

KANALNETZVEREINFACHUNG

Teil I

Redaktion	H. EBERL, Überarbeitung A. KHELIL
Bearbeitung	H. EBERL

1. Einführung

Unter hydrodynamischer Simulation von Niederschlagsabflußprozessen in Kanalisationssystemen versteht man die Berechnung der Abflußvorgänge durch Integration der eindimensionalen Strömungsgleichungen nach de Saint Venant. Für jede Fließstrecke - Kanalhaltung - ist somit ein quasilineares hyperbolisches partielles Differentialgleichungssystem für die Unbekannten Durchfluß Q und durchflossener Querschnitt A zu lösen.

Der numerische Aufwand hydrodynamischer Modelle zur Berechnung des Abflusses in einem Kanalsystem nimmt mit der Zahl der Haltungen zu: EXTRAN z.B. formuliert eine Bewegungsgleichung pro Fließstrecke unabhängig von der Haltungslänge und eine Kontinuitätsgleichung pro Schacht.

Zudem hängt der Rechenaufwand vom Berechnungszeitschritt ab. Explizite Finite-Differenzenverfahren zur Integration quasilinearer hyperbolischer Differentialgleichungssysteme sind in der Wahl des Zeitschritts durch die Stabilitätsbedingung von COURANT-FRIEDRICH-LEVY –CFL- eingeschränkt – vgl. LEVEQUE -. Der zur Stabilität größtmögliche Zeitschritt hängt vom Ortsschritt in Strömungsrichtung ab und zwar so, daß kleine örtliche Diskretisierungsintervalle auch kleine Zeitschritte erzwingen. Das Stabilitätskriterium ergibt sich aus Diskretisierung und Linearisierung der Charakteristiken der Strömungsgleichungen. Ein örtlicher Zeitschritt in einer Fließstrecke kann nie größer als deren Länge sein.

In EXTRAN wird die Fließstrecke nicht unterteilt, die Länge einer Haltung ist gleich dem Ortsschritt. Der maximal mögliche Zeitschritt - wenn alle Haltungen mit gleichem Zeitschritt berechnet werden - richtet sich im wesentlichen nach dem kürzesten im System vorkommenden Kanalstrang. Tatsächlich spielen auch Gefälle und Durchmesser der Stränge eine Rolle. Zudem sei angemerkt, daß das CFL-Kriterium lokal in der x - t -Berechnungsebene gilt, hier aber der Zeitschritt pauschal unter Annahme der Vollfüllungswerte berechnet wird. Dabei spielt es keine Rolle, ob diese Vollfüllungswerte tatsächlich erreicht werden. Eine derartige Stabilitätsforderung ist folglich auf der sicheren Seite, führt aber dazu, daß zu kleine Zeitschritte eingehalten werden, was sich nicht nur auf die Rechenzeit, sondern auch auf den Diskretisierungsfehler auswirkt. Für lange Fließstrecken wird deshalb durch ein ungünstiges Zeitschritt/Ortsschritt-Verhältnis der Diskretisierungsfehler über Gebühr groß. Dies wird durch die Charakteristikentheorie der quasilinearen hyperbolischen Differentialgleichungssysteme begründet - vgl. SAUER -. Die Lösung in einem Punkt der x - t -Ebene hängt nur ab von den Lösungen in den Schnittpunkten der Charakteristiken durch diesen Punkt mit der Anfangskurve, hier die Gitterlinie des vorherigen Zeitschritts. Bei langen Haltungen liegen diese Schnittpunkte, weil die Punkte, in denen die Durchflüsse berechnet werden quasi in Haltungsmitte liegen, weit im Inneren der Haltung, also weit entfernt von den Anfangs- und Endpunkten, die einzig zur Berechnung herangezogen werden. Bei kurzen Haltungen werden im allgemeinen diese Schnittpunkte näher an den Gitterpunkten liegen, der Diskretisierungsfehler also kleiner sein. In anderen Verfahren, den impliziten oder auch geeignet programmierten, expliziten Charakteristikenverfahren - z.B. Gitterkonstruktion nach MASSAU, vgl. SAUER -, ist für die Wahl des Zeitschritts lediglich zu beachten, daß die Diskretisierungsfehler nicht zu groß werden, die Stabilität hingegen spielt in diesem Sinne keine Rolle.

Es gibt nun zwei verschiedene technische Ansätze, den Rechenaufwand zu verringern.

Der eine besteht darin, von den vollständigen de SAINT VENANT'SCHEN Grundgleichungen auf vereinfachte überzugehen. Diese vereinfachten Strömungsgleichungen sind nicht in der Lage –

vgl. SCHMITT - physikalische Effekte wie Rückstau oder netztopologische Gegebenheiten wie Vermaschungen oder Gegengefälle nachzubilden. Will man den Weg der Verwendung vereinfachter Gleichungen verfolgen - wie es in älteren Versionen von SWMM praktiziert wurde, vgl. GEIGER -, stehen somit wiederum 2 Prinzipien zur Auswahl.

Zum einen können a priori die Kanalelemente ausgewählt werden, die vereinfacht berechnet werden sollen. Dazu muß das Verhalten des Kanalnetzes bereits gut bekannt sein. Zum anderen kann während der Berechnung entschieden werden, welche Haltung vereinfacht berechnet werden soll. Bei dieser letzten Methode wird für diesen Entscheidungsprozeß wieder etwas Rechenzeit verbraucht. Ein ganz wesentliches Problem bei der Verwendung vereinfachter Strömungsgleichungen ist aber, daß sie in das Berechnungsverfahren integriert werden müßten, das heißt, daß für jedes bestehende Kanalnetzmodell in den Quellcode eingegriffen werden müßte, was dem Benutzer in der Regel nicht möglich ist.

Dieses Problem gibt es bei dem zweiten Ansatz nicht. Dieser Ansatz besteht darin, daß man versucht, die Darstellung des Kanalnetzes zu vereinfachen, Grobnetze zu erzeugen, die aus weniger Elementen bestehen, ohne daß dadurch eine allzu große Verfälschung der Rechenergebnisse provoziert wird. Eine Folge der obigen Betrachtungen über die CFL-Bedingung ist es, daß man darüber hinaus bei Verwendung expliziter Differenzenschemata, die auf der EXTRAN-Diskretisierung beruhen, versuchen soll, kurze Haltungen aus dem Netz zu entfernen und zwar so, daß die vorkommenden Haltungslängen möglichst homogen werden.

Im weiteren sollen nun einige Strategien entwickelt werden, mit denen man dem erstgenannten dieser Ziele bei der Grobnetzerstellung näher kommt. Dabei gilt es, darauf zu achten, daß durch die Vereinfachungen weder hydraulische Schwachstellen des tatsächlichen (Fein-) Netzes eliminiert werden, noch künstliche hydraulische Probleme geschaffen werden. Sollten diese Nebenbedingungen streng erfüllt werden, so hieße das, daß die Vereinfachung ständig durch hydrodynamische Simulation überprüft werden müßte, was zur Folge hätte, daß zur Kontrolle einer Grobnetzberechnung stets eine Feinnetzberechnung durchgeführt werden müßte, die Grobnetzberechnung somit überflüssig wäre. Die angesprochenen Strategien sollen daher auf ausgewählte Testnetze mit unterschiedlicher Struktur bei verschiedenen Belastungsfällen angewandt werden. Anschließend wird man versuchen, durch Vergleich mit Feinnetzberechnungen allgemein die Leistungsfähigkeit der Vereinfachungen abzuschätzen.

Die beiden Methoden, die im folgenden Abschnitt beschrieben werden, sind vollautomatisch in dem Sinne, daß sie auf ein Kanalnetz angewandt werden können, ohne daß der Anwender sich um die bestimmte Struktur des Kanalnetzes zu kümmern braucht: Der Algorithmus `ablang` stellt überdies die Möglichkeit bereit, gewisse Haltungen a priori vor dem Löschtwerden zu bewahren; dadurch läßt es sich bewerkstelligen, daß hydraulisch relevante Punkte - z.B. Speicherschächte - nicht aus dem Netz entfernt werden. Daneben sind Vereinfachungsverfahren denkbar, die interaktiv in dem Sinne sind, daß der Benutzer dem Programm mitteilt, auf welche Teilgebiete des Netzes eine Vereinfachung angewandt werden soll. Ein Beispiel dafür wäre, daß man einen Kanalstrang als Sammler auszeichnet etc.

Vor der Beschreibung der Vereinfachungsmethoden sei hier die abschließende Bemerkung gemacht, daß im Rahmen dieser Arbeit nur in den Teilgebietsgrößen (Einwohnerdichte, Schmutzwasseranfall etc. aber auch Gefälle der angeschlossenen Haltungsfläche) homogene Kanalnetze betrachtet werden. Dies hat zum einen

methodische Gründe - eine Behandlung nicht homogener Teilgebietskenngrößen wurde nicht implementiert - , liegt zum anderen aber auch daran, daß die vorliegenden und zur Untersuchung zur Verfügung stehenden Kanalnetze diese Eigenschaft besitzen.

2. Zwei Methoden zur automatischen Netzvereinfachung

2.1 *Darstellung des Kanalnetzes als gerichteter Graph*

Die Formulierung der im Folgenden vorgestellten Methoden zur automatischen Grobnetzerstellung in algorithmischer Form beruht auf einer Darstellung des Kanalnetzes als gerichteter und bewerteter Graph – vgl. NOLTEMEIER -. Dabei ist es natürlich naheliegend, daß die Schächte des Kanalnetzes die Knoten des Graphen darstellen und die Haltungen die Kanten bzw. Pfeile.

Zur Richtung des Graphen sind prinzipiell 2 sinnvolle Vorgehensweisen denkbar. Zum einen ist das eine Richtung mit dem Sohlgefälle, zum anderen eine Richtung entsprechend der explizit als oberer bzw. unterer Schacht angegebener Knoten. Der Nachteil der letzteren Möglichkeit ist, daß bei der Eingabe des Kanalnetzes die Fließrichtung stets berücksichtigt werden muß, ihr Vorteil, daß Haltungen, in denen bekannterweise die Strömungsrichtung der Gefällerrichtung entgegengesetzt ist, keine Sonderbehandlung erfahren müssen.

Der Vorteil der ersten Möglichkeit ist ein automatisches Abarbeiten der Richtung, der Nachteil ist, daß bei Haltungen, in denen stets Gegenströmung herrscht, die Algorithmen u.U. versagen und unsinnige Vereinfachungen vorgenommen werden, weshalb bei diesen Haltungen vor Anwendung der Vereinfachungsmethoden eventuell ein vorübergehendes Umsetzen der Sohlhöhe notwendig ist.

Die mehrfache Bewertung des Graphen erfolgt durch die geometrischen Eigenschaften seiner Elemente. Dabei können die Knoten entweder eine eigene Bewertung erfahren, oder deren Eigenschaften als Bewertung den daran angeschlossenen Haltungen zugewiesen werden – vgl. NOLTEMEIER -.

Im Folgenden steht die Bezeichnung oberer Knoten stets für den Knoten, von dem der Pfeil des Graphen ausgeht, unabhängig davon, nach welcher der besprochenen Möglichkeiten die Richtung des Graphen erfolgte. Der untere Knoten ist somit der Knoten, auf den die Pfeilspitze zielt.

Auf eine detaillierte algorithmische Beschreibung der Methoden zur automatischen Grobnetzerstellung wird an der Stelle verzichtet.

2.2 *Die Methode abhaeng*

Beschreibung des Algorithmus

Die Methode *abhaeng* beruht darauf, daß alle Anfangshaltungen¹, deren Rohrquerschnitt kleiner als ein vorgegebener Wert ist, aus dem Kanalnetz entfernt werden. Dieser Vorgang wird solange wiederholt, bis der neu entstehende Graph keine derartige Anfangshaltung mehr aufweist. Um die an die gelöschten Haltungen angeschlossenen Flächen zu erhalten - wichtig für den Niederschlagabfluß und somit die Belastung des Systems - müssen diese an verbleibende Haltungen weitergereicht werden.

¹ Das sind Haltungen, deren oberer Knoten keinen Vorgänger hat, also eine Quelle im Graphen ist

Hat die gelöschte Haltung nur einen Nachfolger, so wird die Fläche an diesen übergeben. Hat die gelöschte Haltung mehrere Nachfolger, so wird die angeschlossene Fläche auf die verbleibenden entsprechend der Vollfüllungsleistungen aufgeteilt. Alternativen sind denkbar: Zum Beispiel könnten die Sohlhöhen der Haltungen, die bei Vermaschungen eine ausgezeichnete Rolle spielen, berücksichtigt werden. In der Praxis wird der Fall einer Abzweigung im oberen Kanalteil selten auftauchen.

Eigenschaft der durch *abhaeng* erzeugten Kanalnetze:

Die Grobnetzerzeugung durch die Methode *abhaeng* ist natürlich flächenerhaltend (das heißt, die angeschlossenen Gesamtflächen bleiben gleich), nicht aber längenerhaltend (das heißt, die Gesamtlänge des Netzes verändert -hier: reduziert- sich).

Werden Fließzeiten im Kanal nach den Standardvorgehensweisen berechnet, so werden diese entschieden zu kurz ausfallen. Das liegt daran, daß praktisch ein Teil des Kanalabflusses auf die Oberfläche verlagert wurde. Werden an einer Stelle des Kanalnetzes viele Haltungen auf einmal abgekoppelt – z.B. ein ganzes Wohnviertel, in dem durchwegs Rohre mit DN 300 verlegt wurden -, so erhält man Anfangshaltungen mit großer angeschlossener Fläche. Die Umlegung des Kanalabflusses auf die Oberfläche ohne Neuparametrierung des Niederschlagabflußmodells kann daher zu Verzerrungen im Abfluß aus diesem Gebiet führen. Ein neuparametriertes Niederschlagabflußmodell kommt bereits einem - in der Regel einfachen - hydrologischen Modell für das abgekoppelte Teilnetz gleich. Derartige Neuparametrierung ist zum jetzigen Zeitpunkt der Untersuchungen noch nicht erfolgt – vgl. Zusammenfassung und Ausblicke -. Wird diese Methode nur auf Rohrquerschnitte unter 600 mm angewandt, so dürfte die dabei entstehende Reduzierung des aktivierbaren Speichervolumens im Kanal nicht besonders drastisch ausfallen.

2. 3 Die Methode *ablang*

Beschreibung des Algorithmus

Der Methode *ablang* lag ursprünglich der Gedanke zugrunde, kurze Haltungen, die den Zeitschritt nach unten drücken, zu eliminieren. Sie wurde somit als EXTRAN-spezifische Vereinfachungsmethode konzipiert. Die dahintersteckende Idee ist es, kurze Haltungen längeren Vorgänger- oder Nachfolgerhaltungen zuzuschlagen. Dabei wird zwischen 3 verschiedenen Modi unterschieden.

Im Modus 1 werden die Haltungen ersatzlos gestrichen, die geometrischen Eigenschaften dieser Haltungen (Gefälle, Durchmesser, Sohlhöhen) spielen dabei keine Rolle. Praktisch wird mit der Haltung ein Schacht aus dem Kanalnetz entfernt, die daran angeschlossenen Kanalstränge auf den nächsten Schacht umgeleitet. Diese Vorgehensweise sollte nur auf Haltungen mit Länge L unter 5 m angewandt werden, da solche Haltungen meist fiktiv sind.

Zum Beispiel entstanden sie, weil an der Vereinigungsstelle zweier Haltungen ein fiktiver Schacht gesetzt werden mußte. Andere Haltungen stellten ein Absturzbauwerk dar, das somit durch einen Absturzschacht ersetzt wurde.

Im Modus 2 wird eine Haltung nur dann gelöscht, wenn sie hinsichtlich des Rohrquerschnitts mit einer Vorgänger- oder Nachfolgerhaltung übereinstimmt. Vorhandene Speicherräume bleiben somit erhalten, ebenso Drosselstrecken. Dieser Vorgänger- oder Nachfolgerhaltung wird dann neben der angeschlossenen

Fläche auch die Länge der gelöschten Haltung zugeschlagen. Dies hat zur Folge, daß das Verfahren flächen- und längenerhaltend ist.

Im Modus 3 erfolgt die in Modus 2 beschriebene Elimination nur dann, wenn zusätzlich zum Querschnitt auch Gefälle und Sohlhöhe der Nachbarhaltung mit denen der zu löschenden Haltung übereinstimmen.

