchen Fällen für den Nutzer gewöhnungsbedürftig ist, während andererseits bestimmte «übliche» Werte und Daten fehlen.

#### Zusätzlich verfügbare Daten

- Maximale Wasserspiegelhöhen;
- Zeitpunkte für  $H_{\max}$ ,  $Q_{\max}$  – bei grösseren Systemen oft unterschiedlich;
- Ganglinien der Wasserspiegel und Abflüsse;
- Kanal-Längsschnitte, evtl. mit Wasserspiegeln;
- Themenpläne mit Belastung  $Q_{\max}/Q_{\text{voll}}$ , Rückstau, Überstau usw.

#### «Fehlende» Daten und Informationen

- Massgebende Fliesszeit und Intensität;
- fortlaufende Summierungen  $F$ ,  $F_{\text{red}}$ , Einwohner,  $Q_{\text{TW}}$ .

Die «fehlenden» Daten sind Nebenprodukte der traditionellen Listenrechnung und werden in dieser Form von der HD-Simulation nicht benötigt; sie werden daher auch nicht standardmässig produziert. Sofern sie zwingend benötigt werden, können sie aus den vorhandenen Daten angenähert generiert werden (MikeUrban: vgl. [http://wiki.mikepoweredbydhi.com/mikeurban:themeneuebersicht\\_siedlungsentwaesserung](http://wiki.mikepoweredbydhi.com/mikeurban:themeneuebersicht_siedlungsentwaesserung) wobei allerdings nach dem effektiven Nutzen zu fragen ist.

Die «**Fliesszeit**» ist ein Gummibegriff und ist in dieser Form eigentlich nicht definiert. Eine Ermittlung aufgrund der maximalen Fliessgeschwindigkeiten sowie der Haltungungslängen ist grundsätzlich möglich, entspricht aber nicht der realen System-Funktion und liefert ein falsches Bild.

Gegebenenfalls sind für die Berechnung von Fliesszeiten nominelle Simulationen mit Blockregen definierter Intensität vorzunehmen, beispielsweise für Fliesszeit-Ermittlungen für den Zustandsbericht Gefahrenbereiche. Hier sind jedoch nicht Extremregen-Intensitäten zugrunde zu legen, sondern definierte Abflusszustände für die gefragte Aufgabenstellung.

### 20.6.3 Möglichkeiten zur Verbesserung der Ergebnisdarstellung

Verbesserungsmöglichkeiten für die Verwendbarkeit der Ergebnisdaten sind auf verschiedenen Ebenen möglich, wobei in jedem Fall nach dem effektiven Bedarf und der Zweckmässigkeit zu fragen ist.

Für das Systemverständnis vorab in grossen Netzen ist eine sinnvolle Bezeichnungslogik ausserordentlich wichtig. Diese kann sich an verschiedenen Zielsetzungen orientieren, wobei alle Systeme Vorteile und Nachteile aufweisen.

#### Zusätzlich verfügbare Daten

#### «Fehlende» Daten und Informationen

#### Ermittlung Fliesszeit

#### Verbesserungsmöglichkeiten

#### Bezeichnungslogik

Zu vermeiden sind erfahrungsgemäss überlange Bezeichner mit mehr als 5 bis 8 Stellen, weil damit die praktische Handhabung massiv erschwert wird und die Fehlerempfindlichkeit bei der Kommunikation und beim Abschreiben steigt.

Sofern vorangestellte Gemeinde-Nummern oder -Kürzel verwendet werden, sollten diese im Interesse der Lesbarkeit und Übersicht in den Ergebnislisten abgetrennt und pauschal über der Tabelle vermerkt oder ggf. in einer separaten Spalte geführt werden.

**Gemeinde-Bezeichner in Verbands-GEP**

Dasselbe gilt für Bezeichnungen von Quartieren, Berechnungsgebieten und dergleichen.

**Sortierung der Daten:** Eine alpha-numerische Sortierung der Ergebnisdaten nach Schacht- oder Kanalbezeichnern ist eine wesentliche Hilfe für das Auffinden von Ergebniswerten zu bestimmten Leitungen in Datenlisten.

**Sortierung der Daten**

Die umgekehrte Suchlogik von Tabelle zu Plan spielt allerdings meistens nicht mit der gleichen Einfachheit, und alphanumerisch sortierte Daten sind i.d.R. nicht in der Fließlogik organisiert, ausser wenn die Bezeichnungslogik auf dieser abstellt und rigoros durchgezogen ist.

- Gegebenenfalls ist somit eine doppelte Resultat-Tabelle sinnvoll: einmal alphanumerisch sortiert, und einmal in Fließlogik aufgestellt.

Bei grösseren Systemen ist die **Fließlogik** die normalere Darstellung, ergänzt durch eine alphanumerisch sortierte Referenzliste mit Angabe der Seitennummer, auf welcher ein bestimmtes Element zu finden ist.

**Fließlogik**

**Fließlogik:** Die Erstellung einer solchen ist Voraussetzung für die fortlaufende Summierung von Flächen, Einwohnern und  $Q_{TW}$ , sofern eine solche verlangt, beziehungsweise effektiv notwendig ist.

Häufig ist der Aufbau einer Fließlogik am einfachsten von den Auslaufpunkten her in Gegenfließrichtung vorzunehmen, mit anschliessender fortlaufender Nummerierung und Invertierung der resultierenden Tabelle. Kanalverzweigungen müssen in einer Zwischentabelle abgelegt und nachfolgend sukzessive abgearbeitet werden.

Das Gleiche gilt für allfällige Trennschächte in Fließrichtung, welche für die Bearbeitung von unten her Endpunkte darstellen – sonst werden bei der Abarbeitung weiterer Stränge bestimmte Systemteile mehrfach erfasst.

Die Zuordnung der Systemdaten zur so erstellten Netzlogik kann über Datenbank-Funktionen oder in Tabellenprogrammen über Verweis-Funktionen erfolgen.

Vorsicht ist geboten bei der Zuordnung der Einzugsgebietsdaten, da dort sowohl keine als auch mehrere Teilflächen dem gleichen Strang oder Schacht zugeordnet sein können.

Für die fortlaufende Summierung von Flächen, Einwohnern und  $Q_{TW}$  ist Handarbeit gefragt, damit an Verzweigungen alle Komponenten berücksichtigt werden; entsprechende Kontroll-Summen sind deshalb wichtig. Die Summenformeln in Tabellenprogrammen können jedoch für alle betroffenen Komponenten (Flächen, Einwohner und  $Q_{TW}$ ) kopiert werden, sobald einmal eine sinnvolle Aufstellung erfolgt ist.

**Fortlaufende Summierungen**

Behandlung von Trennschächten: Üblicherweise folgt die Ableitung von  $Q_{TW}$  und den Einwohner-Summen nach den tiefsten Sohlenkoten. Bei Gleichheit oder Unterschieden nur im Centimeterbereich sind fallweise weitere Abklärungen zur Aufteilung nötig.

Das Gleiche gilt für die Flächen: Hier ist auf die Ergebnisse der Simulation abzustellen – sinnvollerweise erfolgt die Aufteilung nach den Wassermengen. Bei komplizierten Verhältnissen sind meistens Vereinfachungen angebracht; wichtig sind die Auswirkungen kanalabwärts, sowie an betroffenen nachfolgenden Sonderbauwerken.

**Einbezug von Strassen- und Quartiernamen:** Kataster-Datenbanken führen oft solche Informationen. Anhand von Datenbank- und Verweis-Funktionen können diese Informationen nachträglich in die aufbereiteten Ergebnislisten eingeführt werden, auch wenn diese in der Kanalnetzberechnung nicht genutzt werden.

**Einbezug von Strassen- und Quartiernamen**

Solche Informationen verbessern die Lesbarkeit der Ergebnis-Dokumentation wesentlich, und sie helfen ebenfalls beim Auffinden von Daten aus der Tabelle in den Plänen. Dies ist besonders wichtig bei der Identifikation von überlasteten Kanälen aus den Angaben in den Tabellen.

Generell sollten die Ergebnisdaten grosser Kanalnetze in logischen Kanalzonen oder sinngemässen Aufteilungen des Systems organisiert sein; andernfalls ist die Übersicht erschwert. Orientierungs-Schemas helfen bei der Interpretation und Suche bestimmter Elemente. Dies ist besonders wichtig bei Verbands-GEP mit verschiedenen Gemeinden, sowie bei grösseren Gemeinde-GEP.

**Unterteilung in Kanalzonen**

Der GEP-Ingenieur muss für sein Angebot wissen, welcher Dokumentations-Standard für seine Bearbeitung gefordert wird, damit er den benötigten Zusatzaufwand berücksichtigen kann. GEP-Pflichtenhefte sollten deshalb den geforderten Ergebnis-Standard definieren. Dies gilt im Übrigen auch für die zuvor erwähnten Themenpläne zu Belastung und Rückstau.