Bei praktischer Verwendung dieser Mechanismen hat sich gezeigt, daß es ungünstig ist, die Modi 2 und 3 unmittelbar mit Haltungslängen L über 40m durchzuführen. Als besser, hinsichtlich einer Homogenisierung der Verteilung der Haltungslängen, hat sich ein iterativer Prozeß herausgestellt. Dabei wird das Verfahren wiederholt auf Haltungen verschiedener Längen angewandt - z.B. $L < 10$ m, $L < 15$ m, $L < 20$ m, ..., $L < 35$ m, $L < 40$ m -. Weiter wird in der praktischen Anwendung dieser Modi immer ein Lauf im Modus 1 auf sehr kurze Haltungen vorangeschaltet. Zudem ist es ratsam, von vornherein die Möglichkeit zu haben, einige Haltungen vor dem Gelöschtwerden zu schützen. Auf diese Weise kann verhindert werden, daß z.B. Drosselstrecken aus dem Kanalnetz eliminiert werden. Zur Behandlung des Zeitschritts kann eine gesonderte Manipulation nachgeschaltet werden. Dadurch geht der automatische Charakter des Verfahrens verloren. Deshalb wurde davon nur in einem Fall - komb3 des Testnetzes SONTHOFEN - Gebrauch gemacht.

Die Realisierung des Verfahrens `ablang` in Modi 2 bzw. 3 auf Haltungen mit Länge $L < L_E$ läuft im Rahmen dieser Untersuchungen somit nach folgendem Schema ab:

1. Modus 1 für Haltungen mit einer Länge < 5 m
2. Iterative Anwendung des Modus 2 bzw. 3 mit Schrittweite ΔL

$$L = L + \Delta L$$

wenn $L \leq L_E$ wird `ABLANG` auf L angewandt und der Schritt wiederholt

Eigenschaften der durch `ablang` erzeugten Kanalnetze:

Es hat sich gezeigt – vgl. folgenden Abschnitt –, daß bei Grobnetzen, die mit `ablang` im Modus 3, das ist der hydraulisch zuverlässigste Modus, erzeugt wurden, eine Zeitschrittvergrößerung nicht erzeugt werden kann, mit Modus 2 nur eine geringfügige. Dies hat seine Ursache darin, daß es oft gerade kurze Haltungen sind, die hydraulisch eine große Rolle spielen, z.B. Drosselstrecken oder in Absturzbauwerken. Sinn und Nutzen des Verfahrens `ablang` ist es deshalb vorrangig, das Kanalnetz zu verkleinern.

Zudem kommt es vor, daß bei Abzweigung und Zusammenführung von Haltungen die Wahl des Vorgängers oder Nachfolgers, mit dem die zu löschende Haltung zusammengeworfen wird, zu hydraulisch unsinniger Konfiguration führt – z.B. Erzeugung von großen Sohlaufsprüngen im IMMENSTÄDTER Kanal -. Die ursprünglich angestrebte Homogenisierung des Kanalnetzes hinsichtlich der Haltungslänge wird aus den besprochenen Gründen nicht erreicht; auch hierzu wird auf die genauere Diskussion der Testfälle in folgenden Abschnitten dieses Berichts verwiesen.

3. Anwendung der beiden Verfahren auf drei Testnetze

3.1 Vorbemerkung und Aufgabenstellung

Vorbemerkung: Größen zur Netzbeschreibung

Zum Vergleich der vereinfachten Kanalnetze werden neben der Anzahl der Haltungen n_{halt} und Knoten n_{knot} folgende Größen gegenübergestellt:

Vermaschungsgrad

Für den Vermaschungsgrad werden in der Literatur verschiedene Definitionen verwendet, die zumeist auf der Eulerschen Polyederformel beruhen. Diese gilt streng genommen nur unter zusätzlichen Voraussetzungen – vgl. DÖR/MÜHL -. Diese Voraussetzungen werden insbesondere von allen Kanalnetzen, die sich als zusammenhängender und ebener Graph darstellen lassen, erfüllt. Um die Anzahl der Vermaschungen mit der Größe des Kanalnetzes in Verbindung zu bringen, wird hier der Vermaschungsgrad wie folgt definiert:

$$Gl. 1 \quad \mu = (n_{halt} - n_{knot} + 1) / n_{halt}$$

Baumstrukturen haben nach der Graphentheorie immer Vermaschungsgrad $\mu = 0$, bei Vermaschungen wird μ größer als 0. Es sei angemerkt, daß diese Formel die Entlastungen bei Regenüberläufen bzw. RÜBs als Vermaschung interpretiert.

Gesamtlänge

Für die Beurteilung des Kanalnetzes kann die Gesamtlänge des Netzes interessant sein. Sie spielt eine Rolle bei der Berechnung des Speichervolumens und bei der Abschätzung der Fließzeiten

$$Gl. 2 \quad L = \sum L_i$$

wobei die L_i die Längen der einzelnen Kanalstränge sind

Zeitschritt

Um die Stabilität des Verfahrens gewährleisten zu können, muß bei expliziten Finite-Differenzen-Schemata die CFL-Bedingung, die sich aus der Charakteristikentheorie für hyperbolische Differentialgleichungssysteme ableitet – vgl. Abschnitt 1 -, notwendig erfüllt sein. Diese stellt eine Beschränkung der Zeitschrittweite durch die Ortsschrittweite dar. Es muß gelten

$$Gl. 3 \quad \Delta x / \Delta t \leq u + \sqrt{gh}$$

Beim hier verwendeten Programm EXTRAN wird als Schrittweite Δx_i in x -Richtung jeweils die gesamte Haltungslänge L_i verwendet. Der verwendete Zeitschritt ist somit nach oben beschränkt durch die Ungleichung

$$Gl. 4 \quad \Delta t \leq \min_i \{ \Delta t_i \mid L_i / \Delta t_i \leq u_i + \sqrt{gh_i} \}$$

Numerischer Aufwand

Der numerische Aufwand bei dem hier verwendeten Simulationsverfahren wächst in etwa proportional mit der Größe des Kanalnetzes und indirekt proportional mit der Größe des Zeitschrittes Δt . Als Maß für die Größe des Kanalnetzes wird hier die Anzahl n_{halt} der Haltungen verwendet. Für eine Aussage über den numerischen Aufwand, den ein Kanalnetz bei der Simulation erfordert, wird deshalb der Wert

$$Gl. 5 \quad \Phi = n_{halt} / \Delta t$$

gebildet. Der für das Feinnetz errechnete Wert Φ kann als Referenzwert für die zu den Grobnetzen gehörenden Werte verwendet werden: ein Grobnetz, für das er nur die Hälfte des Feinnetzwerthes hat, wird im hydrodynamischen Berechnungsteil ungefähr die halbe Rechenzeit der Feinnetzberechnung benötigen.

Aufgabenstellung

Zum Test der oben beschriebenen Methoden zur automatischen Netzvereinfachung wird von einem Feinnetz ausgegangen, das mit verschiedenen Systembelastungen beaufschlagt wird. Die Simulationsergebnisse der Feinnetzberechnungen werden als Referenz für die Bewertung der Vereinfachungen verwendet.

Zu Beginn werden die Vereinfachungsalgorithmen im einzelnen getestet: Jedes vereinfachte Netz geht aus dem Feinnetz durch einmaliges Anwenden eines Vereinfachungsprogramms hervor. Jede Vereinfachungsstrategie wird dabei mit mehreren Parametern getestet, der Algorithmusabhängig zum Beispiel mit Rohrdurchmessern 200 mm, 300 mm und 400 mm. Anschließend werden durch sinnvoll erscheinende Kombinationen der Vereinfachungsstrategien weitere Grobnetze erzeugt. In einem Fall soll zudem versucht werden, die Effizienz der Grobnetzberechnung zu steigern, indem von Hand eine weitere Manipulation durchgeführt wird.

Die im vorhergehenden Abschnitt beschriebenen Methoden zur automatischen Vereinfachung von Kanalnetzen werden im Folgenden anhand dreier Testnetze geprüft. Das sind die Ortsnetze von IMMENSTADT, das von SONTHOFEN und der AOI-HAUPTSAMMLER. Diese 3 Netze weisen unterschiedliche Charakteristika auf. Das Ortsnetz IMMENSTADT hat im wesentlichen Baumstruktur - abgesehen von den Regenüberläufen -, das von SONTHOFEN enthält mehrere Vermaschungen und einige Ungereimtheiten, die aus nachträglichen Baumaßnahmen resultieren. Der Hauptsammler schließlich besteht aus einem durchgehenden Strang ohne Vermaschung und Zusammenführung.

3.2 Beschreibung der Netzvereinfachungen

Sonthofen

Ausgangspunkt für den Testfall Ortsnetz SONTHOFEN, Einzugsbereich der beiden Regenüberlaufbecken, war ein Netz, bei dem a priori alle Haltungen mit einer Länge unter 5 m entfernt wurden. Aus diesem Feinnetz gingen elf Vereinfachungen hervor:

abh_200, abh_300, abh_400	Algorithmus abhaeng mit den Durchmessern 200, 300 bzw. 400
abl2_20, abl2_40	Algorithmus ablang im Modus 2 mit der Endlänge 20 m bzw. 40 m (Schrittweite jeweils 5 m, siehe vorhergehender Abschnitt 2.3)
abl3_20, abl3_40, abl3_80	Algorithmus ablang im Modus 3 mit der Endlänge 20m bzw. 40m bzw. 80 m (Schrittweite = 5 m, dito)
komb1	eine Hintereinanderausführung der Algorithmen abl3_80 und abh_200
komb2	eine Hintereinanderausführung der Algorithmen abl3_80, abh_200 und abl2_20
komb3	wie komb1; zusätzlich wurde bei einer (sehr kurzen) Haltung die Länge manuell verdoppelt – dadurch wurde eine wesentliche Vergrößerung des Zeitschritts möglich

Tab. 1: Liste der durchgeführten Vereinfachungen in SONTHOFEN

Das untersuchte Kanalnetz entspricht dem Teil des Ortsnetzes SONTHOFEN, der den Einzugsbereich der beiden Regenüberlaufbecken darstellt. Die beiden Regenüberlaufbecken sind nicht enthalten, an deren Stelle befindet sich jeweils ein freier Auslaß **S105** bzw. **SRUEB2.2**.

Zudem gibt es 3 weitere freie Auslässe im betrachteten System: **S951**, **S2680**, **S3593**.

Schächte **S951** und **S2680** sind Verbindungsstellen mit dem nördlich liegenden Rest des Kanalnetzes, Teilnetz MITTAGSSTRASSE, Vermaschungen. Aufgrund der örtlichen Situation - Sohlhöhen der Haltungen - darf aber angenommen werden, daß aus diesen Schächten nur im Notfall Mischwasser entlastet wird, bei kleinen Belastungen aber findet keine Beschickung statt. Zudem gehört der Großteil des Einzugsgebiets von Schacht **S2680** nicht zum Einzugsgebiet der Regenüberlaufbecken. Es wurde nur im Kanalnetz belassen, um beim Zusammenfluß entstehende Probleme nicht zu eliminieren. Letzteres läßt sich auch über den Schacht **S3593** sagen. Dieser Schacht befindet sich unterhalb eines nach dem Bau der RÜBs aufgelassenen Regenüberlaufes. Realiter ist auch Schacht **S3593** kein freier Auslaß. Über diesen Schacht wird - an einem Regenüberlaufbecken vorbei - in Extremfällen das Abwasser direkt in den Verbandshauptsammler geleitet.

Der Auslaß **S951** ist in Abbildung A.2-1 der nördlichste Punkt, der Auslaß **S2680** ist der nordwestliche Systemauslaß. Die Hauptauslässe **S105** und **SRUEB2.2** befinden sich in der bezeichneten Abbildung auf der linken Seite in mittlerer Höhe, ebenso der Auslaß **S3593**, der beim Auslaß **SRUEB2.2** liegt.

Im Feinnnetz SONTHOFEN befinden sich zudem 2 Kasernen, über deren Entwässerungssystem - abgesehen von den angeschlossenen Flächen - keine Information vorliegt. Da es zu großen Verzerrungen der Ganglinien führen würde, wenn man diese Flächen als Ganzes an das Kanalnetz anschließt, wurden an den entsprechenden Stellen fiktive Haltungen - einmal 10 und einmal 8 - angegeben, auf die diese angeschlossenen Flächen verteilt wurden. Im Kanalnetzplan A.2-1 finden sich die Kasernen leicht erkennbar zum einen Mitte unten, zu andern Mitte oben. Für die Untersuchungen der Vereinfachungsstrategien spielt es aber keine Rolle, ob der Abfluß aus diesen Kasernen dadurch richtig nachgebildet wird.

Netze	n _{halt}	n _{knot}	μ	L	Δt	Φ
fein	811 + 1	796	0.0197	32541.5	0.33	2457.6
abh_200	769 + 1	755	0.0195	31312.6	0.33	2330.3
abh_300	485 + 1	482	0.0082	20618.2	0.33	1469.7
abh_400	364 + 1	361	0.0110	16167.6	0.33	1103.0
abl2_20	691 + 1	677	0.0217	32541.5	0.54	1279.6
abl2_40	530 + 1	516	0.0283	32541.4	0.54	981.50
abl3_20	793 + 1	778	0.0202	32541.5	0.33	2403.0
abl3_40	760 + 1	745	0.0211	32541.4	0.33	2303.0
abl3_80	713 + 1	698	0.0224	32541.4	0.33	2160.6
komb1	672 + 1	659	0.0208	31252.6	0.33	2036.4
komb2	575 + 1	563	0.0226	31252.5	0.54	1064.8
komb3	575 + 1	563	0.0226	31267.9	1.20	479.20

Tab. 2: Kanalnetzdaten SONTHOFEN, die mit +1 erfaßte Haltung ist ein Wehr im Inneren des Netzes

Eine Darstellung der Kanalnetze ist in den Abbildungen A.2-1 bis A.2-11 des Anhangs A gegeben.

IMMENSTADT

Ausgangspunkt für den Testfall Ortsnetz IMMENSTADT war ebenfalls ein Netz, bei dem a priori alle Haltungen mit einer Länge unter 5 m entfernt wurden - Ausnahmen bildeten solche Haltungen, die sich unmittelbar vor oder hinter einem RÜ befinden -. Tatsächlich stellt das hier als OrtsnetzIMMENSTADT bezeichnete Kanalnetz nur den im Mischsystem entwässerten Teil des Gesamtgebiets dar. Aus diesem Feinnetz gingen zehn Vereinfachungen hervor:

abh_200, abh_300, abh_400	Algorithmus abhaeng mit den Durchmessern 200, 300 bzw. 400
abl2_20, abl2_40	Algorithmus ablang im Modus 2 mit der Endlänge 20 m bzw. 40 m (Schrittweite = 5 m)
abl3_20, abl3_40, abl3_80	Algorithmus ablang im Modus 3 mit der Endlänge 20 m bzw. 40 m bzw. 80 m (Schrittweite = 5 m)
komb1	eine Hintereinanderschaltung von Vereinfachungsalgorithmen: auf das Netz abl3_80 wird eine Vereinfachung vom Typ abh_200 angewandt
komb2	auf das Netz komb1 wird eine Vereinfachung vom Typ abl2_20 angewandt

Tab. 3: Liste der durchgeführten Vereinfachungen in IMMENSTADT

Das Netz weist im wesentlichen Baumstruktur auf.. Abgesehen von den Entlastungsstrecken der zahlreichen Regenüberläufe existieren nur wenige Vermaschungen. Die Gefälleunterschiede zwischen den Haltungen sind zum Teil erheblich. Als Systemauslaß wurde der Schacht **IR13M3** erklärt, der in der Realität einem Regenüberlauf unmittelbar vor einem großen Stauraumkanal entspricht.

Netze	n_{halt}	n_{knot}	μ	L	Δt	Φ
fein	641 + 13	648	0.011	24502,1	0,17	3770,6
abh_200	566 + 13	573	0.012	22573,6	0,17	3329,4
abh_300	278 + 13	285	0.021	10814,4	0,17	1635,3
abh_400	217 + 13	203	0.122	7943,4	0,17	1276,5
abl2_20	535 + 13	542	0.013	24502,1	0,27	1981,5
abl2_40	408 + 13	415	0.017	24502,1	0,27	1511,1
abl3_20	627 + 13	634	0.011	24502,1	0,17	3688,2
abl3_40	595 + 13	602	0.012	24502,1	0,17	3500,0
abl3_80	574 + 13	581	0.012	24502,0	0,17	3376,5
komb1	502 + 13	509	0.014	22573,8	0,17	2952,9
komb2	429 + 13	436	0.016	22573,8	0,27	1588,9

Tab. 4: Kanalnetzdaten IMMENSTADT, die mit + angefügten Haltungen sind die Wehre in den Regenüberläufen

Im Anhang A sind in den Abbildungen A.1-1 bis A.1-11 die Kanalnetze dargestellt. Der Auslaß **IR13M3** befindet sich auf der rechten Seite im nordöstlichen Teil.

Verbandshauptsammler

Der Verbandshauptsammler verläuft in Süd-Nord-Richtung, der Auslaß ist der Schacht **HHS293**, der realiter der letzte Schacht vor der Kläranlage ist. Wegen des großen Durchmessers wurde nur nach der Methode *ablang* vereinfacht. Da es sich um ein Kanalnetz ohne Vermaschungen ($\mu=0$) und Zusammenführungen handelt und das Programm *ablang* die Netzlänge beibehält, wird hier nur eine verkürzte Tabelle angegeben. Die Nomenklatur der Netzbezeichnungen ist die der vorhergehenden Abschnitte.

Netze	n_{halt}	n_{knot}	Δt	Φ
fein	288	289	0.77	374.0
abl2_40	245	246		
abl2_80	189	190		
abl2_100	137	138		
abl3_80	263	264	0.77	341.6
abl3_100	236	237	0.77	306.5

Tab. 5: Kanalnetzdaten des Verbandshauptsammlers

Bei der Vereinfachung wurden die Haltungen, bei denen ein konstanter Zufluß angegeben wird, - vgl. oben -, vom Gelöschtwerden ausgenommen. Abbildungen A.3-1 bis A.3-6 geben die Kanalnetze wieder.

Besprechung der erzeugten Grobnetze

Im Folgenden soll eine Zusammenfassung der oben eingeführten Tabellen über die Grobnetzdaten gegeben werden, hier geordnet nach Vereinfachungsmechanismen.

Methode abhaeng

Hier fällt als erstes auf, daß das IMMENSTÄDTER Kanalnetz - vgl. Tab. 4 - auf das Verfahren deutlich heftiger reagiert als das SONTHOFENER - Tab. 2 -. Bei Entfernung der Haltungen mit Durchmesser 300 mm verbleiben in IMMENSTADT noch 46% der Haltungen, in SONTHOFEN immerhin noch 57%, für Rohrdurchmesser 200 mm und 400 mm verhält es sich qualitativ ähnlich. Zur Zeitschrittverkleinerung trägt die Methode in keinem der beiden Fälle bei. Die SONTHOFENER Auslässe, die die Schnittstellen zum übrigen Teil des SONTHOFENER Ortsnetzes darstellen, werden durch abh_400 gelöscht bzw. vom Kanalnetz getrennt. Ein Blick auf die IMMENSTÄDTER Kanalnetze – vgl. Abb. A.1-1 bis A.1-4 - zeigt, daß die Struktur des Kanalnetzes bei abh_300 und insbesondere bei abh_400 stark verändert wird, während die Struktur des SONTHOFENER Netzes – vgl. Abb.2-1 bis Abb.2-4 - stets die gleiche bleibt.

Methode ablang, Modus 2

Während bei vorsichtiger Vereinfachung (abl2_20) sich die Netze SONTHOFEN - vgl. Tab. 2 - und IMMENSTADT – Tab. 4 - noch gleich verhalten, ändert sich das bei Erhöhung der Eliminationslänge (abl2_40), ebenso wie bei Methode abhaeng: Das IMMENSTÄDTER Netz wird, prozentual gesehen, stärker vereinfacht, obgleich der Unterschied zwischen beiden Netzen nicht mehr so groß ist. In beiden Fällen wird schon beim ersten Versuch (abl2_20) der Zeitschritt vergrößert, eine weitere Vergrößerung beim zweiten Versuch (abl2_40) findet aber nicht statt. Anders verhält es sich beim Verbandshauptsammler – vgl. Tab. 5 - : Jede Vergrößerung der Eliminationslänge bringt eine Vergrößerung des Zeitschritts mit sich. Bei der Anzahl der Haltungen in den einzelnen Grobnetzen macht sich die spezielle Struktur des Netzes - die einzelnen Haltungen sind im Durchschnitt wesentlich länger als die in den Ortsnetzen - deutlich bemerkbar.

Methode ablang, Modus 3

Der Modus 3 des Algorithmus ablang ist, was die Anzahl der Haltungen betrifft, in allen Fällen der bei weitem ineffektivste. Dies verwundert nicht, bedenkt man, daß bei dieser Vorgehensweise besonderes Augenmerk auf hydraulische Probleme gelegt wurde, was zu scharfen Bedingungen für die Vereinfachung führte. Insbesondere kann man feststellen, daß - im Vergleich zum Modus 2 - gerade die Haltungen, die den Zeitschritt klein halten - und deshalb eines hydraulischen Problems verdächtigt werden dürfen - nicht entfernt wurden. Für die Grobnetze des Hauptsammlers gelten analog die für den Modus 2 gemachten Aussagen, sieht man davon ab, daß auch hier eine Zeitschrittvergrößerung nicht stattfindet.

Zu einer Beurteilung der Vereinfachungsstrategien taugt diese Gegenüberstellung alleine noch nicht. Dazu bedarf es einer Untersuchung der durch die Simulation auf diesen Grobnetzen gewonnenen Ergebnisse, die weiter unten angestellt wird.

3.3 Vergleich der Simulationsergebnisse - Bilanz für die Kanalnetze

Die Untersuchung der Ergebnisse der Simulationen auf den vereinfachten Netzen kann unter 2 verschiedenen Gesichtspunkten erfolgen:

Der erste - und einfacher zu realisierende - ist die Betrachtung des Auslaßverhaltens. Hierzu gehört ein Vergleich der Abflüsse an den regulären Auslässen - hin zur Kläranlage - sowie an den Entlastungsstellen. Diese Betrachtungsweise ist insbesondere für die Untersuchungen im Rahmen einer Kanalnetzsteuerung von Relevanz.

Der zweite Gesichtspunkt ist die Betrachtung der hydraulischen Leistung, das heißt eine Untersuchung des Überstau- und Einstauverhaltens.

Beschreibung der Ereignisse

Gerechnet wurden jeweils 2 Ereignisse.

Für die Ortsnetze SONTHOFEN und IMMENSTADT sind es Modellregen **t15n1** und **t60n1** - Dauer $t = 15$ min bzw. $t = 60$ min, Jährlichkeit $n = 1$ - unter Annahme gleichmäßiger Überregnung des Simulationsgebiets. Eine graphische Darstellung der Regen ist im Anhang B gegeben.

Der Verbandshauptsammler wird mit den Modellregen nicht vollständig überregnet, sondern nur an seinem oberen Ende – OBERSTDORF -, wo 30 ha befestigter Fläche angeschlossen wurden. An insgesamt 7 Haltungen entlang des Sammlers - an Stellen, an denen Einleiter aus den Ortsnetzen vermutet werden - wird ein konstanter Zufluß angegeben, der die Trockenwetterbelastung und somit den Anfangszustand des Systems ausmacht – vgl. KHELIL -. Diese Trockenwetterbelastung ist im Vergleich zur Niederschlagsbelastung wesentlich höher als in den Ortsnetzen. Dies kann den im Anhang C wiedergegebenen Abflußganglinien entnommen werden.

Bilanz der Simulationsläufe

Im Folgenden wird für jedes Kanalnetz eine Tabelle aufgezeigt, die eine Bilanz des Auslaßverhaltens wiedergibt. Darin enthalten sind u.a. die Gesamtabflußmengen an den Systemauslässen sowie im Fall IMMENSTADT alle Entlastungsmengen und – zur Beurteilung der numerischen Zuverlässigkeit der Berechnungen – die Volumenkontrolle am Ende der Berechnung.

Netz	Zufluß- volumen	Abfluß IR13M3	Überstau- volumen ²	Gesamt- abfluß	Restvolumen	Volumen- fehler [%]
Feinnetz	6891,8	3391,2	0/357,2	6626,3	274,4	-0,13
Abh_200	6855,4	3374,2	0/334,4	6590,3	273,3	-0,12
Abh_300	6778,1	3626,4	0/313,6	6530,3	251,5	-0,05
Abh_400	6788,7	3751,7	0/325,6	6541,5	246,5	0,01
Abl2_20	6869,9	3318,7	0/269,1	6591,9	277,9	0,04
Abl2_40	6867,41	3261,0	325,6/384,4	6832,9	350,4	-4,60
Abl3_20	6903,5	3400,8	0/??	6634,6	281,0	-0,18
Abl3_40	6885,2	3358,2	0/362,4	6584,7	296,0	0,07

² Erster Wert ist das Überstauvolumen am Ende der Simulation, zweiter Wert das maximale Überstauvolumen während der Simulation

Untersuchung der Kanalnetzvereinfachung

Abl3_80	6887,6	3358,2	0/344	6583,4	308,3	-0,06
Komb1	6789,7	3245,1	0/265,7	6484,4	298,8	0,10
Komb2	6881,0	3365,7	0/305,6	6573,0	301,2	0,10

Tab. 6 : Bilanz Ereignis t15n1, Kanalnetz IMMENSTADT

Netz	Zufluß- volumen	Abfluß IR13M3	Überstau- volumen	Gesamt- abfluß	Rest- volumen	Volumen- fehler [%]
Feinnetz	11539,8	4900,8	0/840,3	11254,3	285,2	0,00
abh_200	11503,2	4859,9	0/800,4	11202,5	299,6	0,01
abh_300	11428,1	4966,8	74,4/710,3	11201,9	300,6	-0,65
abh_400	11435,2	5219,3	0/719,6	11182,8	253,0	-0,10
abl2_20	11521,1	4768,2	0/657,8	11226,2	293,8	0,10
abl2_40	11516,1	4677,6	578,9/758,9	11734,4	350,5	-4,94
abl3_20	11551,4	4905,8	0/846,2	11257,2	294,0	0,00
abl3_40	11533,6	4887,7	0/844,8	11221,9	308,1	0,03
abl3_80	11536,0	4875,2	0/836,7	11208,1	321,6	0,10
Komb1	11437,9	4737,1	0/710,2	11132,4	304,6	0,01
Komb2	11529,7	4793,4	0/765,5	11196,2	352,3	-0,16

Tab. 7: Bilanz Ereignis t60n1, IMMENSTADT

Auffällig sind die Werte, die das Grobnetz IMMENSTADT-**abl2_40** liefert – Tab. 6 und Tab. 7 -. Die Tatsache, daß das Überstauvolumen am Ende der Simulationszeit immer noch anwächst – im Gegensatz zu allen anderen Kanalnetzen - läßt den Schluß zu, daß durch die Vereinfachung wesentliche Verknüpfungen innerhalb des Kanals gelöscht worden sind. Dadurch wurden lokal hydraulische Verhältnisse geschaffen, die von denen im Feinnetz erheblich abweichen und mit denen EXTRAN nicht ohneweiteres zurecht kommen kann - Der Volumenfehler am Ende der Berechnung von ca. 5 % liegt weit über der akzeptablen Grenze von ca. 2 % -. Tatsächlich wurde an (mindestens) einer Stelle des Kanals durch die Vereinfachung ein großer Sohlaufsprung erzeugt, der Aufstau und Überstau im Kanal verursachte. Zur weiteren Beurteilung der Vereinfachungsverfahren wird IMMENSTADT-**abl2_40** deshalb nicht herangezogen

Alle sonstigen Berechnungen zeigen Abweichungen der Abflußvolumina zwischen Feinnetz und Grobnetz im Bereich weniger Prozent. Als Ausnahme gilt vor allem das Grobnetz IMMENSTADT-**abh_400** mit Abweichungen von 10% im Rechenlauf t15n1 - Tab. 6 - und 6% bei t60n1 - Tab. 7 - aber auch Grobnetz IMMENSTADT-**abh_300** mit 6% bzw. 3% Abweichung beim Auslaß **IR13M3**.

Die gleichen Netzvereinfachungen im SONTHOFENER System - Tab. 8 und Tab. 9 - liefern wesentlich bessere Ergebnisse, was den Schluß nahelegt, daß sich die einzelnen Vereinfachungsalgorithmen im Simulationsergebnis von Kanalnetz zu Kanalnetz und Belastung zu Belastung verschieden auswirken können.

Bemerkenswert ist eine Erscheinung bei den kombinierten Grobnetzen. Hier liefert für IMMENSTADT das an sich feinere Netz **komb1** schlechtere Ergebnisse als das daraus hervorgehende Netz **komb2**. Dies hängt wahrscheinlich mit der Berechnung des Anfangszustandes der jeweiligen Simulationsläufe zusammen. Das von EXTRAN aus den Trockenwetterdaten - die für alle Grobnetze gleich waren - errechnete

Anfangsvolumen im Kanalnetz war beim Grobnetz **komb1** deutlich unter dem der anderen Netze - ca. 151,1 m³ im Gegensatz zu 241,9 m³ bei komb2 und 252,6 m³ beim Feinnetz -.

Die Tatsache, daß feinere Netze kleinere Anfangsvolumina aufweisen als daraus hervorgehende größere, läßt sich anhand anderer Beispiele - wenn auch nicht so drastisch - dokumentieren: IMMENSTADT-abl3_20 hat ein Anfangsvolumen von 264,3 m³, IMMENSTADT-abl3_40 hat 246 m³ und IMMENSTADT-abl3_80 hat 248,4 m³, für die mit abhaeng erzeugten Netze sieht es ähnlich aus.

Das erste hier angesprochene Beispiel - die Kombinationen - zeigt deutlich, daß sich die Abweichungen zum Feinnetz bei Anfangsvolumina durch die ganze Berechnung ziehen. An dieser Stelle soll angemerkt werden, daß die Anzahl der Iterationen zur Berechnung des Trockenwetterzustandes von wenigen Hundert bis hin zu fast 18000 schwankte. Es bleibt dahingestellt, ob die Berechnung des Trockenwetterzustandes und damit des Anfangsvolumens wesentlicher Bestandteil der numerischen Simulation ist - um eine richtige mittlere Trockenwetterbelastung anzugeben, oder ob sie nur aus numerischen Gründen durchgeführt wird - um stabile Anfangswerte für die Integration der Strömungsgleichungen zu erhalten -. Die Feststellung jedoch, daß kleinere Netze bei gleicher Trockenwetterbelastung größere Anfangsvolumina erzielen können - und dieser Effekt ist offensichtlich mitunter deutlichen Schwankungen unterworfen -, soll hier nicht unterlassen werden. Das deutlich zu hohe Restvolumen am Ende der Berechnung **t60n1** für das an sich recht gute Werte liefernde Netz IMMENSTADT-komb2 erklärt sich dadurch, daß der (stabile) Endzustand beim Feinnetz erst unmittelbar vor dem Simulationsende erreicht wird. Das Restvolumen ist deshalb hier nicht unbedingt als Bilanzparameter geeignet, wenn die Grobnetze diesen Zustand kurz nach dem Feinnetz erreichen.

Netz	Anf.-vol.	Abfluß S105	Abfluß SRUEB2.2	Abfluß S2680	Abfluß S951	Abfluß S3593	Rest-volumen	Volumen-fehler
Feinnetz	166.0	3856.2	5547.9	1097.7	33.7	2.1	181.7	0.00
Abh_200	163.8	3862.3	5548.0	1101.1	33.4	2.1	171.9	0.02
Abh_300	153.7	3874.1	5522.2	1106.2	25.5	2.1	171.8	0.02
Abh_400	146.2	3874.4	5501.6	1102.3	*****3	2.1	179.1	0.04
Abl2_20	164.4	3750.0	5646.1	1089.4	35.2	2.1	198.2	-0.03
Abl2_40	157.6	3596.9	5763.3	1093.3	35.1	2.1	215.2	0.05
Abl3_20	162.3	3854.4	5546.3	1095.4	33.7	2.1	184.0	0.00
Abl3_40	162.8	3800.3	5599.4	1095.2	33.6	2.1	184.8	0.01
Abl3_80	164.8	3841.5	5554.1	1091.2	35.5	2.1	189.2	0.04
Komb1	164.3	3817.8	5584.7	1098.3	35.3	2.1	174.9	0.04
Komb2	163.2	3716.6	5679.5	1088.5	36.4	2.1	190.9	0.02
Komb3	160.0	3715.1	5675.2	1087.8	36.3	2.1	191.0	0.06

Tab. 8 : Bilanz Ereignis t15n1, SONTHOFEN

Netz	Anf.-vol.	Abfluß S105	Abfluß SRUEB2.2	Abfluß S2680	Abfluß S951	Abfluß S3593	Rest-volumen	Volumen-fehler
Fein	166.0	6683.4	9935.7	1909.0	62.6	3.7	182.3	-0.24
Abh_200	163.8	6679.2	9935.1	1913.2	61.4	3.7	173.4	-0.20

³ In der Kanalnetzvereinfachung abh_400 wurde im Netz SONTHOFEN der Auslaß S951 aus dem Kanalnetz gelöscht.

Untersuchung der Kanalnetzvereinfachung

Abh_300	153.7	6710.6	9898.9	1929.4	42.2	3.7	176.8	-0.25
Abh_400	146.2	6712.4	9867.1	1925.1	*****	3.7	190.1	-0.23
Abl2_20	164.4	6440.5	10145.1	1900.4	64.2	3.7	198.8	-0.12
Abl2_40	157.6	6225.9	10311.0	1908.3	63.6	3.7	217.9	-0.03
Abl3_20	162.3	6678.0	9934.4	1906.4	62.5	3.7	184.4	-0.22
Abl3_40	162.8	6609.5	9987.4	1906.6	62.4	3.7	185.7	-0.15
Abl3_80	164.8	6707.9	9897.2	1904.6	67.8	3.7	190.0	-0.22
Komb1	164.3	6643.8	9961.8	1911.1	67.6	3.7	176.5	-0.19
Komb2	163.2	6418.1	10170.3	1900.8	69.0	3.7	192.2	-0.13
Komb3	160.0	6397.2	10169.0	1900.7	68.7	3.7	192.3	-0.01

Tab. 9 : Bilanz Ereignis t60n1, SONTHOFEN

In SONTHOFEN spielt Auslaß S3593 kaum eine Rolle - weder hydraulisch noch numerisch. Bei der weiteren Diskussion wird er deshalb nicht mehr berücksichtigt werden. Was die Kombinationsnetze betrifft, stellt man für SONTHOFEN fest, daß das gegenüber SONTHOFEN-komb2 handmodifizierte Netz SONTHOFEN-komb3 keine wesentlichen Veränderungen der Ergebnisse aufweist.