**Spezifikation im GEP-Pflichtenheft**

Eine Muster-Auflistung der Dokumentation ist auf der nächsten Seite aufgeführt – diese erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, und es sind auch nicht für alle Bearbeitungen sämtliche Bestandteile erforderlich. Umfang und Detailgrad sind in jedem Fall mit dem Auftraggeber sowie mit der Genehmigungsbehörde abzusprechen und im Pflichtenheft zu definieren.

### 20.6.4 Auflistung der wichtigsten Bestandteile einer Ergebnis-Dokumentation auf der Grundlage von Simulationsrechnungen

#### Detailhydraulik:

- Liste / Plan Systemdaten (Muster siehe Seite 20.7 - 10, Einzugsgebietsdaten gemäss Plan und Netzdaten in Kombination mit den hydraulischen Ergebnissen);
- Liste hydraulische Ergebnisse (siehe Seite 20.7 - 13);
- Längenprofile überlasteter Kanalstränge mit Wasserspiegel-Maximum, zusammenhängend; soweit relevant mit Angaben kritischer Kellerkoten;
- Themenpläne für verschiedene Lastfälle:
  - Belastungsgrad  $Q_{\max} / Q_{\text{voll}}$ ;
  - eventuell Fliesstiefen;
  - Überstauplan, Rückstau unter Terrain / Freibord bezogen auf Deckelhöhen;
- CD-ROM mit sämtlichen System- und Ergebnisfiles; mit Inhaltsverzeichnis der bearbeiteten Lastfälle; Systemdaten zusätzlich in transparentem und kommentiertem ASCII-Text-Format, falls nur binär. Bei MikeUrban-Simulationen: \*.mex und \*.prf (Resultatfiles für MikeView)

#### Detailhydraulik

#### Konzept-Simulation:

- Liste Systemdaten vereinfachtes Netz mit Hauptdaten ( $Q_{\text{TWA}}$ ,  $Q_{\text{fremd}}$ ,  $F_{\text{befestigt}}$ , Einwohner, Sonderbauwerkdaten, wie Volumina,  $Q_{\text{ab}}$ , Kanalspeicher) für sämtliche Lastfälle und Varianten;
- Übersichts-Schema vereinfachtes Netz, evtl. kombiniert mit Hauptdaten, für sämtliche Lastfälle und wesentlichen Varianten;
- Liste Ergebnisdaten Überlaufkennwerte Volumen, Anzahl, Dauer, spezifische Volumina bezogen auf massgebende  $F_{\text{befestigt}}$ , für sämtliche Lastfälle und wesentlichen Varianten;
- Liste Ergebnisdaten Auslaufpunkte (ARA, evtl. weitere bei Trennsystemen);
- Grafische Darstellungen der Ergebniswerte in geeigneter Form, abhängig vom System-Umfang und von dessen Komplexität, zur Gegenüberstellung der Daten sowie als Hilfe für die Interpretation;
- je nach den Verhältnissen und Anforderungen Relation zu den Gewässer-Einleitbedingungen, gegebenfalls Verdünnungsüberlegungen mit  $Q_{347}$  mit konservativem Stoffwert (vorzugsweise  $\text{NH}_4\text{-N}$ ) unter Berücksichtigung der VSA-Richtlinie Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter;
- Erläuterung und Interpretation als Grundlage für evtl. Anpassungen und Verbesserungen, sowie für Massnahmenplan mit Prioritätenliste.

#### Konzept-Simulation

## 20.7 Anhang

### 20.7.1 Auswahl typischer Fragestellungen zur Wahl der Berechnungsmethoden

*Das zu untersuchende kleine Kanalnetz weist im flachen Hauptstrang entlang des Gewässers im Talboden sohlengleich ausgeführte Kaliberwechsel auf. Das übrige System weist Hanglagen mit überwiegend mittleren bis hohen Gefällen auf. Was ist zu tun?*

Für die Listenrechnung wird üblicherweise auf das Sohlengefälle abgestellt. Im nicht scheidelbündig verlegten Kanal liegt das nutzbare Wasserspiegelgefälle ohne Überstau in der Leitung flacher als das Sohlengefälle – in extremen Fällen ist kein Gefälle mehr vorhanden; die Normalabflusshydraulik versagt hier!

Da bei konventioneller Berechnung mit dem Sohlengefälle die Kanalkapazität überschätzt wird, kann man sich damit behelfen, dass für die Listenrechnung das Wasserspiegel- oder besser noch das Energieliniengefälle eingesetzt wird. Sofern damit zu rechnen ist, dass der Hauptkanal mit den Zuflüssen zurechtkommt, ist eine einfache Listenberechnung zulässig und sinnvoll – andernfalls ist eine Simulation unter Berücksichtigung der Abflusssdynamik und der Ganglinien-Überlagerung in Betracht zu ziehen.

*Im ansonsten einfachen Kanalnetz sind aus historischen Gründen diverse Abflussteiler vorhanden. Diese können nur zu einem kleinen Teil aufgehoben werden, weil das System generell knapp dimensioniert und mit den heutigen und künftigen Nutzungen stark belastet ist.*

Unter solchen Verhältnissen sind dynamische Simulationen sinnvoll, weil nur diese die belastungs- und kapazitätsabhängige Umverteilung des Wassers im vermaschten System sicher und realitätsnah erfassen können.

Die für eine Listenrechnung nötigen Verteilungsannahmen sind in der Regel unsicher und daher nicht zuverlässig. Das Mitführen konstanter Übernahmemengen wird zudem von gewissen Berechnungsprogrammen und auch von deren Anwendern sehr unterschiedlich gehandhabt. Andererseits führt das simple «Auftrennen» solcher Vermaschungen zur Preisgabe wichtiger Systemverbesserungen, und damit oftmals zu unnötigen und damit unwirtschaftlichen Sanierungsmassnahmen.

*Die Listenrechnung weist für ein bestehendes grösseres Kanalnetz sehr viele überlastete Leitungen aus, trotz konventionellen Berechnungsannahmen. Bringt hier eine ergänzende Simulation wesentliche Vorteile?*

Die hydrodynamische Simulation liefert nicht a priori «vorteilhaftere» Systembelastungen und geringere Sanierungsbedürfnisse – sie kann aber aufzeigen, wo die infolge Überlastung auftretenden Einstauverhältnisse ein tragbares Mass nicht übersteigen, und wo zwingend hydraulische Sanierungsmassnahmen nötig sind.

Wenn das Systemmodell einmal definiert ist, können zudem zusätzliche Regen-Belastungsannahmen relativ rasch durchgerechnet und anhand der Gegenüberstellung ein differenziertes Bild des anzustrebenden sowie des finanzierbaren Entwässerungs-Standards gewonnen werden.

Die dynamische Simulation berücksichtigt in flachen und demzufolge grosskalibrigen Netzen das vorhandene Puffervolumen und kann den entsprechenden Nutzen ausweisen.

Vor Illusionen ist jedoch zu warnen! – Erfahrungsgemäss kommen dabei oftmals vorhandene, zuvor ignorierte Mängel der Listenberechnung an den Tag, die den erwähnten «Vorteil» mehr als kompensieren, wenn zum Beispiel nicht scheidelbündige Kaliber-Reduktionen oder unvorteilhafte Rückstau-Randbedingungen festgestellt und ebenfalls berücksichtigt werden müssen.

In Systemen mit mittleren bis «guten» Leitungsfällen über 2 bis 3 Prozent ist der voraussichtliche Nutzen der dynamischen Simulation für die Ausschöpfung der Füllungs- und Leerungsvorgänge im Netz gegenüber einer ansonsten korrekt durchgeführten Listenrechnung gering.

### *Welche Mehrkosten sind infolge einer Simulationsrechnung zu erwarten?*

Diesbezüglich sind verschiedene Faktoren und Gesichtspunkte zu berücksichtigen: Bei den Grunddaten System und Einzugsgebiete sind bei einem vollständigen Kataster nach aktuellen Datenhaltungs-Grundsätzen keine Mehraufwendungen zu erwarten.

Probleme bestehen aber teilweise bei «Primitiv-Katastern», die diese Grundsätze nicht erfüllen: Simulationsprogramme verlangen unbedingt Koten und Koordinaten des Leitungsnetzes – wenn aus der Listenrechnung nur Längen und Gefälle vorhanden sind, reicht dies nicht.