Netz	Anfangsvolumen	Abflußvolumen	Restvolumen	Volumenfehler
Fein	6406.9	14115.4	6426.5	-0.04
Abl2_40	6339.3	14052.4	6423.5	-0.06
Abl2_80	6324.0	14054.8	6413.8	-0.09
Abl2_100	6198.8	13973.7	6373.1	-0.11
abl3_80	6444.1	14126.6	6452.9	-0.05
abl3_100	6469.2	14124.8	6485.3	-0.07

Tab. 10 : Bilanz Ereignis t15n1, Verbandshauptsammler

Netz	Anfangsvolumen	Abflußvolumen	Restvolumen	Volumenfehler
fein	6406.9	16499.3	6428.8	-0.01
abl2_40	6339.3	16437.4	6424.5	-0.04
abl2_80	6324.0	16599.9	6415.4	-0.76
abl2_100	6198.8	16356.8	6375.7	-0.07
abl3_80	6444.1	16476.9	6456.4	0.12
abl3_100	6469.2	16496.0	6489.6	0.01

Tab. 11: Bilanz Ereignis t60n1, Verbandshauptsammler

3.4 Vergleich der Simulationsergebnisse

Einen etwas unmittelbareren Vergleich der Simulationsergebnisse erhält man, indem man die Abflußganglinien an den Systemauslässen miteinander vergleicht und so versucht, zu einer Beurteilung der einzelnen Algorithmen zu kommen. Diese Vergleiche erfolgen hier geordnet nach den Vereinfachungsmethoden. Die Ganglinien sind im Anhang C eingerückt.

Ganglinien für abhaeng

IMMENSTADT

Der Vergleich der Ganglinien Abb. C.1-1 und C.1-2 für den Abfluß am Systemauslaß **IR13M3** des IMMENSTÄDTER Kanalnetzes zeigt, daß - wie zu erwarten ist - mit der Vergrößerung der Netze auch die Abweichung der Ergebnisse zunimmt. Bemerkenswert ist, daß das (einigermaßen konstante) Restvolumen im System bei abh_400 für beiden Modellregen - t15n1, t60n1 - zuerst erreicht wird.

Abb.C.1-11 und Abb. C.1-12 stellen Entlastungsganglinien aus Knoten **IM24A** - in Abb.A.1-1 rechts unten - dar. Generell zeigen sich die Abweichungen an Entlastungsstellen deutlich höher als an Einleitungsstellen. Dies hängt damit zusammen, daß das Kanalnetz oberhalb der Regenüberläufe z.T. so drastisch vergrößert wurde, daß eine zusätzliche Kalibrierung der Abflußkonzentration - zumindest für die Anfangshaltungen mit großen Flächen - erforderlich wird, um die lokalen hydraulischen Verhältnisse an den Entlastungsstellen korrekt nachzubilden.

SONTHOFEN

Das Grobnetz SONTHOFEN-abh_200 zeigt für alle Auslässe beinahe Deckungsgleichheit mit den Feinnetzganglinien - Abb. C.1-3 bis C.1-10 -. Bei SONTHOFEN-abh_300 und SONTHOFEN-abh_400 sind an den Einleitungsstellen in den SONTHOFENER Sammler **S105** und **SRUEB2.2** die Ergebnisse sehr gut, beim Auslaß **S2680**, der nur ein kleines Einzugsgebiet hat, sind die Spitzenabflüsse etwas zu niedrig: in der Umgebung dieses Auslasses wurden starke Veränderungen gegenüber dem Feinnetz vorgenommen.

Der Auslaß **S951** ist ein Sonderfall: im Grobnetz SONTHOFEN-abh_400 fehlt er ganz, im Grobnetz SONTHOFEN-abh_300 wurde er - mit einem eigenen Einzugsgebiet, das nur aus wenigen Haltungen besteht - vom Kernnetz abgekoppelt und liefert deshalb qualitativ und quantitativ vollkommen andere Ganglinien.

Qualitativer Vergleich

Bei IMMENSTADT-abh_300 und IMMENSTADT-abh_400 sind die Ergebnisse deutlich schlechter als bei SONTHOFEN-abh_300 und SONTHOFEN-abh_400. Offensichtlich greift der Vereinfachungsalgorithmus abhaeng beide Ortsnetze unterschiedlich stark an: Aus dem IMMENSTÄDTER Netz werden verhältnismäßig mehr Haltungen entfernt. Da die entfernten Haltungen ihre Flächen an die verbleibenden Haltungen übertragen, und da überwiegend Anfangshaltungen der Grobnetze davon betroffen sind, empfiehlt sich eine Untersuchung der Anfangshaltungen. Dabei wird allerdings nicht unterschieden zwischen den Haltungen, die nach der Vereinfachung zur Anfangshaltung wurden und denen, die es auch im Feinnetz schon waren.

Netz	Anzahl der Anfangshalt.	Anteil der Anfangshalt. an A_{tot_ges}	Anteil der Anfangshalt. an A_{tot_und}	Mittelwert von A_{ges} für die Anfangsflächen	Mittelwert von A_{und} für die Anfangsflächen
SF-abh_400	35	0,315	0,260	1,799	0,696
IM-abh_400	15	0,414	0,393	3,490	1,408
IM-abh_300	25	0,323	0,294	1,633	0,632

Tab. 12: Kenndaten der zu den Anfangshaltungen angeschlossenen Flächen

A_{ges}	angeschlossene Fläche einer einzelnen Haltung in ha
A_{tot_ges}	angeschlossene Fläche an die Kanalisation in ha - $A_{tot_ges} = \sum A_{ges}$ -
A_{und}	undurchlässige Fläche, angeschlossen an eine einzelne Haltung in ha
A_{tot_und}	undurchlässige Fläche, angeschlossen an die Kanalisation in ha - $A_{tot_und} = \sum A_{und}$ -

Sowohl Tab. 12 als auch Abb. 1 erklären, warum die Simulationsergebnisse des SONTHOFENER Grobnetzes besser sind als die des IMMENSTÄDTER: In den Grobnetzen SONTHOFEN-abh_400, und IMMENSTADT-abh_300, fallen auf ca. 10% der Haltungen ungefähr ein Drittel der angeschlossenen Fläche, in IMMENSTADT-abh_400, auf ca 7% der Haltungen mehr als 40% der Gesamtfläche. Wie im Anhang D an einigen IMMENSTÄDTER Haltungen exemplarisch gezeigt wird, ist durch die Schaffung großer Anfangsflächen eine erhebliche Verzerrung der Zulaufwelle zu erwarten..

rel. Häufigkeiten der angeschlossenen Flächen

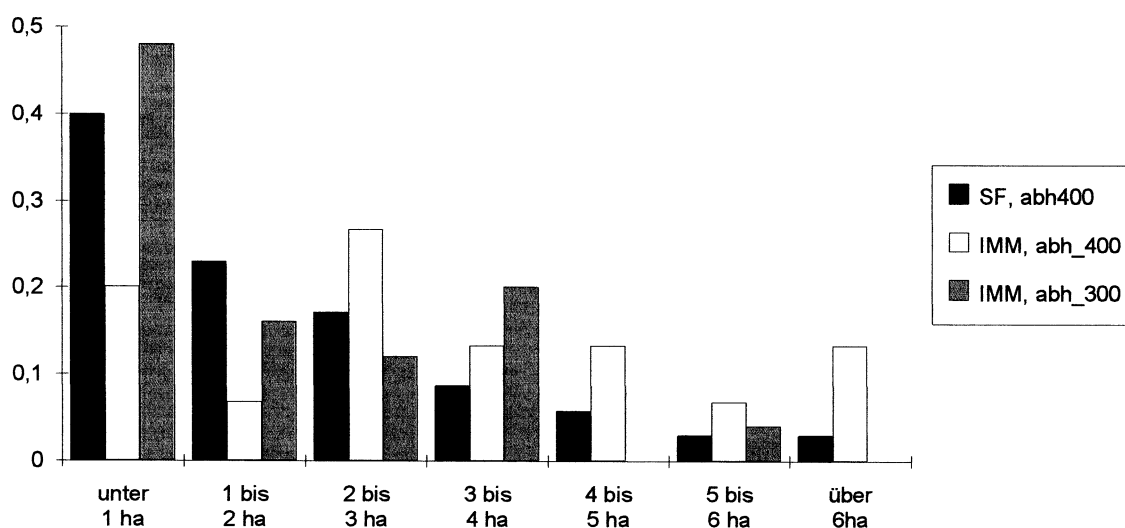


Abb. 1 : relative Häufigkeiten der an Anfangshaltungen angeschlossenen Flächen

Zudem sind die statistischen Daten für SONTHOFEN durch die Kasernen etwas verfälscht: Von den 35 gezählten Anfangshaltungen befinden sich 6 in Kasernen. Diese Haltungen gab es in genau der gleichen Form auch schon im Feinnetz. Daran angeschlossen sind relativ große Flächen - insgesamt 11.98ha, undurchlässig 7.66ha -, die zwar in die oben angegebene Tabelle eingehen, mit der Netzvereinfachung aber nichts zu tun haben. Vor allem die undurchlässigen Flächen sind davon betroffen. Werden die Anfangshaltungen in den Kasernen nicht zu den Anfangshaltungen gezählt, so fällt der Unterschied zwischen IMMENSTADT und SONTHOFEN noch drastischer auf:

Anzahl der Anfangshaltungen	29
Anteil der Anfangshaltungen an der gesamten Fläche	0,255
Anteil der Anfangshaltungen an der undurchlässigen Fläche	0,178

Mittelwerte von A_{ges} für die Anfangshaltungen	1,758 ha
Mittelwerte von A_{und} für die Anfangshaltungen	0,575 ha

Eine weitere Rolle könnte die Tatsache spielen, daß im IMMENSTÄDTER Netz eine ganze Reihe von Flußaufteilungen an Regenüberläufen stattfinden, die im SONTHOFENER Netz ganz fehlen. Auch kann unter Umständen die am Systemauslaß erkennbare Drosselung dazu beitragen, daß dort die Ganglinien sensibler unterschieden werden.

Zusammenfassung

Wie bereits mit den Bilanztabellen zu vermuten war, liefert die Methode *abhaeng*, auf Rohrdurchmesser DN 200 angewandt, gute Ergebnisse. Eine Vergrößerung des Durchmessers auf DN 400 kann jedoch unter Umständen die Struktur des Netzes so entscheidend verändern, daß es zu groben Fehlern bei der Simulation kommt. Eine weitere Vergrößerung des Durchmessers wird diesen Effekt verstärken. Dies könnte vielleicht aufgefangen werden, wenn man das Oberflächenabflußmodell neu kalibriert - das hieße eine Umlegung des Kanalabflusses auf die Oberfläche vorzunehmen - oder wenn man das abgekoppelte Teilnetz durch ein hydrologisches Modell simuliert. Vor der Verwendung eines mit *abhaeng* erzeugten Grobnetzes sollte auf alle Fälle überprüft werden, wie stark die Netzstruktur vereinfacht wurde und wie groß die an die Anfangshaltungen angeschlossenen Flächen sind.

Ganglinien für *ablang*, Modus zwei

IMMENSTADT

Wie bereits bei der tabellarischen Auswertung der Bilanzen gezeigt wurde, liefert IMMENSTADT-*abl2_40* falsche Ergebnisse, deren Ursachen bereits diskutiert wurden. IMMENSTADT-*abl2_20* hingegen erzielt recht brauchbare Ergebnisse, obwohl beim abfallenden Ast der Abflußganglinie aus dem Kanalnetz der Grobnetzabfluß deutlich unter dem des Feinnetzes liegt. Die Ganglinien sind in Abb. C.2-1 und C.2-2 gegeben.

SONTHOFEN

Für den Auslaß **SRUEB2.2** sind die Ganglinien – vgl. Abb. C.2-5 und C.2-6 - für beide Ereignisse sehr gut, auch wenn bei **t15n1** der Spitzenabfluß ein bißchen zu klein ausfällt. Der Auslaß **S105** wird im ansteigenden Ast der Ganglinie sehr gut beschrieben, im abfallenden bleiben die Abflüsse der Grobnetze ein wenig unter denen des Feinnetzes – vgl. Abb. C.2-3 und C.2-4 -. Für **S2680** fallen die Grobnetzganglinien praktisch mit denen des Feinnetzes zusammen – vgl. Abb. C.2-7 und C.2-8 -. Der sehr geringe Abfluß bei **S951** wird mit hinreichender Genauigkeit wiedergegeben. Insgesamt wird aber deutlich, daß die Vereinfachungen in den Grobnetzen auf die Einzugsgebiete der 4 Auslässe unterschiedliche Wirkungen haben.

Qualitativer Vergleich

Ähnlich wie im Falle der Methode *abhaeng* kann man zusammenfassen, daß das IMMENSTÄDTER Kanalnetz auf die Vereinfachung mit *ablang*, Modus 2, empfindlicher reagiert als das SONTHOFENER. Insgesamt sind die Abweichungen hier nicht so groß wie bei der Methode *abhaeng*. In Abb. 2 sind die empirischen Verteilungsfunktionen der Haltungsängen der SONTHOFENER und IMMENSTÄDTER Kanalnetze gezeigt. Die korrespondierenden Netze - das heißt die Feinnetze, die Netze *abl2_20* und

abl2_40 – treten paarweise auf. Eine Diskrepanz der Längenverteilungen kann daher die besseren Ergebnisse des SONTHOFENER Netzes nicht erklären. Wahrscheinlicher ist, daß die Kanalnetzstruktur dafür verantwortlich ist.

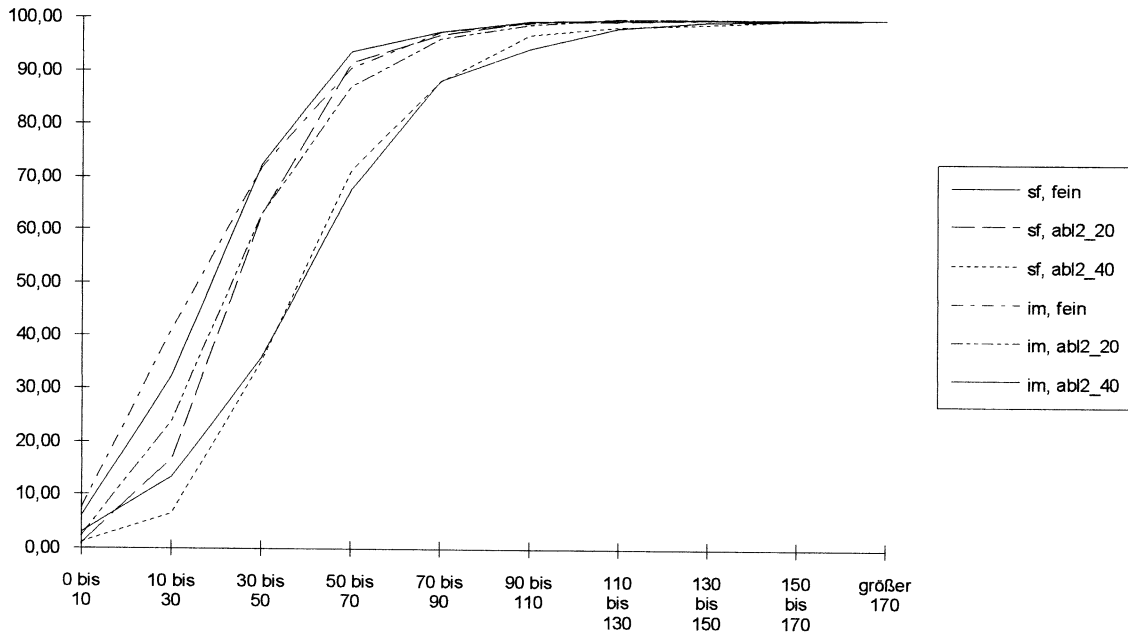


Abb. 2 : empirische Verteilungsfunktion der Haltungslängen in SONTHOFEN und IMMENSTADT

Dies wird auch durch folgende Tabelle unterstützt: Mittelwerte und Standardabweichungen unterscheiden sich zwischen den korrespondierenden Netzen nicht wesentlich, das gleiche gilt für den Anteil der Haltungen, die aus dem Feinnetz gelöscht wurden.

Ein Blick auf die Standardabweichungen zeigt zudem, daß das anfangs für die Methodeablang formulierte Ziel, eine Vergleichmäßigung der Haltungslängen zu erreichen, nicht erfüllt wurde.

Netz	Anzahl der Haltungen	Anzahl der Haltungen bezogen auf Feinnetz	Mittelwert der Haltungslängen	Standardab- weichung
SF, fein	811	1	40,13	21,12
SF, abl2_20	691	0,85	47,09	18,93
SF, abl2_40	530	0,65	61,40	24,46
IMM, fein	641	1	38,22	22,45
IMM, abl2_20	535	0,83	45,80	21,05
IMM, abl2_40	408	0,63	60,05	27,90

Tab. 13: statistische Daten zur den SONTHOFENEN und IMMENSTÄDTER Kanalnetzen

Abb. 3 begründet zusammen mit dem in Abschnitt 1 Gesagten, warum IMMENSTADT-abl2_40, schlechtere Ergebnisse liefert: Durch das Zusammenfassen der Haltungen wurde zwar die Anzahl der kurzen Haltungen erheblich reduziert - wenschon sie nicht alle entfernt werden konnten -, es wurden aber auch Haltungen

geschaffen, die deutlich länger als die Haltungen des Feinnetzes sind - zwischen den Maximallängen liegen über 40 m -.

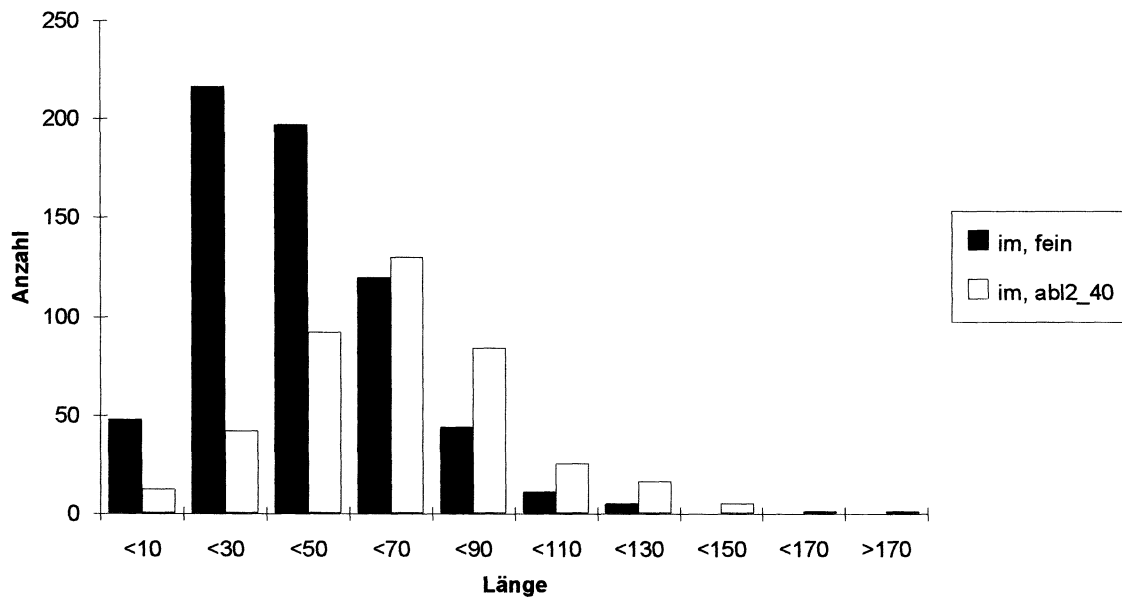


Abb. 3: Klassifizierung der Haltungenlängen von IMMENSTADT-fein, und IMMENSTADT-abl2_40

Verbandshauptsammler

Die Ganglinien der Grobnetze am Auslaß **HHS293** geben die Ganglinie des Feinnetzes sehr gut wieder.

Für das Ereignis **t15n1** – vgl. Abb.C.2-12 - stellt man fest, daß die Abflußspitze der Grobnetze niedriger wird, wenn das Netz vergrößert wird. Die Abflußspitzen der Grobnetze liegen dabei näher aneinander als an der des Feinnetzes.

Für das Ereignis **t60n1** – vgl. Abb.C.2-11 - hingegen kann man eine Ausrundung der Ganglinien Hauptsammler-abl2_80 und Hauptsammler-abl2_100 an der Spitze beobachten. Das Maximum liegt für abl2_80 leicht über dem des Feinnetzes. Netz Hauptsammler-abl2_80 liefert außerdem kleine Schwingungen im Trockenwetterbereich. Zudem liegt der Volumenfehler am Ende der Berechnung deutlich über dem der anderen Grobnetze.

Zusammenfassung

Die Methode `ablang` im Modus 2 liefert dann akzeptable Ergebnisse, wenn nicht durch das Zusammenfassen von Haltungen eine Längenverteilung entsteht, die die Diskretisierungsfehler bei der Strömungsberechnung erhöht - überlange Haltungen oder größere Standardabweichung um die mittlere Länge -. In solchen Fällen können die Ergebnisse unbrauchbar werden.

Ganglinien für `ablang`, Modus drei

IMMENSTADT

Bei beiden Ereignissen liefern die 3 durchgerechneten Grobnetze hervorragende Ergebnisse – vgl. Abb. C.3-1 und C.3-2 -. Dies verwundert auch nicht, wenn man bedenkt, daß hydraulisch verdächtige Stellen von der Vereinfachung ausgenommen wurden und deshalb die Grobnetze diesen Namen kaum verdienen.

SONTHOFEN

Hier läßt sich sagen, daß bei den abflußstarken Auslässen (**S105, SRUEB2.2, S2680**) - vgl. Abb. C.3-3 bis C.3-8 - die Ganglinien der Netze abl3_20 und abl3_40 sehr gut mit der Ganglinie des Feinnetzes übereinstimmen. Gelegentliche (kleine) Abweichungen treten nur in der Abflußspitze auf. Bei dem abflußschwachen Auslaß **S951** – vgl. Abb. C.3-9 und C.3-10 - sind die berechneten Werte zu klein gegenüber denen des Feinnetzes, was aber angesichts der Abflußmenge keine entscheidende Rolle spielt.

Verbandshauptsammler

Die Ganglinien – vgl. Abb.C.3-11 und C.3-12 - sind zwar recht gut, allerdings nicht mehr so gut wie bei den Systemauslässen der Ortsnetze.

Die Spitzenabflüsse liegen etwas unter denen des Feinnetzes. Da eine Zusammenfassung von zwei Haltungen nur stattfindet, wenn sowohl Querschnitt als auch Gefälle und Sohlhöhe übereinstimmen, und die hydraulisch relevanten Zuflußstellen im Netz verblieben, ist dieser Effekt vielleicht dadurch begründet, daß sich die Verteilung der Haltungslängen - und deren Mittelwert - ein nach oben verschiebt.

Zusammenfassung

Die Methode *ablang* im Modus 3 scheint sehr gute Ergebnisse zu liefern, so daß dieses Verfahren wohl ohneweiteres angewandt werden darf. Freilich ist zu bedenken, daß der Algorithmus die Netze nicht besonders stark verkleinert, der numerische Aufwand bei Simulation sich damit zum Teil nur geringfügig ändert - vgl. die Werte Φ -. Als Ausgangsbasis für Kombinationen von Vereinfachungsalgorithmen scheint dieses Verfahren allerdings gut geeignet.

Ganglinien für die Kombinationen der Algorithmen

IMMENSTADT

Die Ganglinie für komb1 weicht von der des Feinnetzes im Gegensatz zu der von komb2 augenfällig ab (Abb.C.4-1 und C.4-2). Dies mag durch Unstimmigkeiten bei der Berechnung des Anfangsvolumens begründet sein. Alles in allem sind die Ergebnisse aber brauchbar. Dies gilt insbesondere, wenn man die numerische Effektivität Φ dieser Grobnetze mit ins Kalkül zieht.

SONTHOFEN

Die Auslässe S105, SRUEB2.2 und S2680 liefern die guten Ergebnisse, die man nach Untersuchung der einzelnen Methoden erwarten durfte. Die „Fehler“ der einzelnen Verfahren sind in der Kombination wiederzufinden, neue kamen offensichtlich nicht hinzu. Der nur wenig beschickte Auslaß **S951** bildet eine Ausnahme: jede kleine Änderung wirkt sich bemerkbar aus. Das manuell nachverbesserte Grobnetz komb3 - Vergrößerung der Haltungslängen in der zeitschrittbestimmenden Haltung von komb2 - liefert genauso gute Ergebnisse wie die anderen Netze.

Zusammenfassung

Die vorsichtige Kombination der Verfahren - so wie sie hier vorgenommen wurde - ist wirksam. Es ist dadurch möglich, die Anzahl der Haltungen zu verkleinern und auch den maximal möglichen Simulationszeitschritt zu erhöhen.

Für SONTHOFEN wurde mit sehr guten Ergebnissen ein manueller Eingriff in das Netz zur Vergrößerung des Zeitschritts vorgenommen. Daraus darf allerdings nicht der Schluß gezogen werden, daß die Haltungsängen nach Belieben vergrößert werden dürfen. Vermutlich wird es auch eine Rolle spielen, ob an den korrigierten Stellen hydraulisch bedenkliche Situationen vorherrschen oder wie weit diese Haltung von den Auslässen entfernt ist. Insbesondere macht diese Vorgehensweise nur dann Sinn, wenn die zeitschrittbestimmende Haltung eines Netzes verlängert werden kann.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Die durchgeführten Berechnungen haben gezeigt, daß die vorgeschlagenen Algorithmen zur automatischen Erzeugung von Grobnetzen - vorsichtig angewandt - gute Ergebnisse sowohl für die Hauptauslässe als auch für kleine Entlastungsstellen des Gesamtsystems liefern. Durch diese Vorsichtigkeit erreicht man aber nur eine bescheidene Verkleinerung des Feinnetzes um ca. 10 bis 20 Prozent. Durch geschicktes Kombinieren sind weitere Reduzierungen möglich; die jeweils netzspezifisch sind.

Eine großzügige Anwendung der Verfahren läuft die Gefahr das Entlastungsverhalten der Regenüberläufe unterhalb kleiner Einzugsgebiete stark zu verfälschen – insbesondere bei der Methodeabhaeng -. Eine Neukalibrierung der Parameter des Niederschlagsabflusses der entsprechenden Einzugsgebiete kann u.U. eine deutliche Verbesserung herbeiführen. Dabei werden die Fehler des Transportbausteins durch den Konzentrationsbaustein ausgeglichen, was bei Methodeabhaeng durchaus einen Sinn macht.

Die in Teil II dieses Abschnitts dargestellte Untersuchung zeigt, daß eine drastische Vereinfachung des Kanals möglich ist, wenn - im Gegensatz zu dieser Untersuchung - einzig das Transportverhalten eines großen Einzugsgebiets - ohne Entlastungen – von Interesse ist.

Literatur

- DÖR/MÜHL: WILLIBALD DÖRFLER, JÖRG MÜHLBACHER, *Graphentheorie für Informatiker*, Sammlung Göschen, 1973
- GEIGER: WOLFGANG F. GEIGER, *Niederschlagsabfluß und -beschaffenheit in städtischen Gebieten*, SFB81, Schlußbericht Teilprojekt A4, Lehrstuhl für Wassergüte- und Gesundheitsingenieurwesen, TU München 1983
- ITWH: LOTHAR FUCHS, CLAUDIA SCHEFFER, HANS-REINHARD VERWORN, *Kanalnetzberechnung - Modellbeschreibung - HYSTEM-EXTRAN Vers. 5.1*, (Programmdokumentation) Institut für technisch-wissenschaftliche Hydrologie, Hannover 1993
- KHELIL: AMAR KHELIL, *Charakterisierung des Verhaltens der Teilsysteme im AOI-Bereich - Erster Zwischenbericht - Teilsystem: AOI-Hauptsammler*, interner Bericht, Lehrstuhl für Wassergüte- und Abfallwirtschaft, TU München, 1995
- LEVEQUE: RANDALL J. LEVEQUE, *Numerical Methods For Conservations Laws*, Birkhäuser Verlag, 1992
- NOLTEMEIER: HARTMUT NOLTEMEIER, *Graphentheorie mit Algorithmen und Anwendungen*, Walter de Gruyter, 1976
- SAUER: RUDOLF SAUER: *Anfangswertprobleme bei partiellen Differentialgleichungen*, Springer-Verlag, 1952
- SCHMITT: THEO G. SCHMITT: *Der instationäre Kanalabfluß in der Schmutzfrachtberechnung*, Schriftenreihe des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft der Universität Karlsruhe, 1985