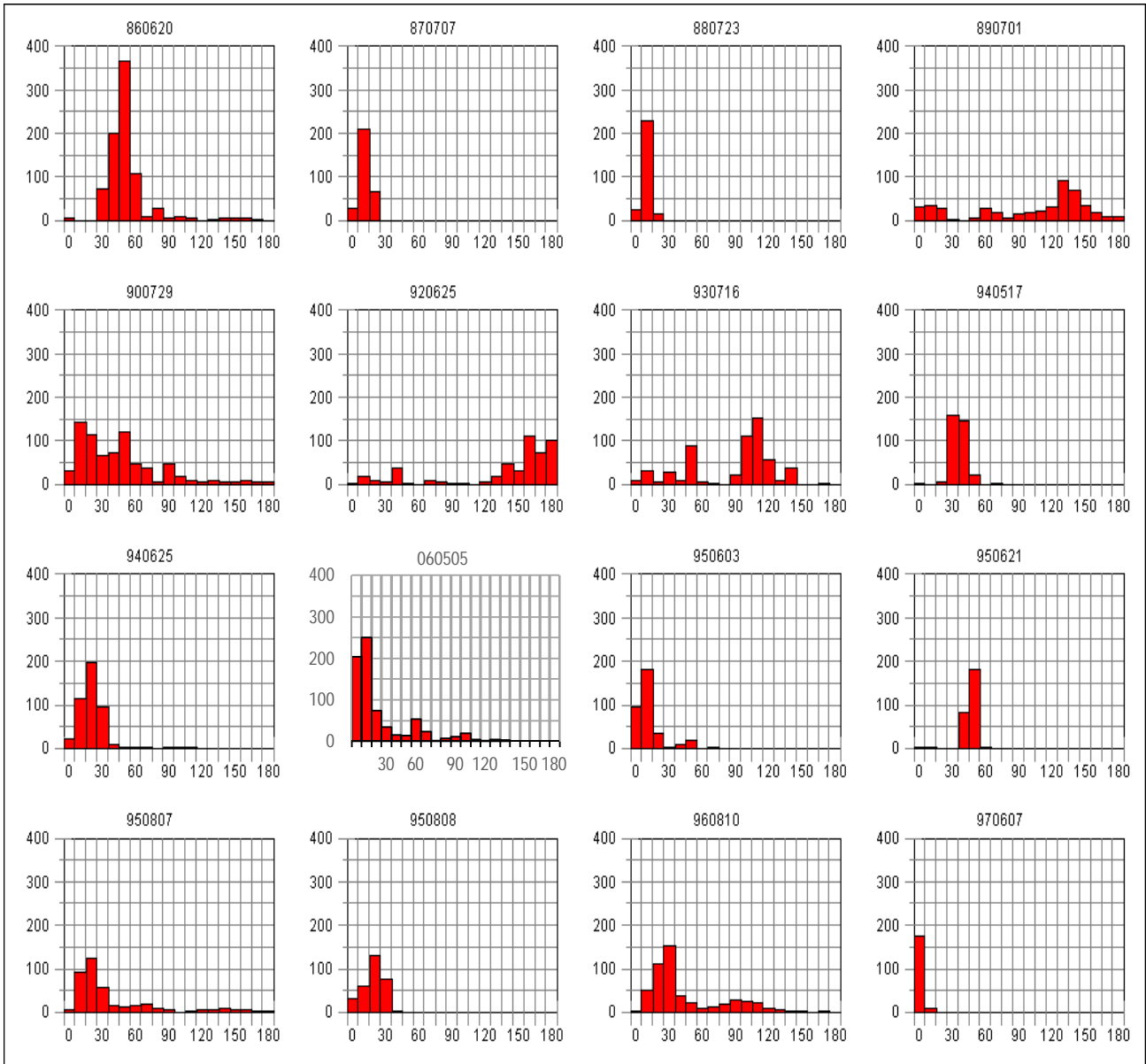
Handhabung des Programms: Für das Einarbeiten in eine neue Technik muss im Normalfall nicht der Auftraggeber geradestehen. Die Anforderungen an die Bearbeiter sind jedoch im allgemeinen höher, und es ist erfahrungsgemäss damit zu rechnen, dass mehr Lastfälle untersucht werden als bei einer einfachen Listenrechnung; dies gilt ebenfalls für die Optimierung von Sanierungsmassnahmen.

Berechnungsannahmen: Hier sind vertiefte Auseinandersetzungen nötig, sowie gegebenenfalls die ergänzende Dokumentation und Erläuterung der Basisdaten gegenüber Auftraggeber und Aufsichtsbehörde.

Dokumentation: Die Darstellung der Ergebnisse wird durch die erweiterten Möglichkeiten der Simulation in der Regel umfangreicher – diesen grösseren Informationsgehalt darf man sich mit gutem Gewissen vom Auftraggeber bezahlen lassen, da dieser auch einen echten Nutzen davon hat.

### 20.7.2 Starkregen – Serie Buchs – Suhr 1985 – 2007 (Frontalgewitter)

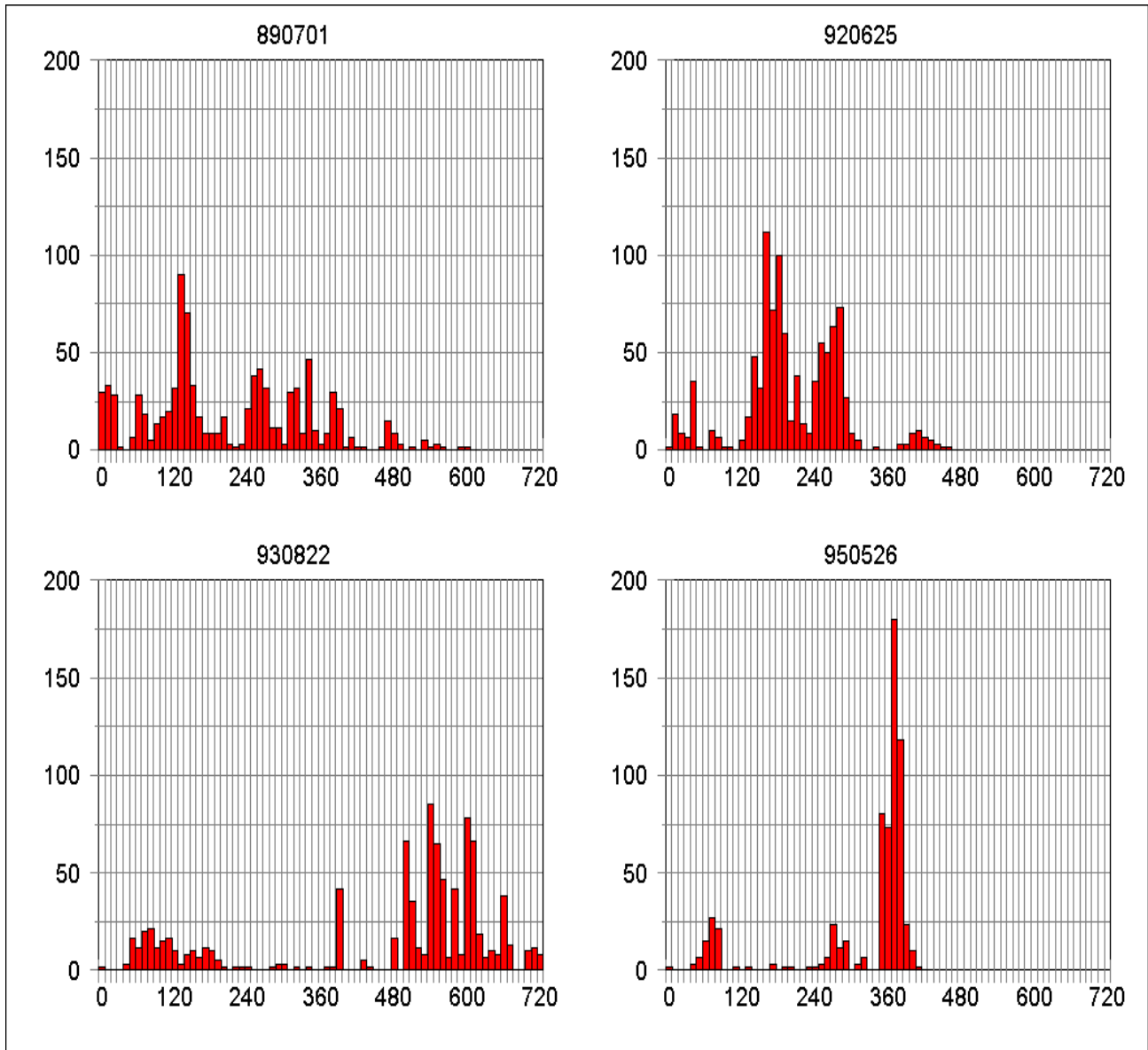
Regenverlauf ausgewählte Starkregen  
Regen kurzer Dauer