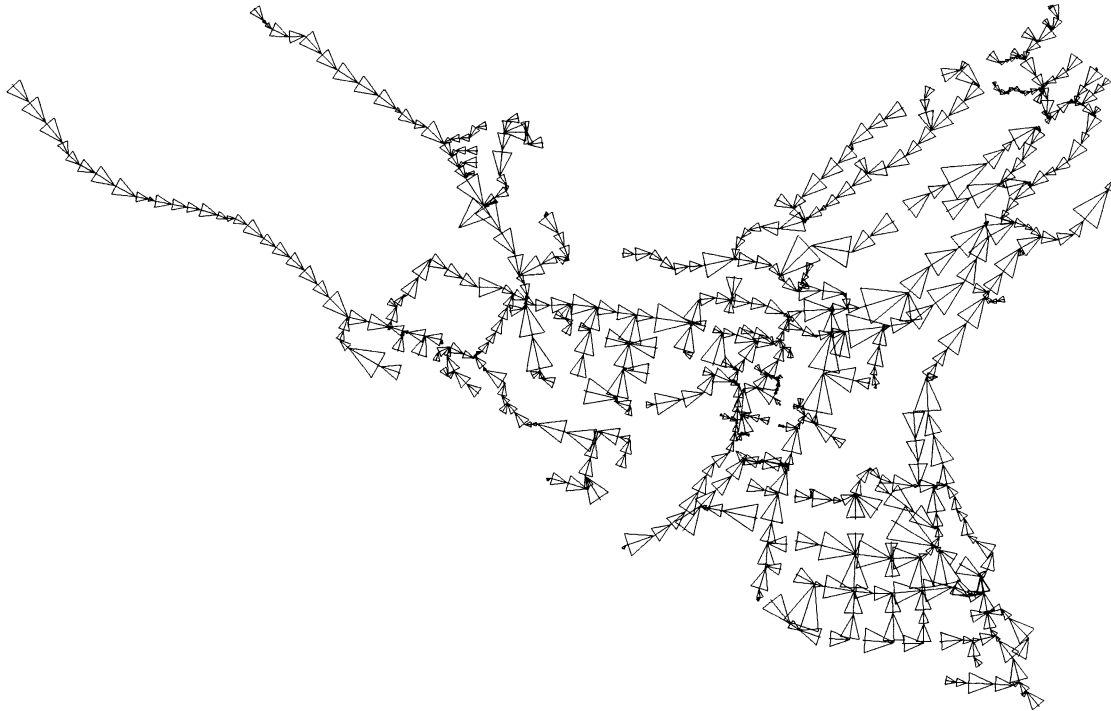


Abb. A.1-1: Feinnetz IMMENSTADT



Abb. A.1-2: Grobnetz IMMENSTADT abh_200

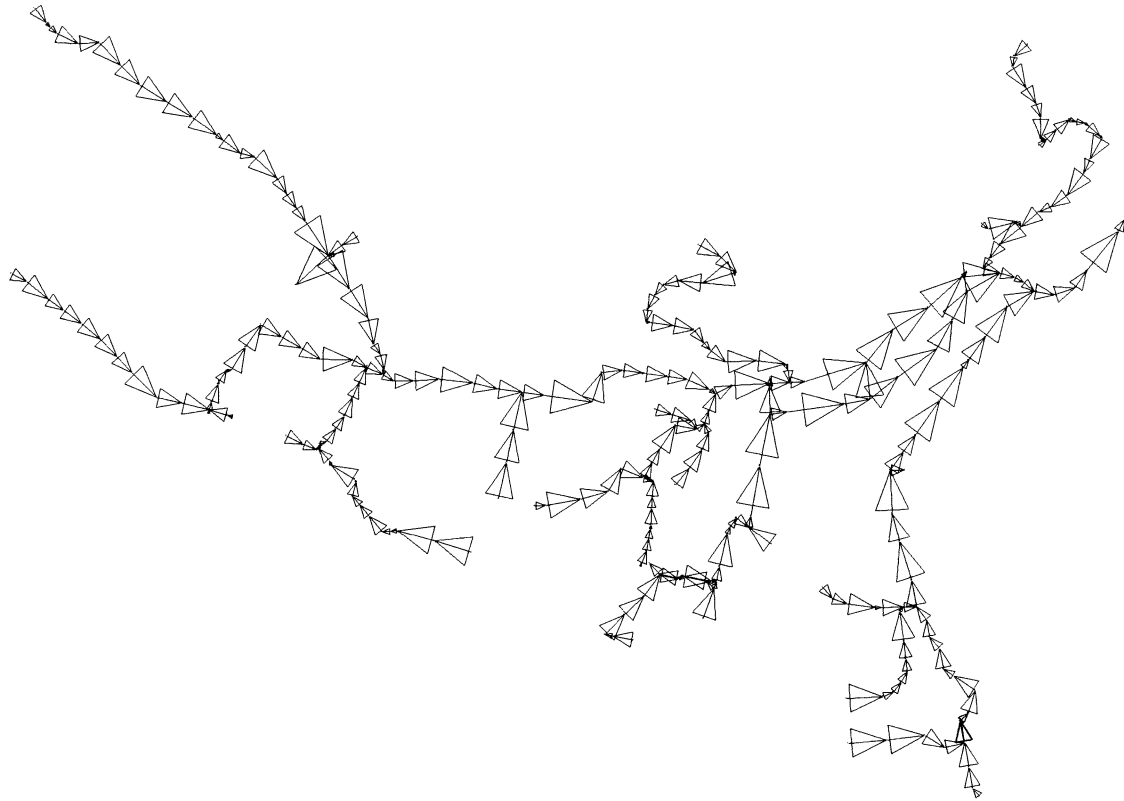


Abb. A.1-3: Grobnetz IMMENSTADT abh_300

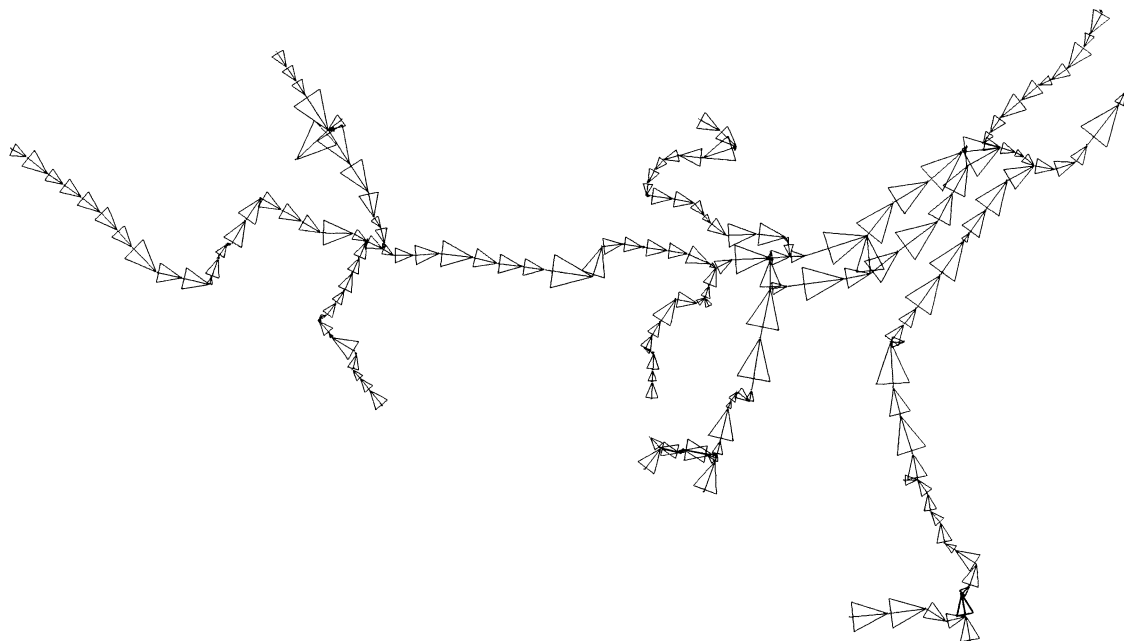


Abb. A.1-4: Grobnetz IMMENSTADT abh_400

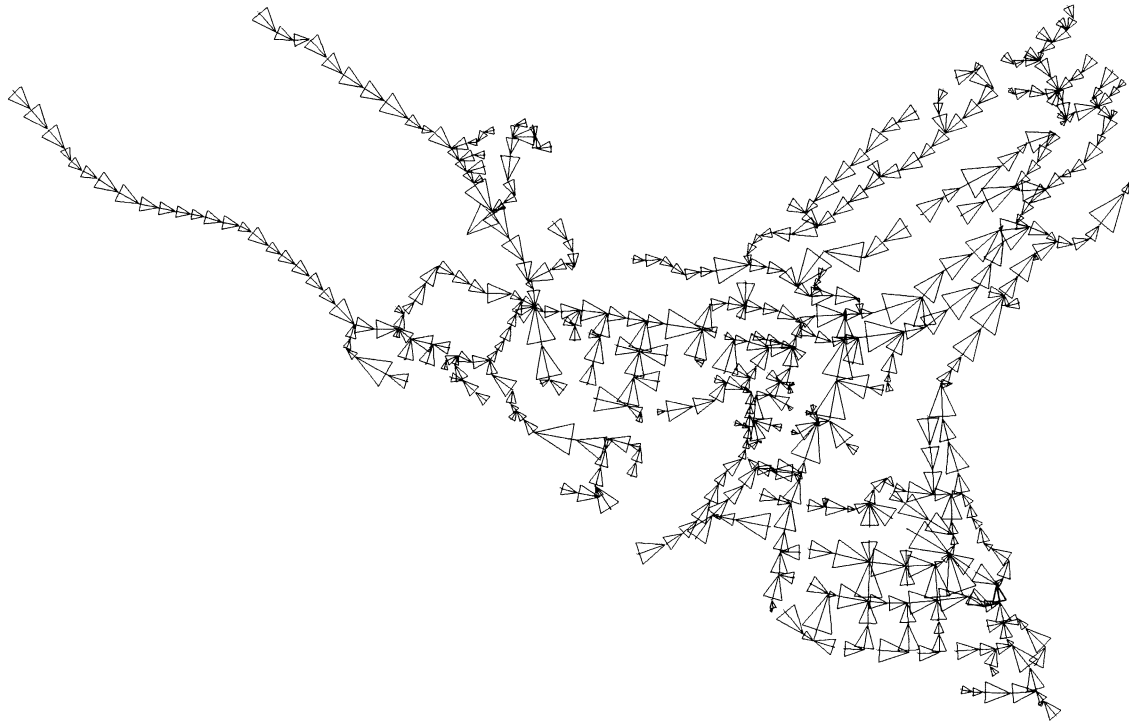


Abb. A.1-5: Grobnetz IMMENSTADT abl2_20

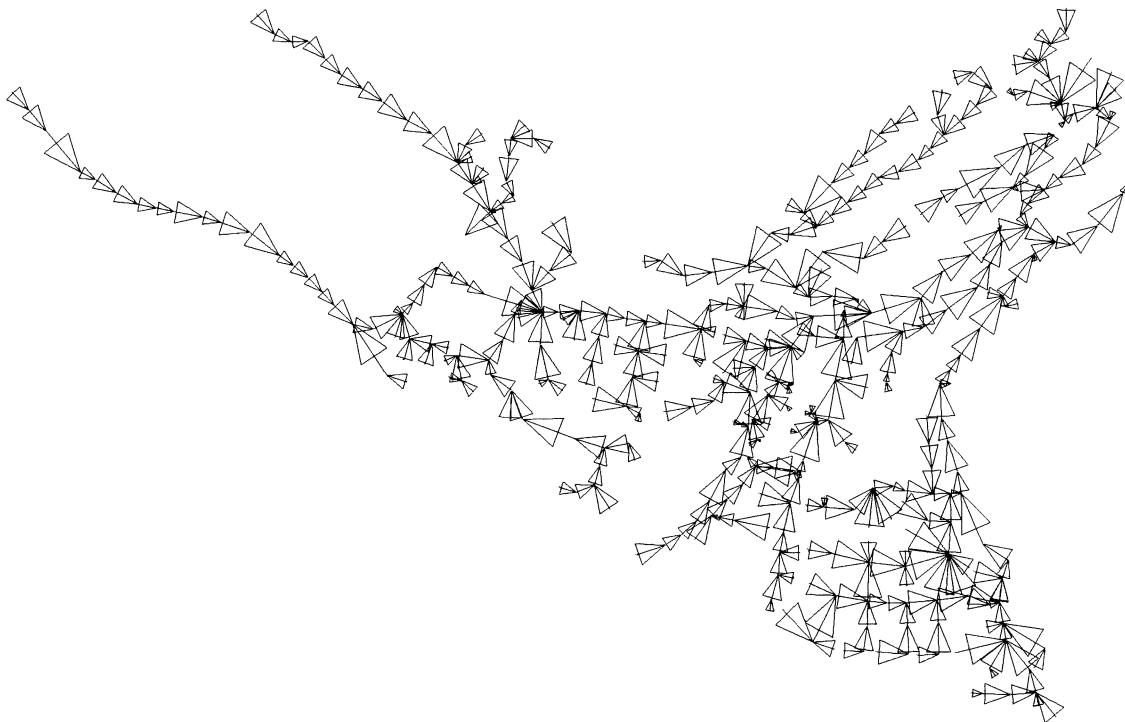


Abb. A.1-6: Grobnetz IMMENSTADT abl2_40

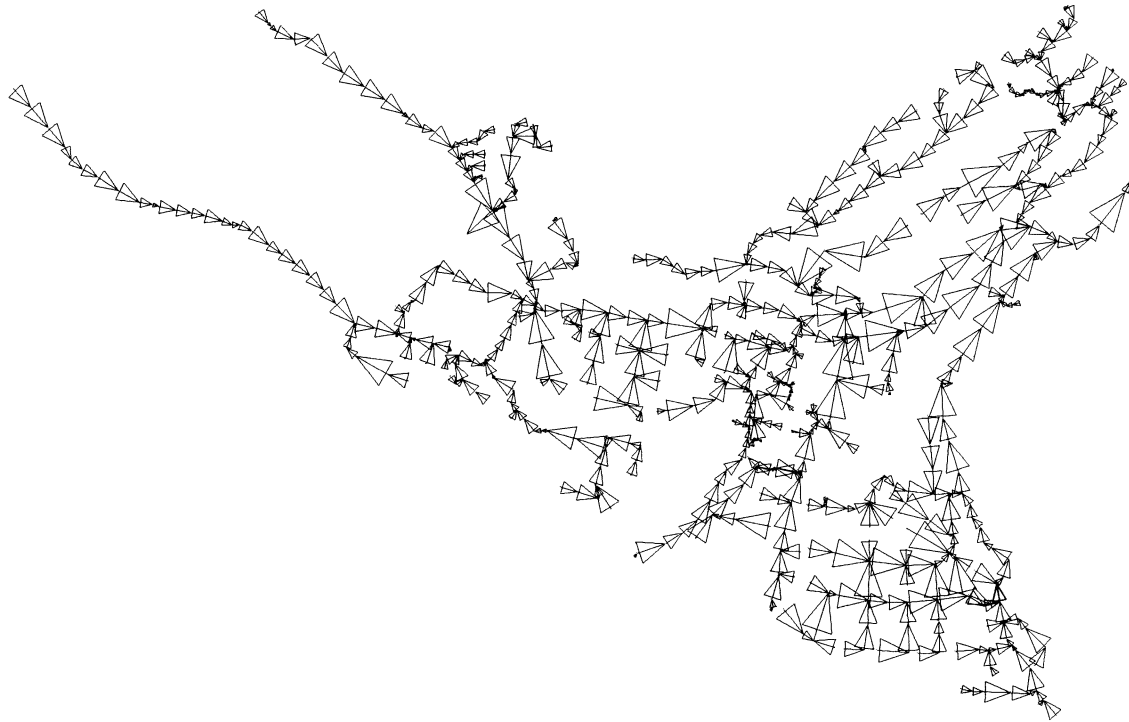


Abb. A.1-7: Grobnetz IMMENSTADT abl3_20

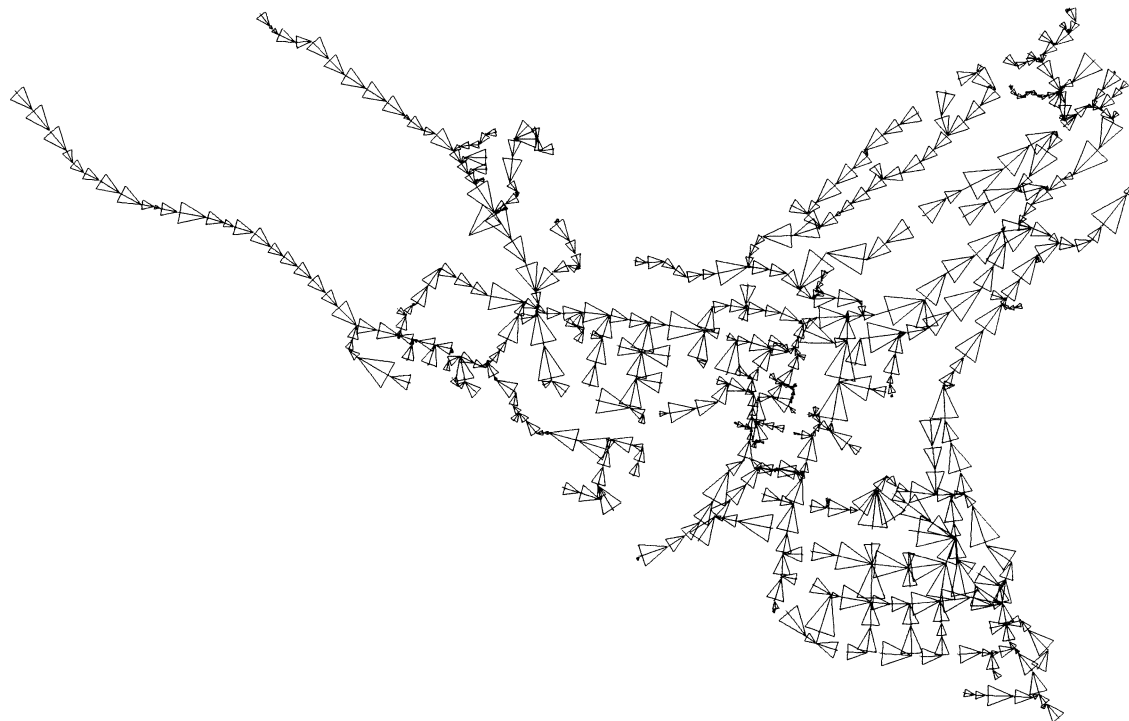


Abb. A.1-8: Grobnetz IMMENSTADT abl3_40

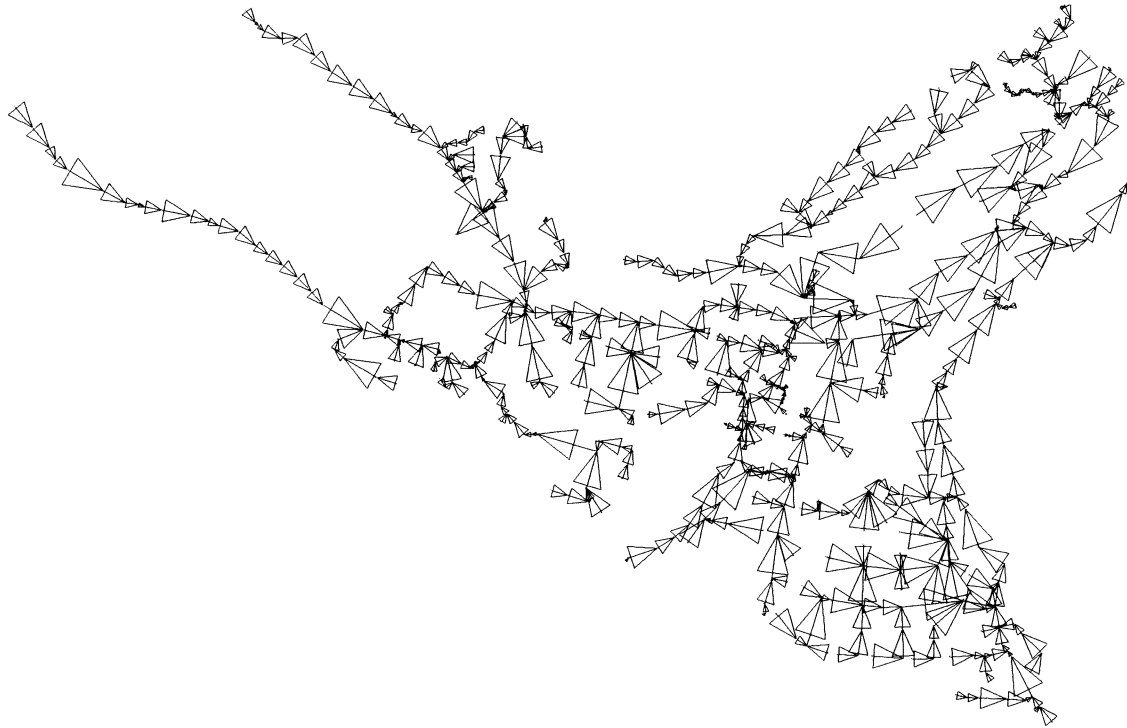


Abb. A.1-9: Grobnetz IMMENSTADT abl3_80

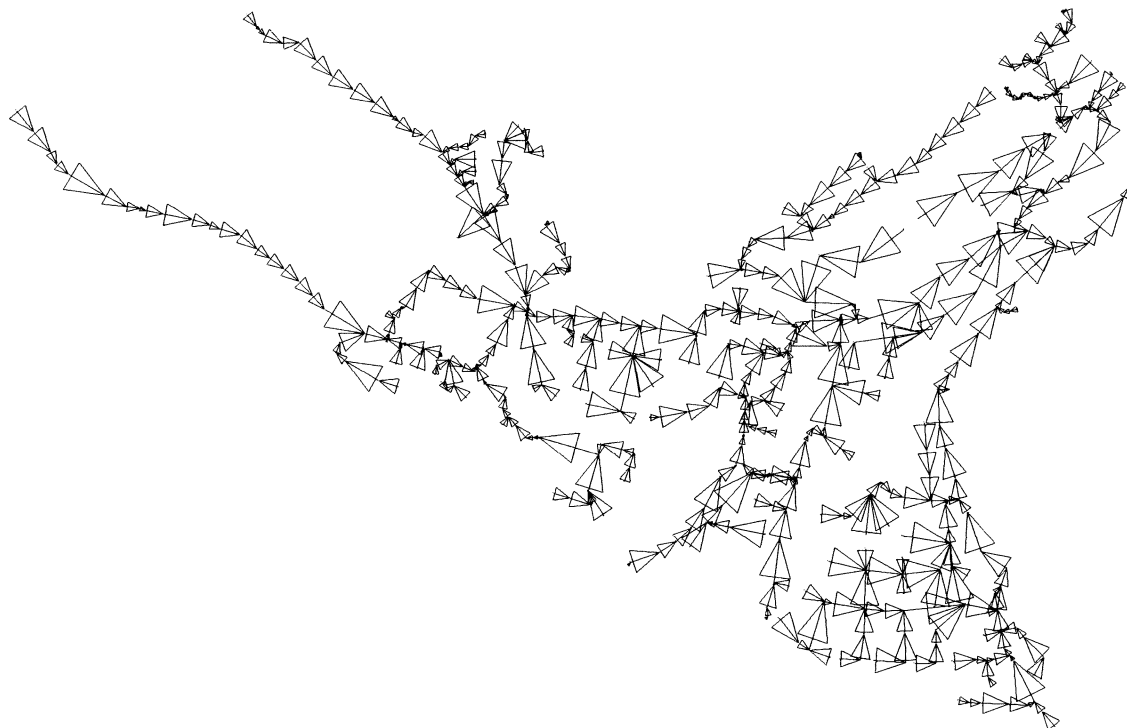


Abb. A.1-10: Grobnetz IMMENSTADT komb1

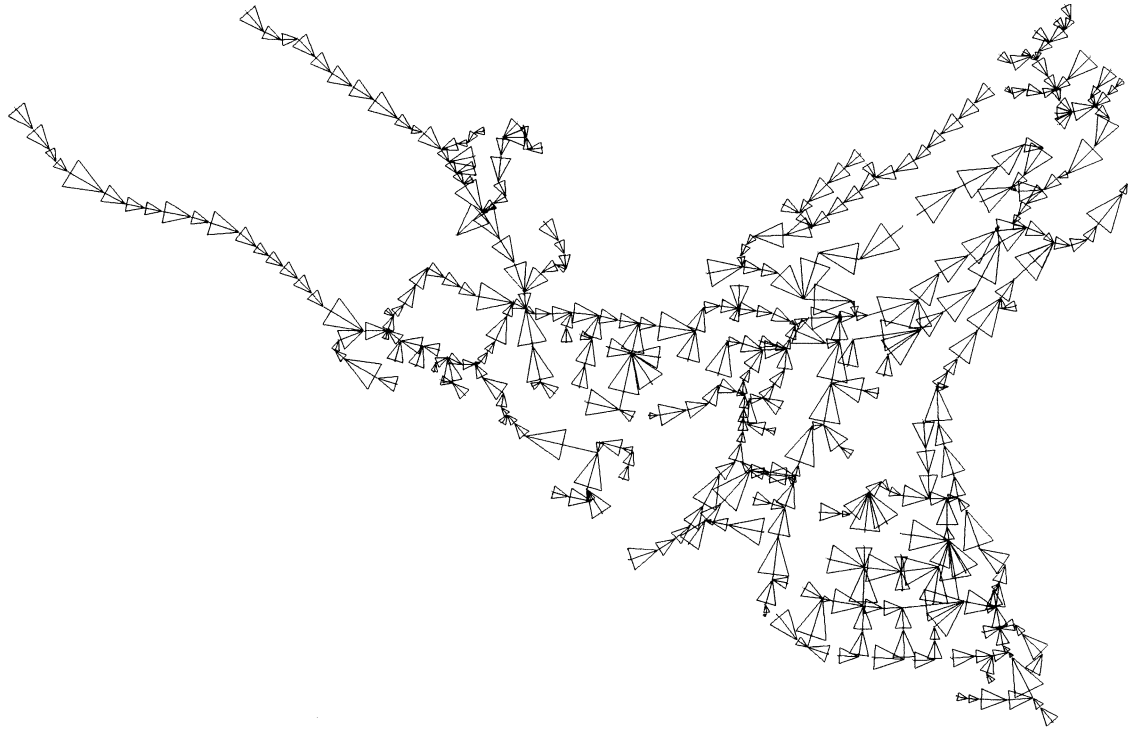


Abb. A.1-11: Grobnetz IMMENSTADT komb2



Abb. A.2-1: Feinnetz SONTHOFEN

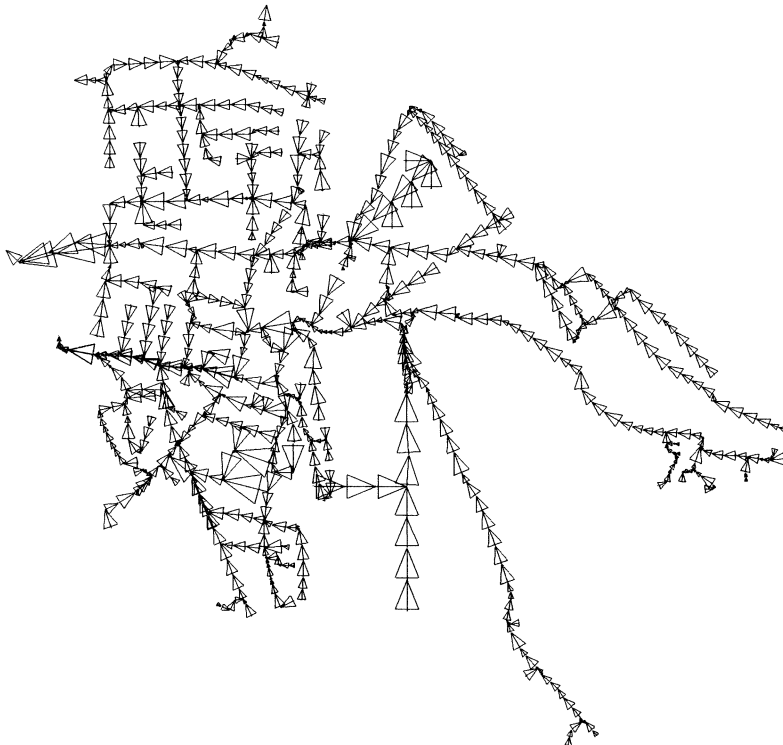