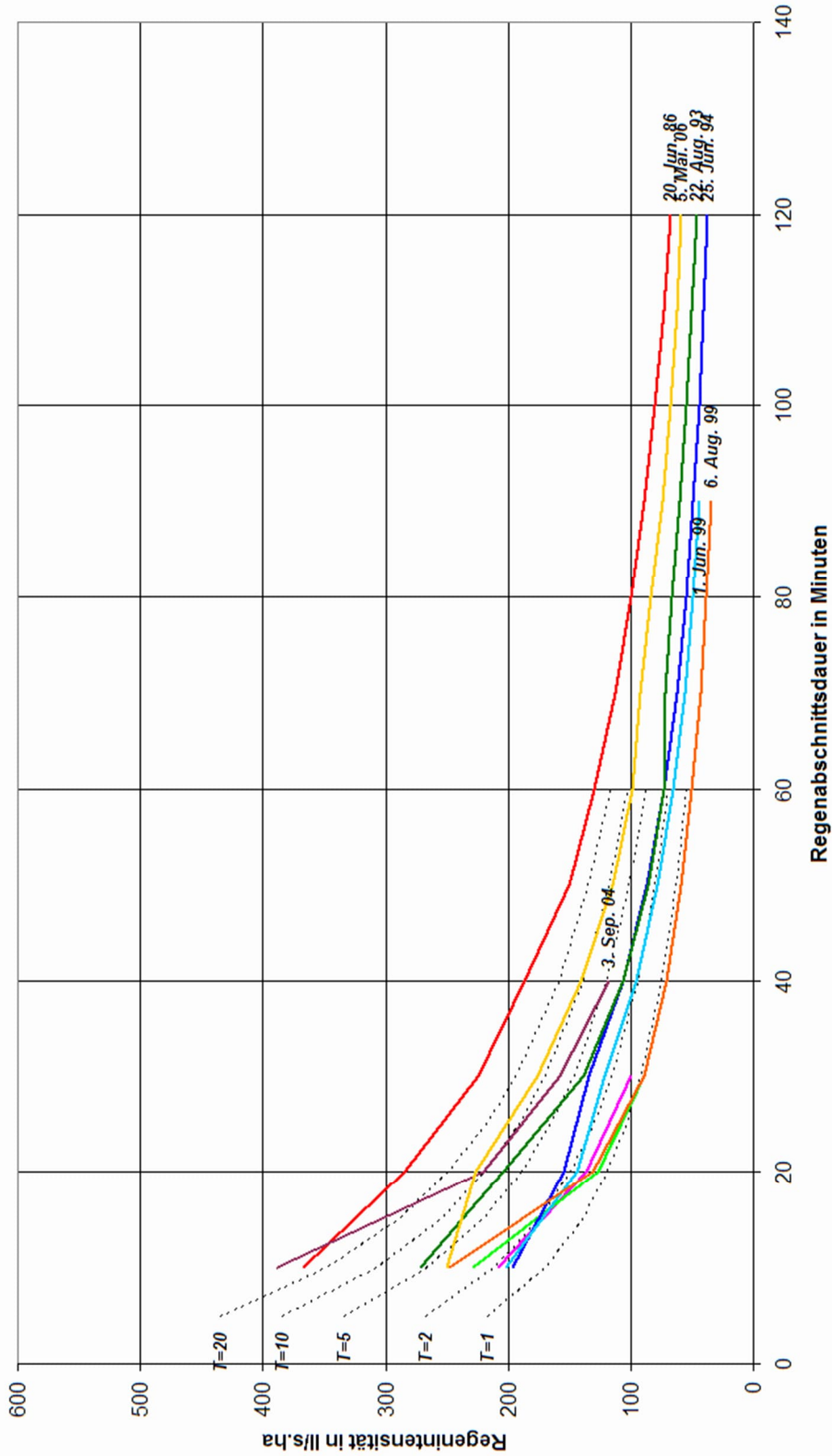
### 20.7.3 Starkregen – Serie Buchs – Suhr 1985 – 2007 (Landregen)

Regenverlauf ausgewählte Starkregen  
Regen langer Dauer



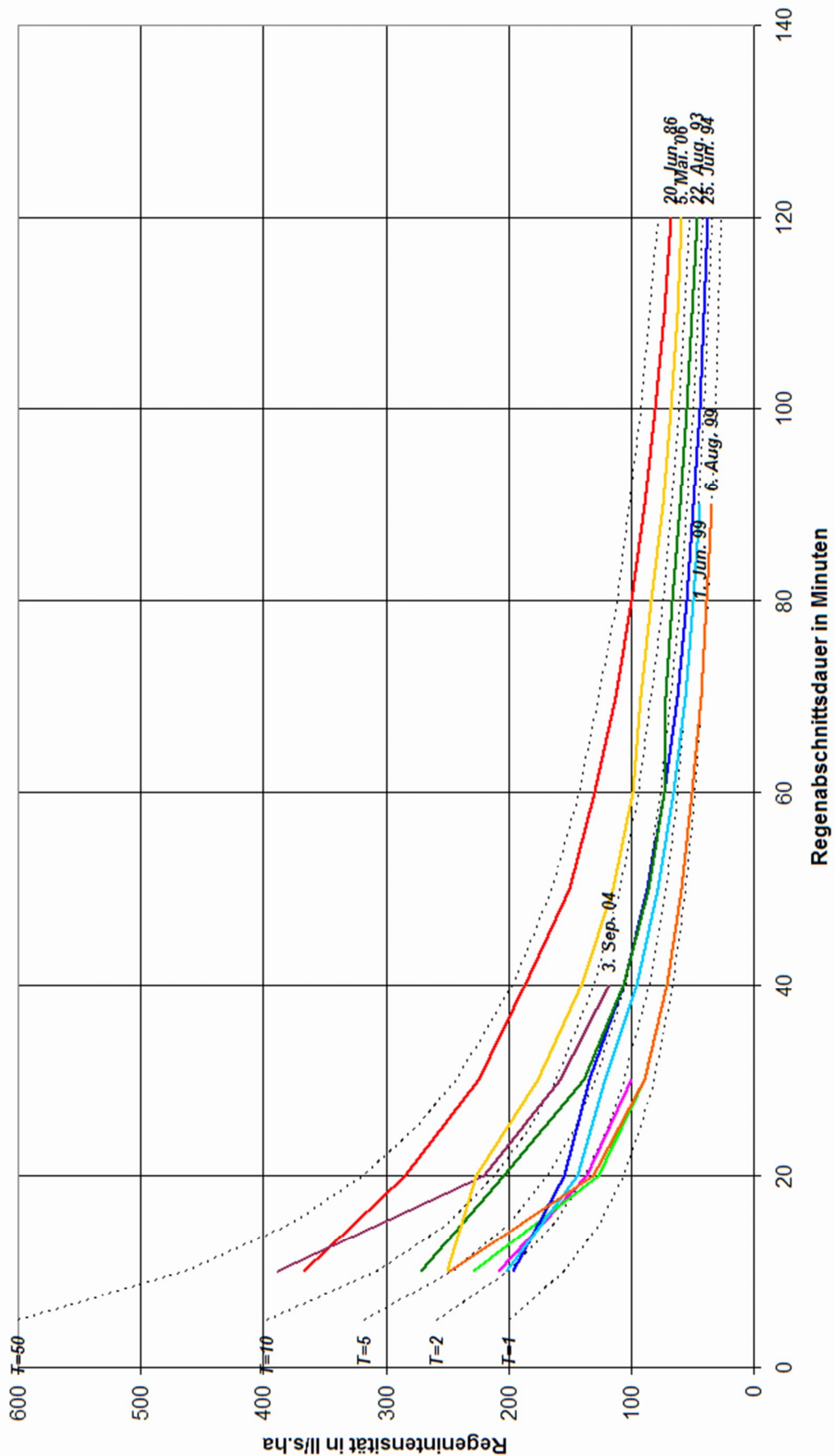
### 20.7.4 Starkregen – Serie Buchs – Suhr 1985 – 2007 (Vergleich 1 mit Intensitätskurve)

ANETZ-Station Buchs-Suhr - 1985 bis 2007  
Vergleich mit SN 640'350 neu - "Mittelland"



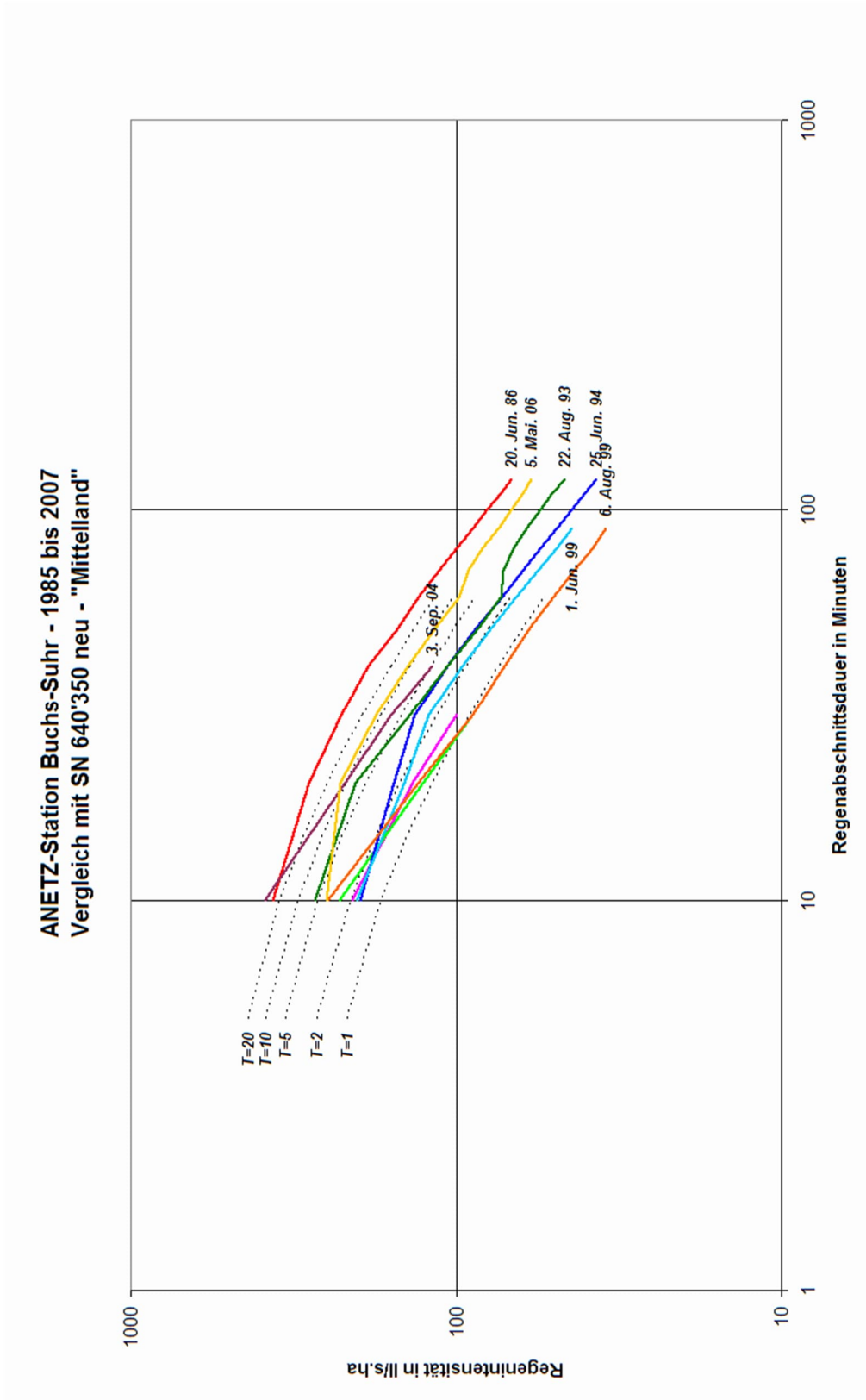
Vergleich der Naturregen mit den Intensitätskurven der SN 640350 neu

**ANETZ-Station Buchs-Suhr - 1985 bis 2007**  
**Vergleich mit SN 640'350 alt "N"**



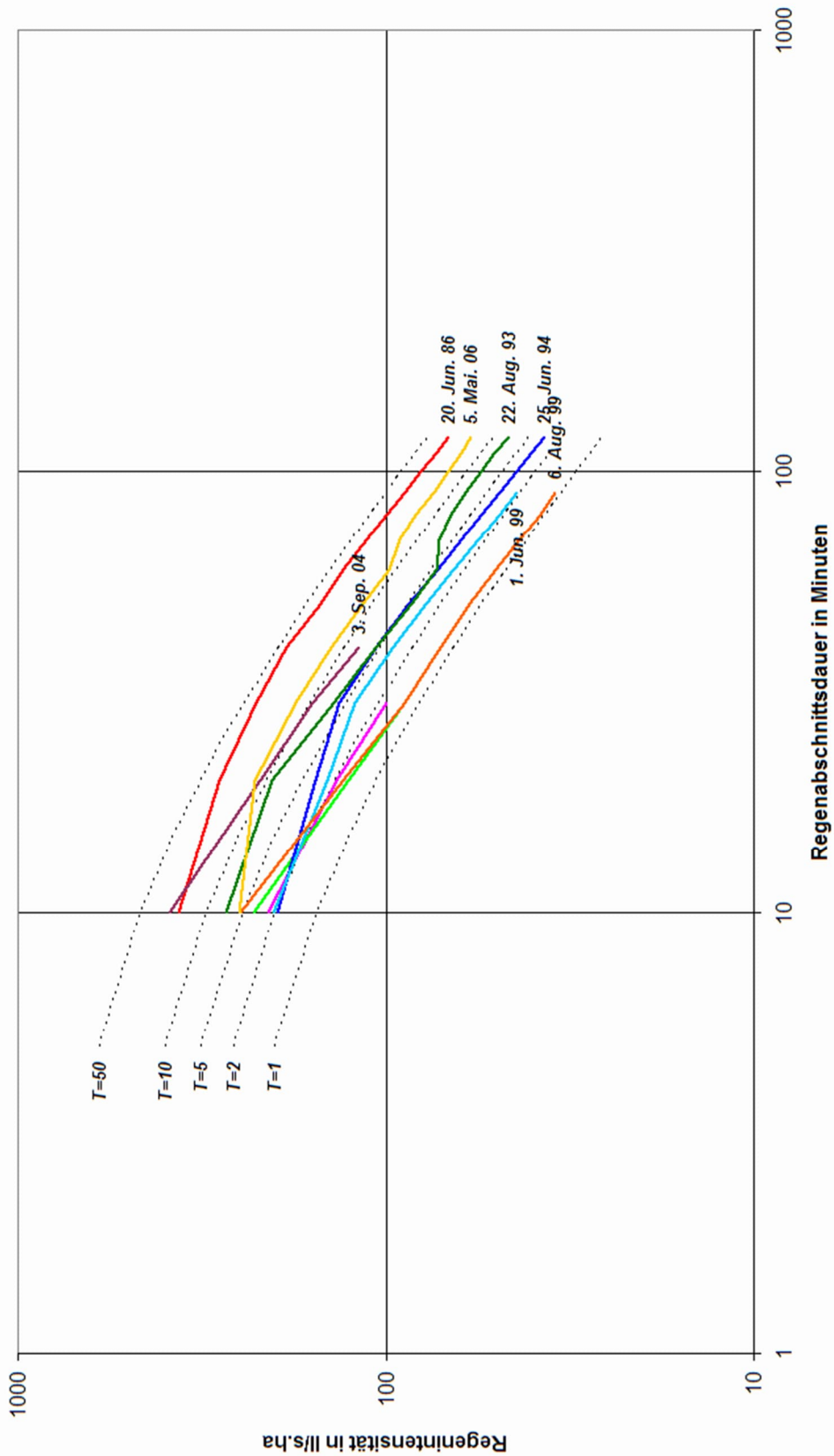
Vergleich der Naturregen mit den Intensitätskurven der SN 640350 alt

### 20.7.5 Starkregen – Serie Buchs – Suhr 1985 – 2007 (Vergleich 2 mit Intensitätskurve)



Vergleich der Naturregen mit den Intensitätskurven der SN 640350 neu

ANETZ-Station Buchs-Suhr - 1985 bis 2007  
Vergleich mit SN 640'350 alt "N"



Vergleich der Naturregen mit den Intensitätskurven der SN 640350 alt

### 20.7.6 Regenmessstationen mit Bedeutung für den Kanton Aargau

Für das Gebiet der Kantone Aargau und Luzern sind die Regenmessstationen gemäss Übersichtskarte massgebend (Blatt 20.7-8).

Die Stationseigenschaften sind wie folgt:



|                                  |           |   |
|----------------------------------|-----------|---|
| Grüne Punkte                     |           | Bestehende Regenmesser, unter Oberaufsicht des Kantons Aargau:<br>Datenauflösung fein, i.d.R. 1 Minute  |
| Blaue Punkte                     |           | Bestehende Regenmesser des kantonalen Messnetzes Luzern:<br>Datenauflösung fein, 1 Minute   |
| Karmine Stationen mit Bezeichner |           | ANETZ-Stationen der SMA-Meteo Schweiz:<br>Datenauflösung fein, 10-Minuten-Werte;<br>Daten meist ab 1981, einige Stationen neuer mit weniger Datenjahren (speziell KKW-Stao) |
| Schwarze                         | Stationen | Kantonale und ARA-Messnetze Dritter:<br>Unterschiedliche Daten-Auflösungen;<br>Verfügbarkeit und Bezugsstellen bei den jeweiligen Amtsstellen erfragen                      |

Unter Niederschlagsdaten via Link [www.ag.ch/abwasser](http://www.ag.ch/abwasser) sind Stammdatenblätter der Regenmessstationen, Jahresberichte und Daten über Niederschlagsereignisse zu finden.