Abb. A.2-2: Grobnetz SONTHOFEN abh_200

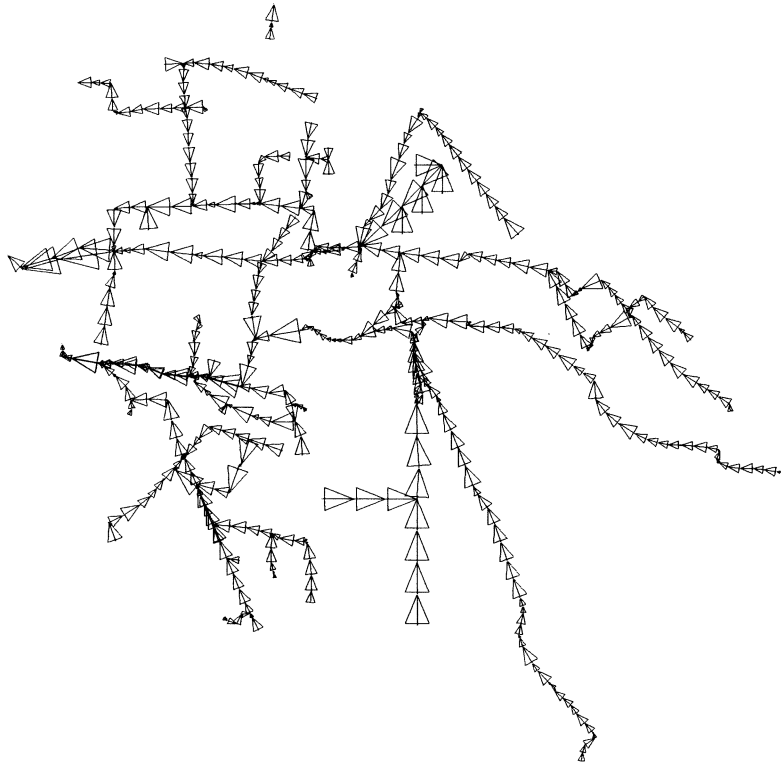


Abb. A.2-3: Grobnetz SONTHOFEN abh_300

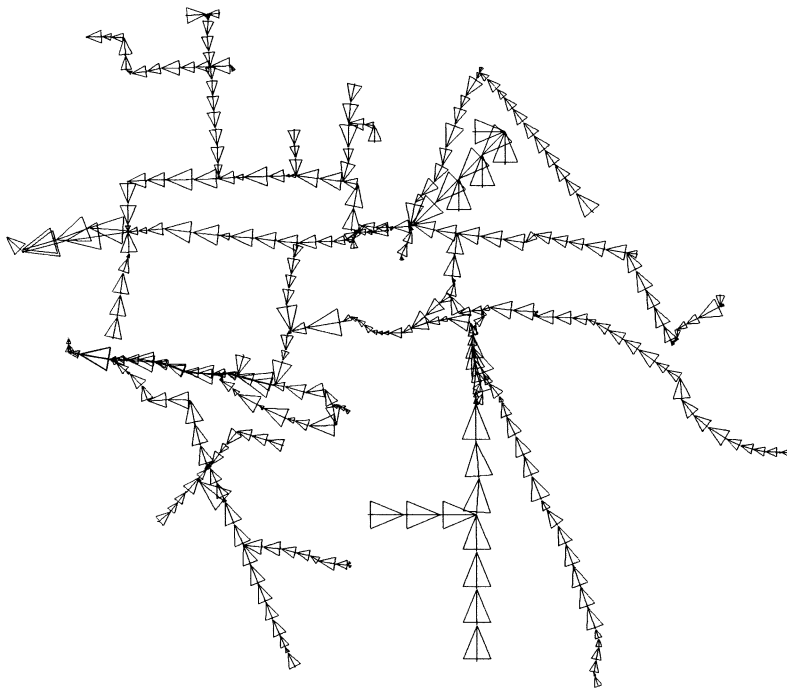


Abb. A.2-4: Grobnetz SONTHOFEN abh_400

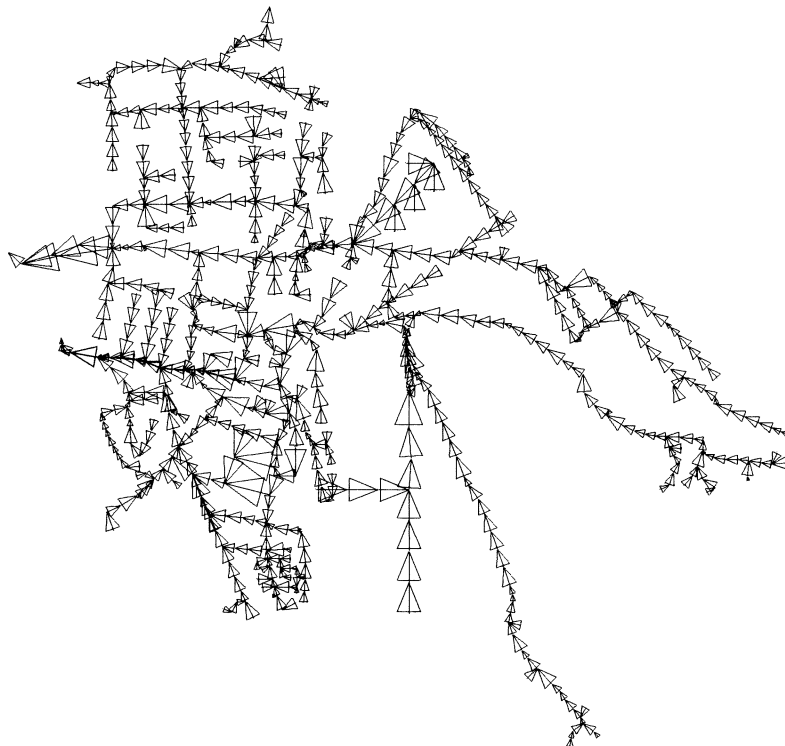


Abb. A.2-5: Grobnetz SONTHOFEN abl2_20

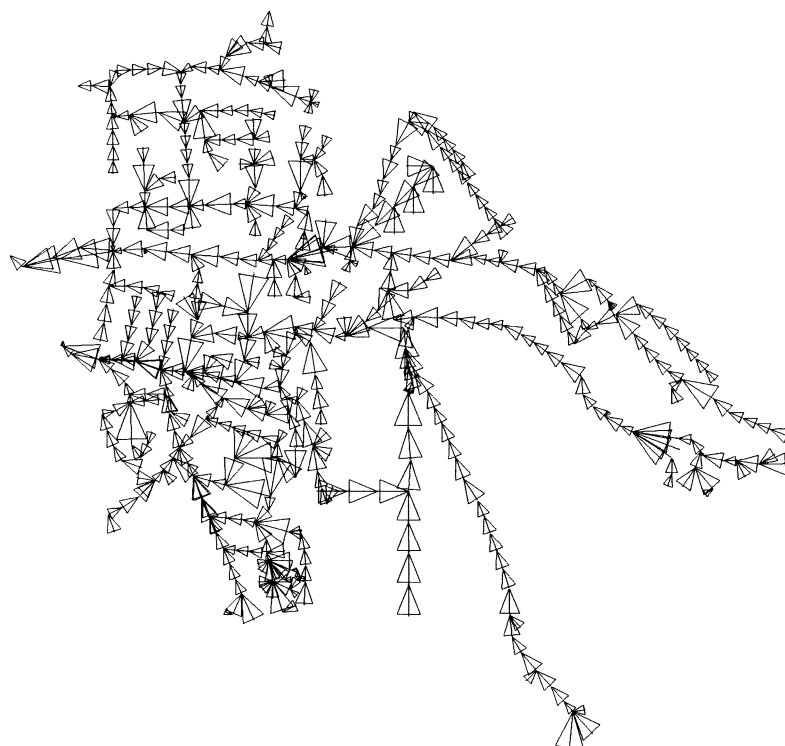


Abb. A.2-6: Grobnetz SONTHOFEN abl2_40



Abb. A.2-7: Grobnetz SONTHOFEN ab13_20



Abb. A.2-8: Grobnetz SONTHOFEN ab13_40



Abb. A.2-9: Grobnetz SONTHOFEN ab13_80

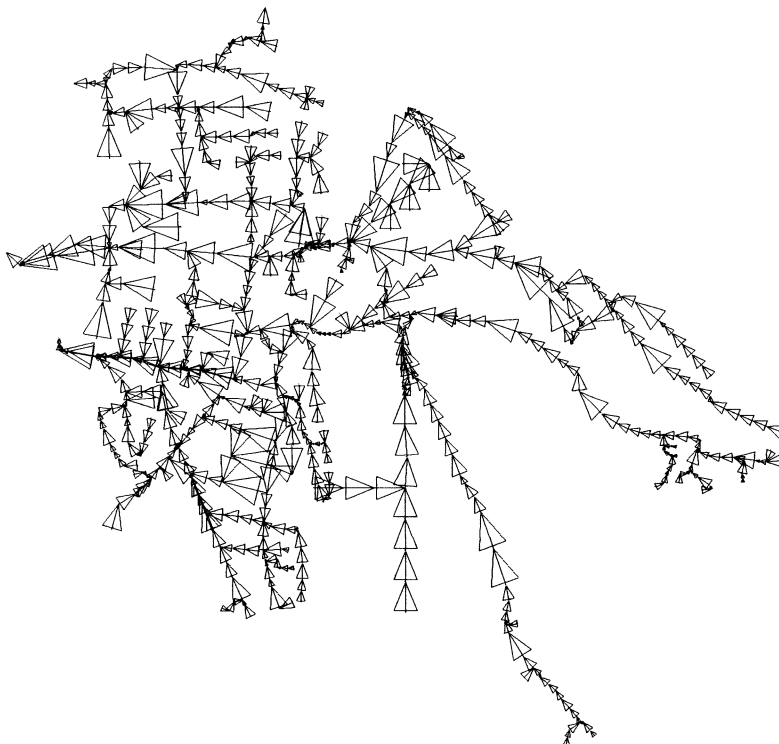


Abb. A.2-10: Grobnetz SONTHOFEN komb1

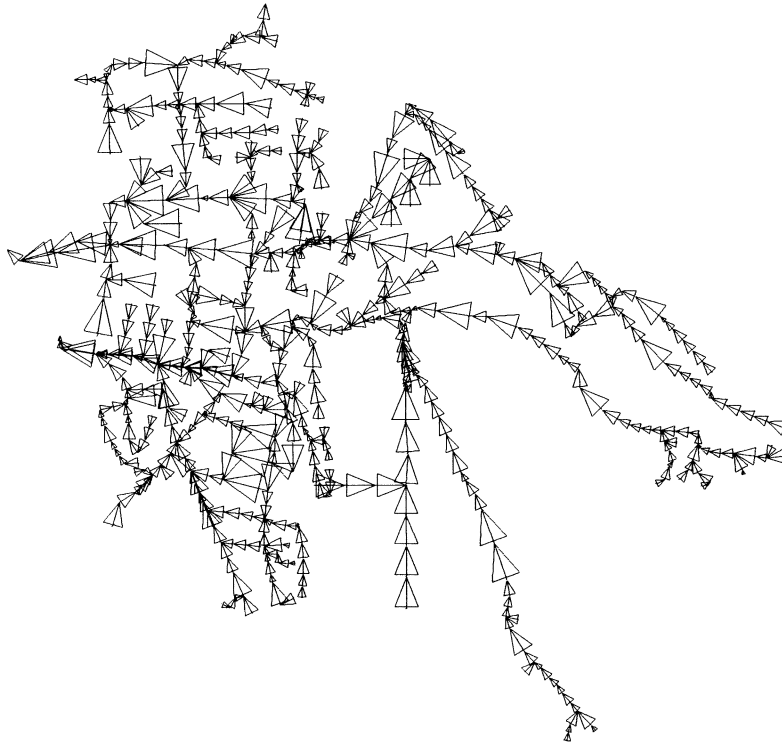


Abb. A.2-11: Grobnetz SONTHOFEN komb2



Abb. A.3-1: Feinnetz HAUPTSAMMLER



Abb. A.3-2: Grobnetz HAUPTSAMMLER abl2_40



Abb. A.3-3: Grobnetz Hauptsammler abl2_80

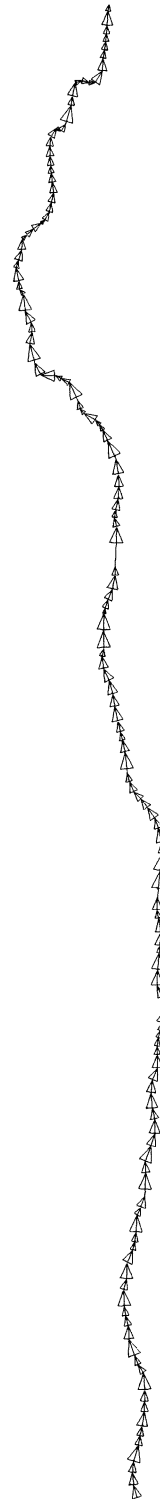


Abb. A.3-4: Grobnetz Hauptsammler abl2_100



Abb. A.3-5: Grobnetz Hauptsammler *abl3_80*



Abb. A.3-6: Grobnetz Hauptsammler abl3_100