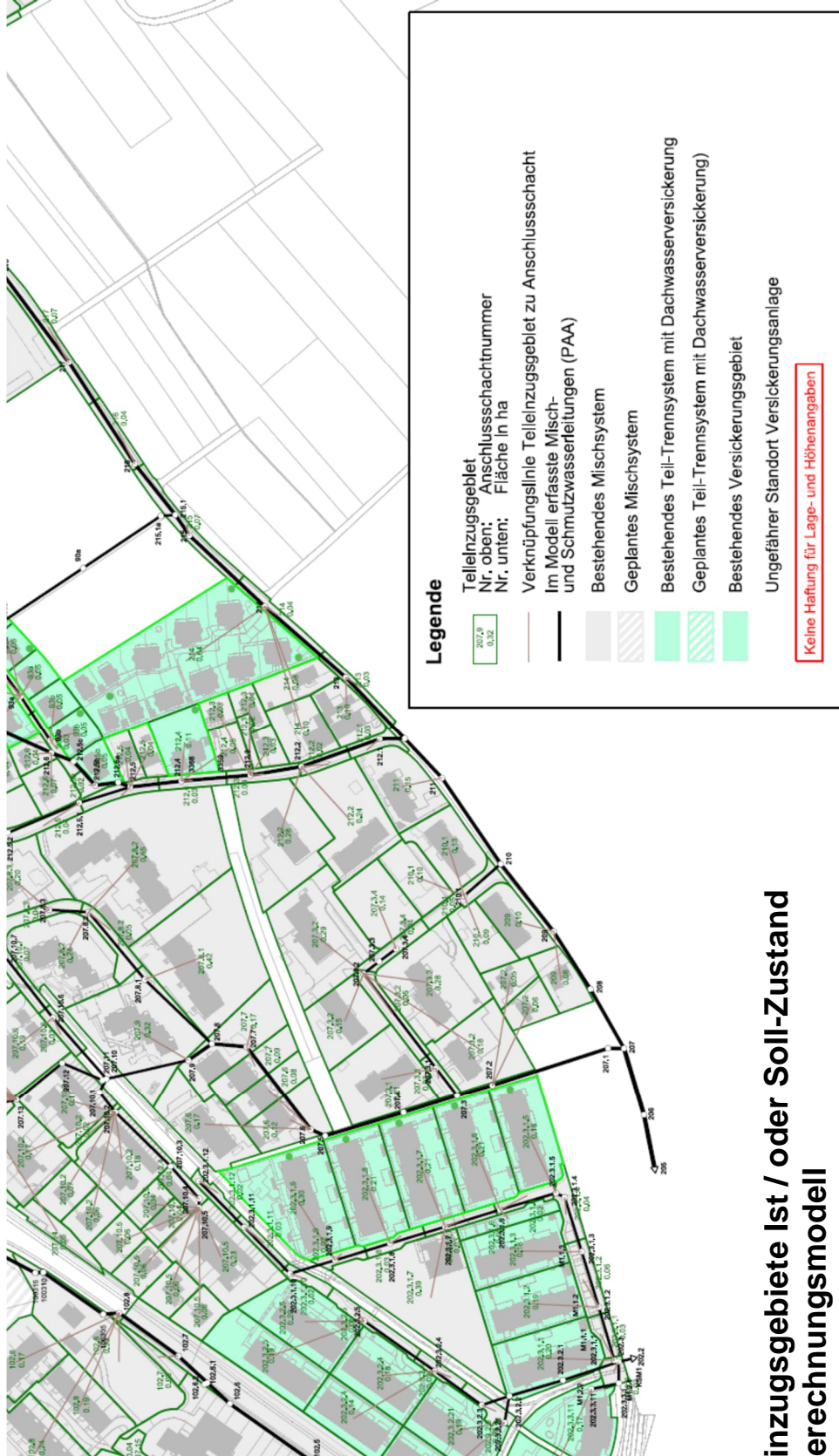






## 20.7.7 Daten Berechnungsergebnisse Teil 1

### Systemdaten Einzugsgebiet, Einwohner, Trockenwetteranfall (Beispiel)

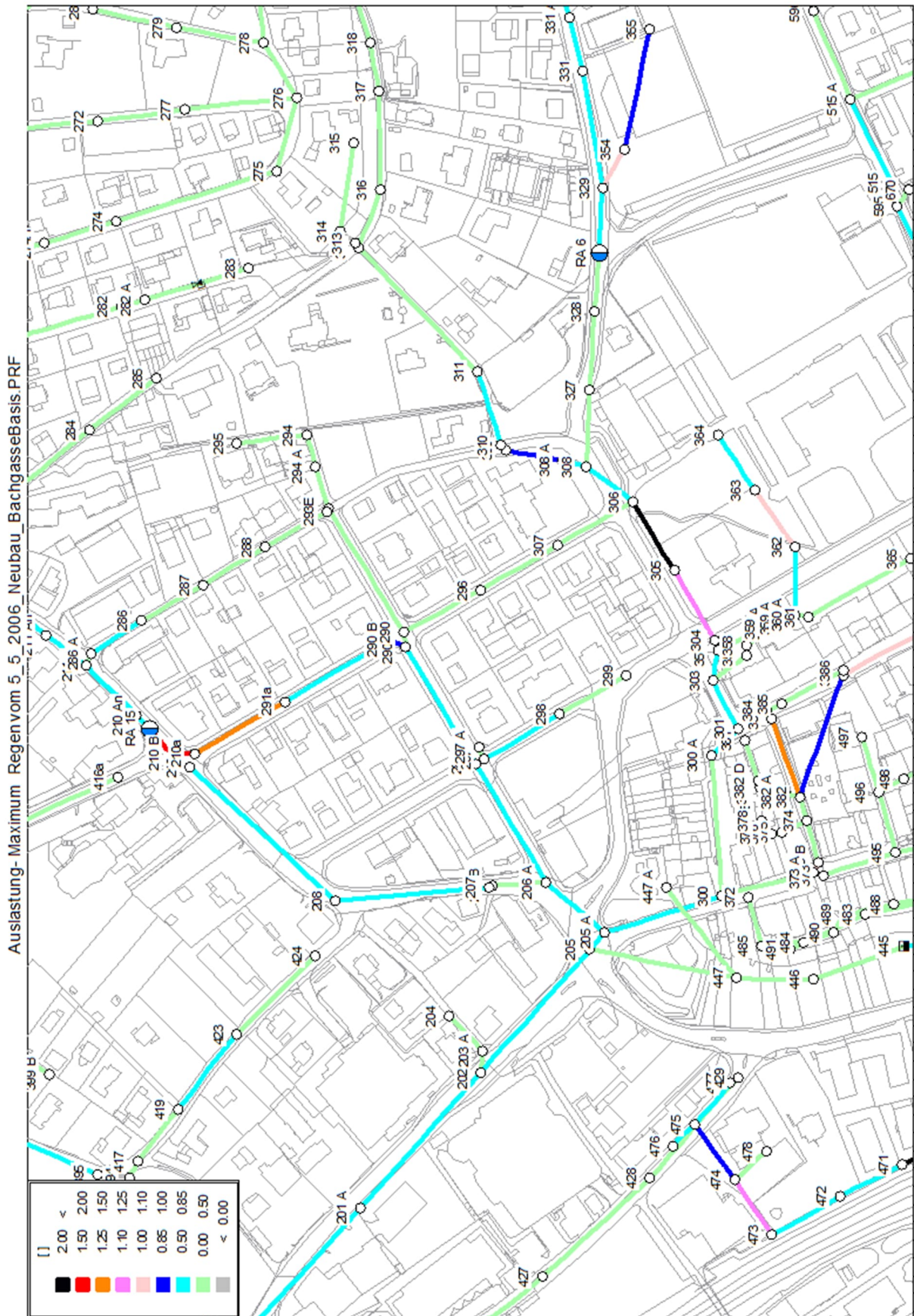


**Einzugsgebiete Ist / oder Soll-Zustand  
Berechnungsmodell**





### 20.7.9 Ergebnisdarstellung Belastungsplan $Q_{max} / Q_{voll}$

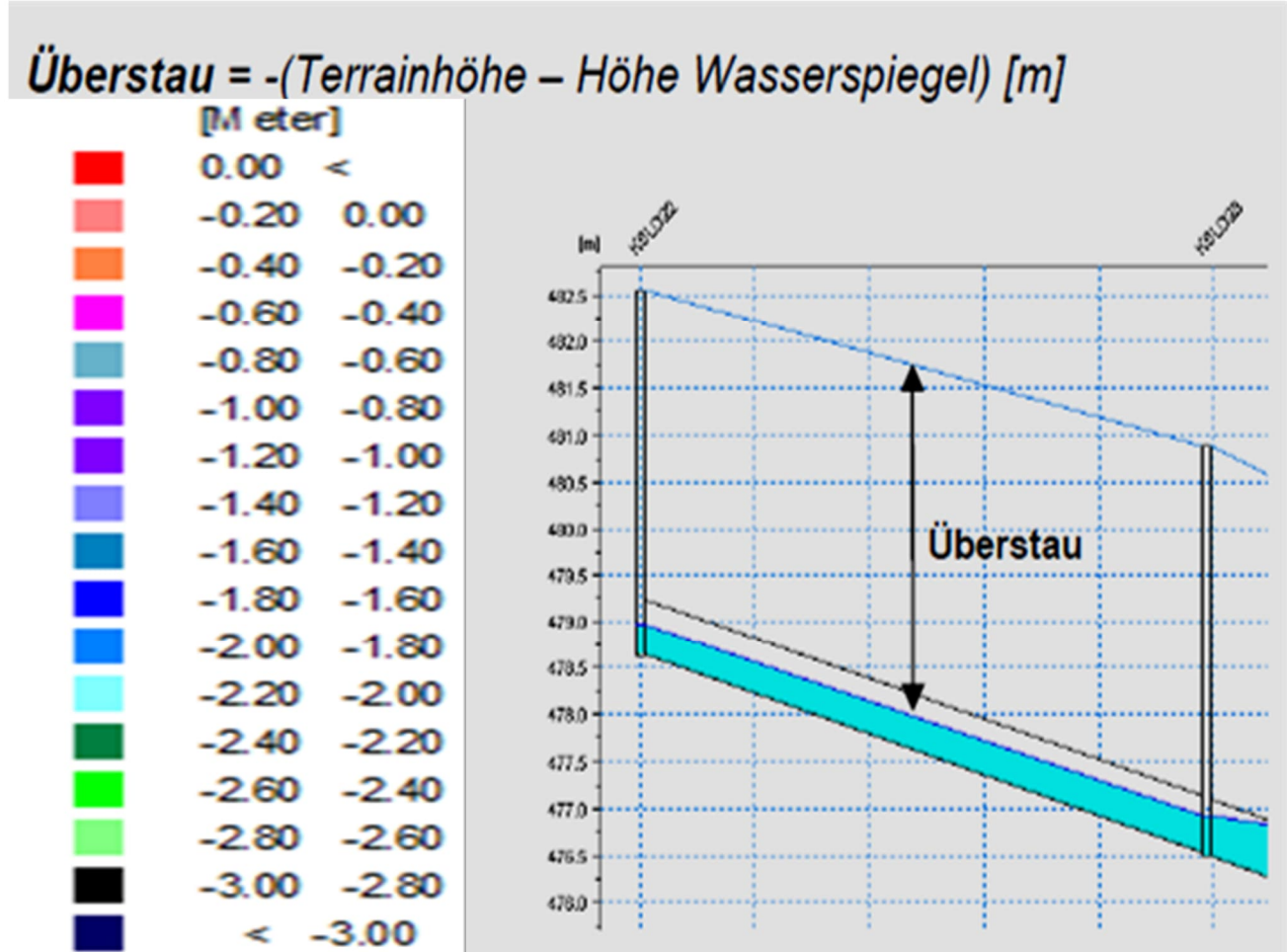




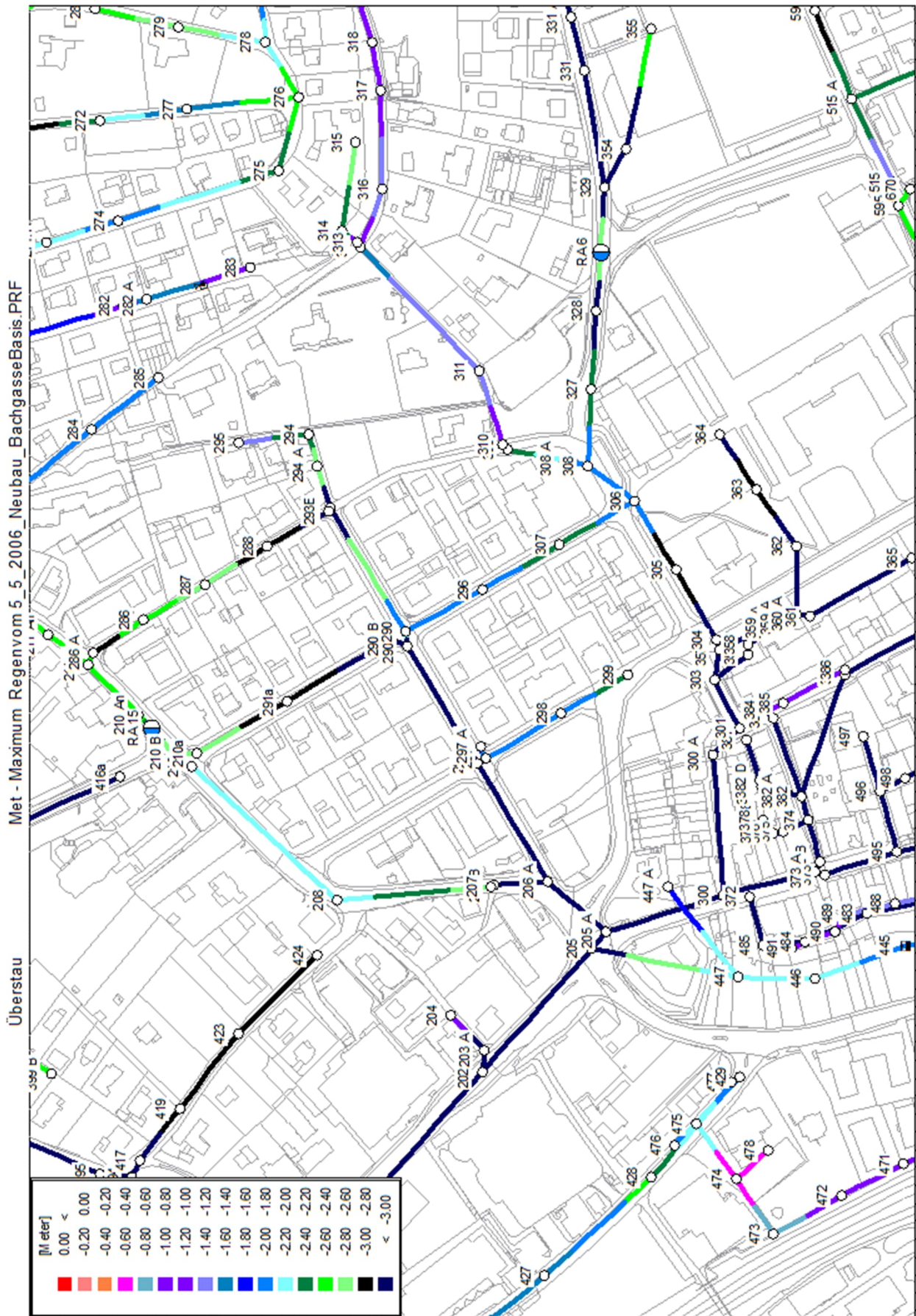
### 20.7.10 Ergebnisdarstellung Überstauplan

Mit dem Überstauplan kann der Abstand von der maximalen Wasserspiegellage zu Terrain aufgezeigt werden. Das untenstehende Beispiel zeigt im Bereich zwischen 0 und 2.8 m eine relativ feine Unterteilung von 20 cm auf. Je nach Verhältnis kann hier auch eine Unterteilung im 50 cm Schritt gewählt werden.

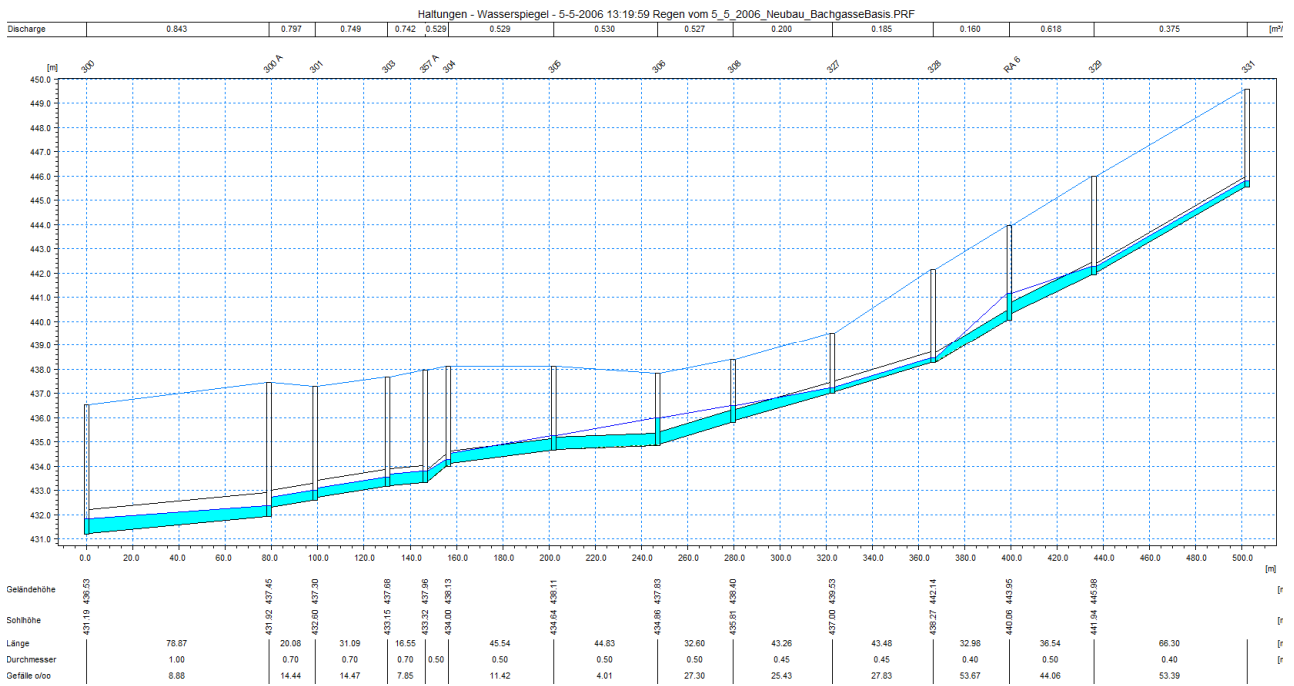
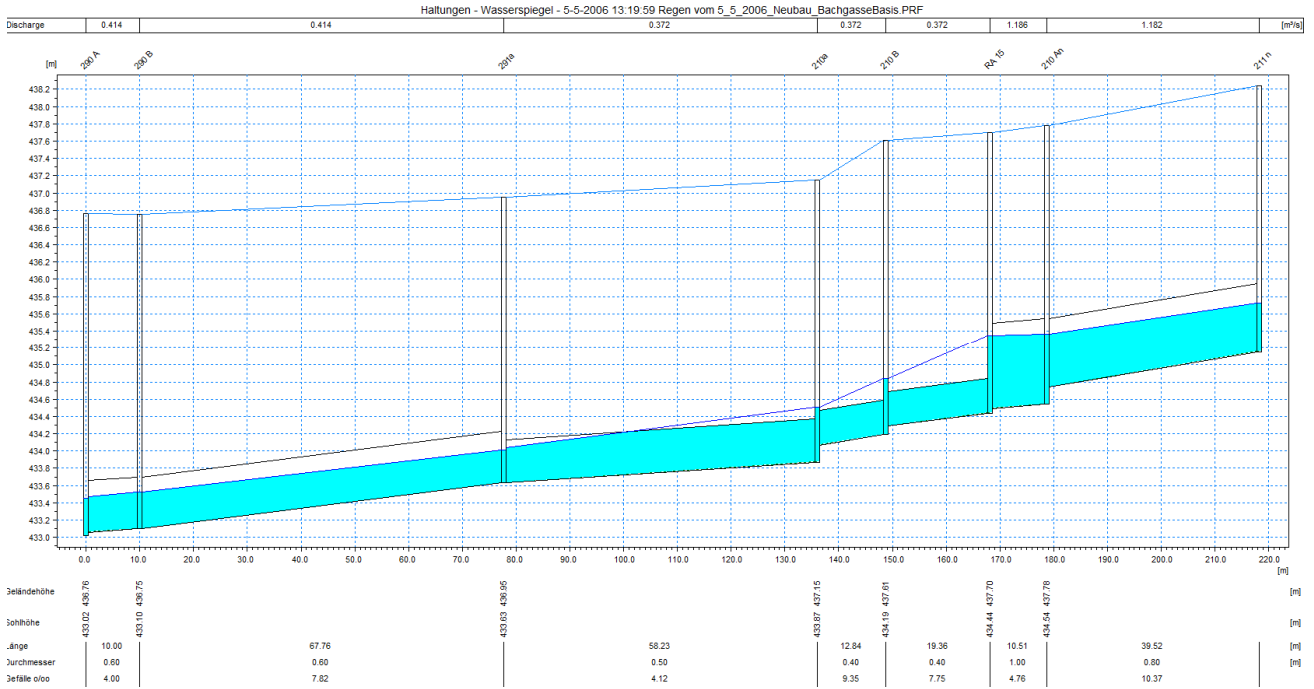
#### Legende und Bezeichnungen zum Überstauplan



### Überstauplan



### 20.7.11 Längenprofil mit Drucklinie



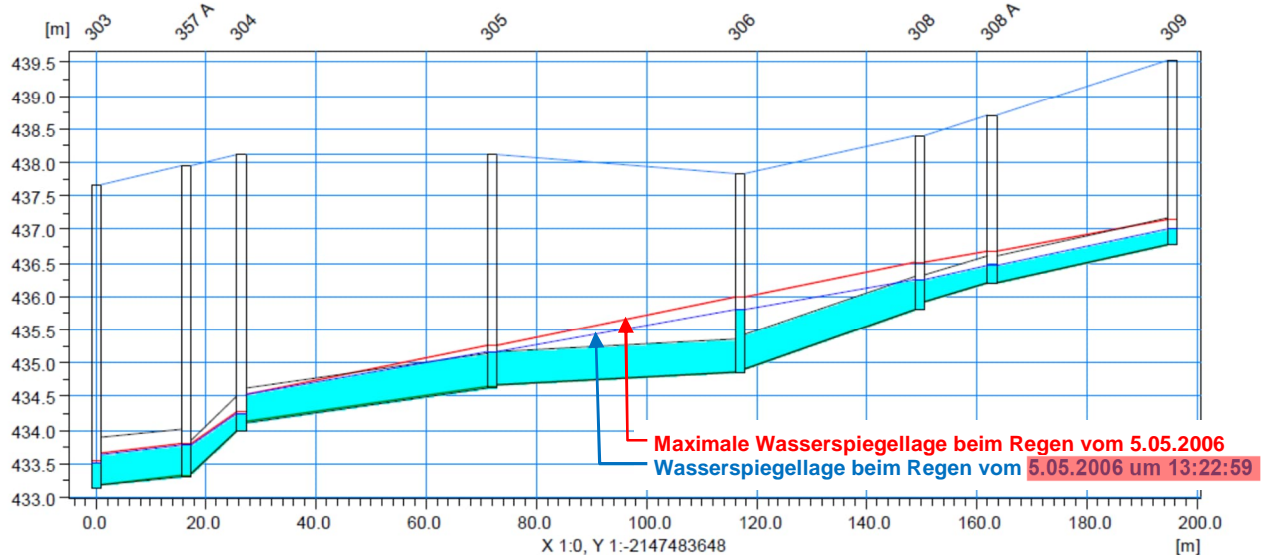


Hinweis zum Lesen des Längenprofils

Wassermenge beim Regen vom vom **5.05.2006 um 13:22:59**  
 $Q = 0.495 \text{ m}^3/\text{s} \neq Q_{\max}$   
 $Q_{\max}$  ist der EXCEL-Tabelle zu entnehmen;  $Q_{\max} = 0.530 \text{ m}^3/\text{s}$

Haltungen - Wasserspiegel - **5-5-2006 13:22:59** Regen vom 5\_5\_2006\_Neubau\_BachgasseBasis.PRF

|           |       |       |       |       |       |       |       |                     |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------|
| Discharge | 0.676 | 0.498 | 0.497 | 0.495 | 0.483 | 0.222 | 0.212 | [m <sup>3</sup> /s] |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------|



### 20.7.12 Abgabe der numerischen Resultate

Die Resultate der Hydraulik sind in einer EXCEL-Datei (gemäss Kapitel 20.7.8) abzugeben.

Zusätzlich sind auch die \*.prf Dateien abzugeben. Mit diesen Dateien können mit dem Programm MikeView (Freeware: [www.mikepoweredbydhi.com/download](http://www.mikepoweredbydhi.com/download)) die verschiedensten Themenpläne (Auslastung, Füllungsgrad, Überstau, Einstau, Wassermengen, Längenprofile, usw.) generiert werden.