Brutto- Niederschlagshöhe der Modellregen

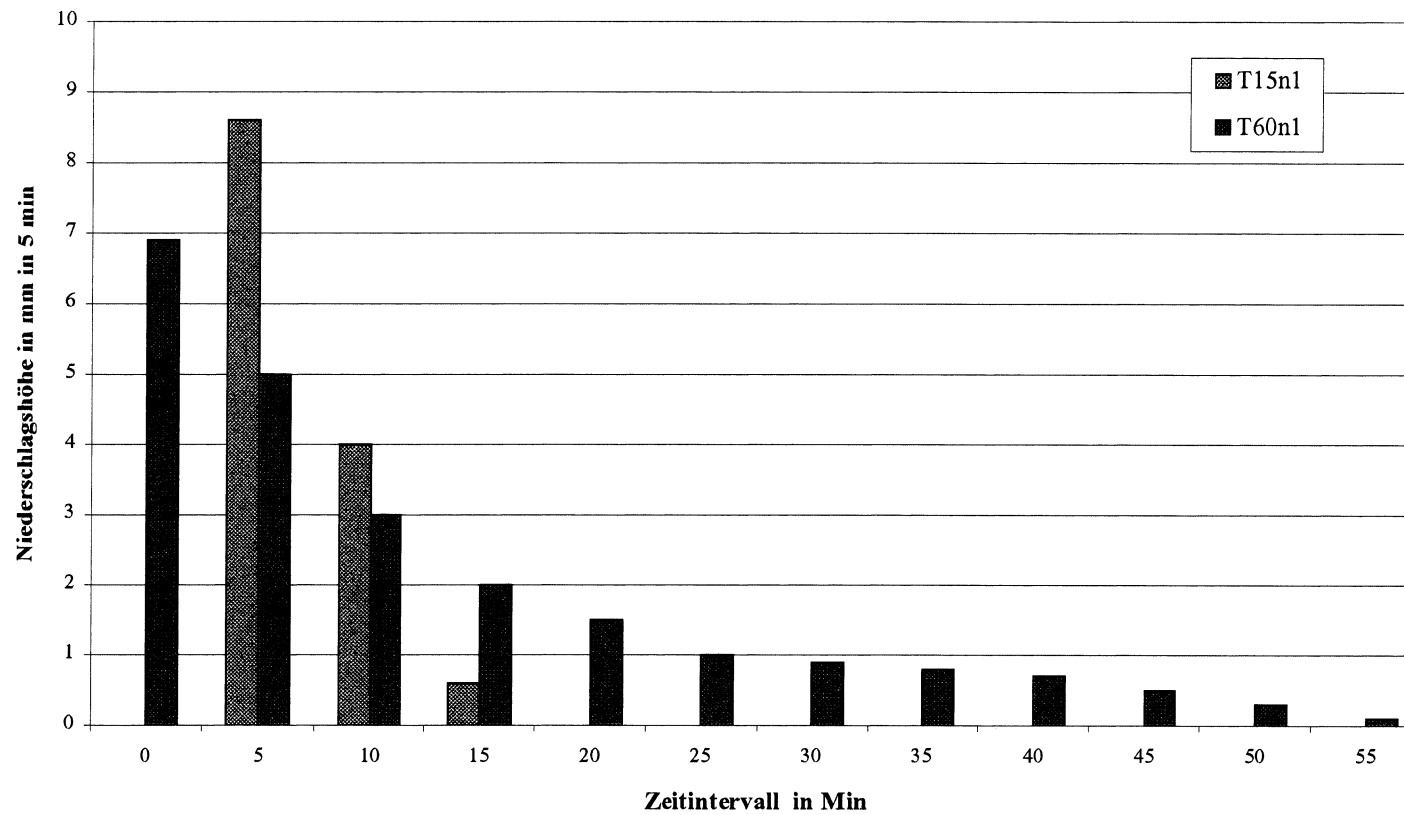


Abb. B-1: Niederschlagsverlauf der beiden Modellregen **t15n1** und **t60n1**

IMMENSTADT Systemauslaß Knoten IR13M3
Modellregen t60n1

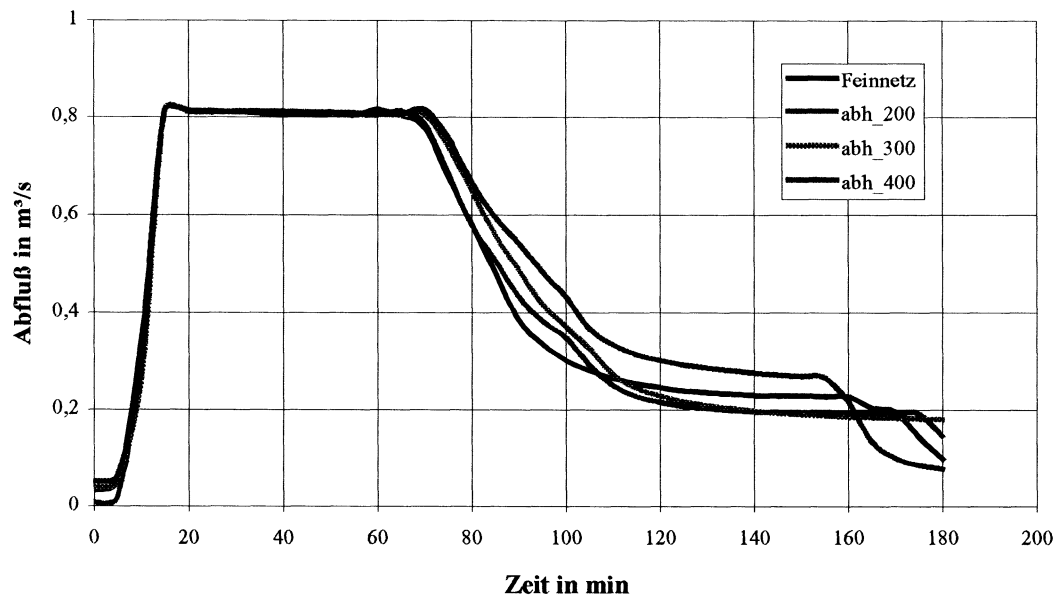


Abb. C.1-1: IMMENSTADT, Abflußganglinie Systemauslaß IR13M3, Ereignis **t60n1**, Methodeabhaeng

IMMENSTADT Systemauslaß Knoten IR13M3
Modellregen t15n1

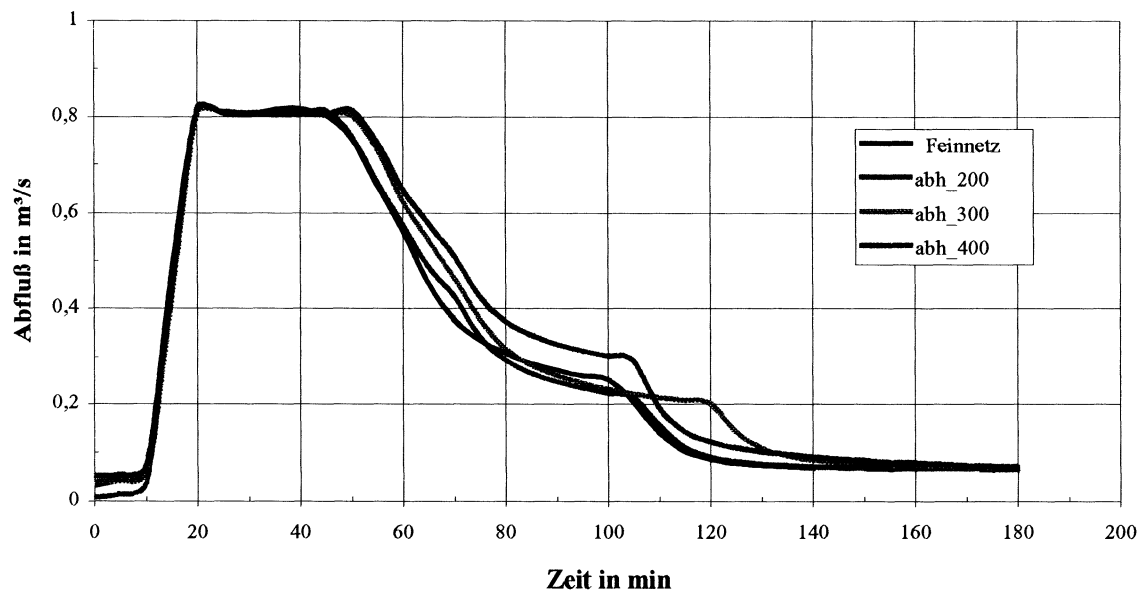


Abb. C.1-2: IMMENSTADT, Abflußganglinie Systemauslaß IR13M3, Ereignis **t15n1**, Methodeabhaeng

SONTHOFEN Systemauslaß Knoten S105
Modellregen t60n1

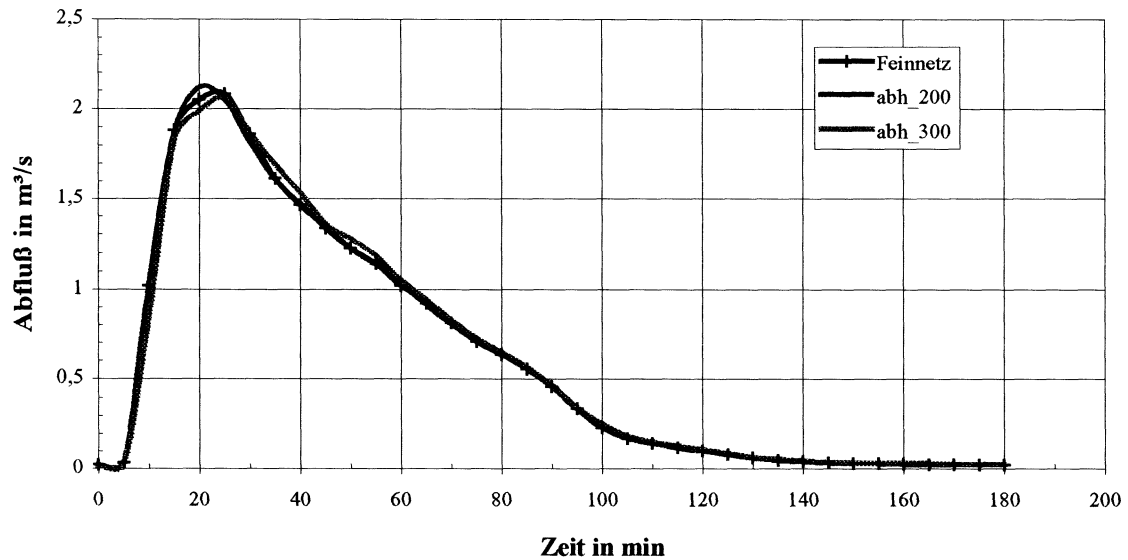


Abb. C.1-3 : SONTHOFEN, Abflußganglinie Systemauslaß S105, Ereignis t60n1, Methode abhaeng

SONTHOFEN Systemauslaß Knoten S105
Modellregen t15n1

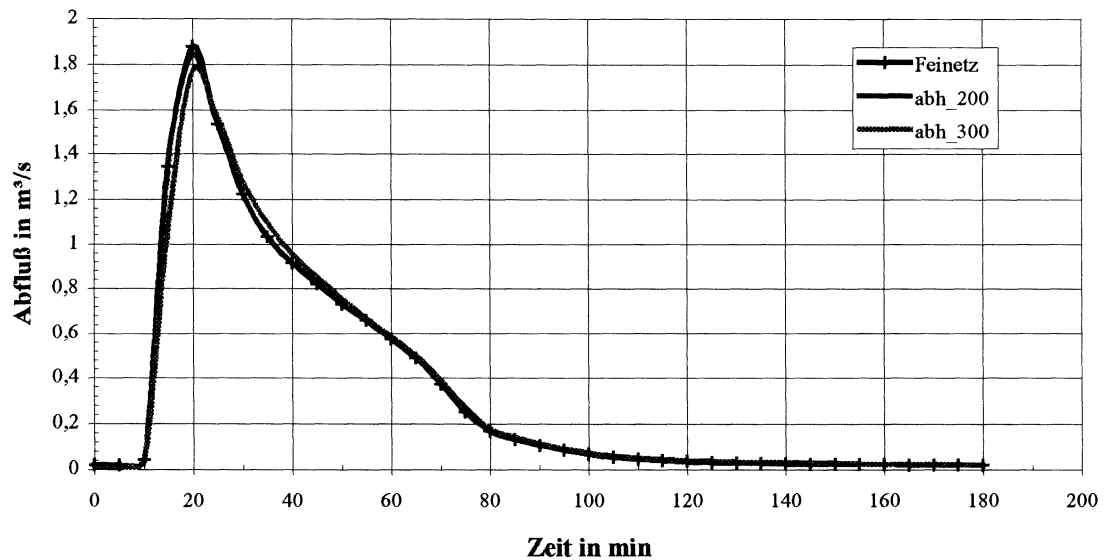


Abb. C.1-4: SONTHOFEN, Abflußganglinie Systemauslaß S105, Ereignis t15n1, Methode abhaeng

SONTHOFEN Systemauslaß SRUEB2.2
Modellregen t60n1

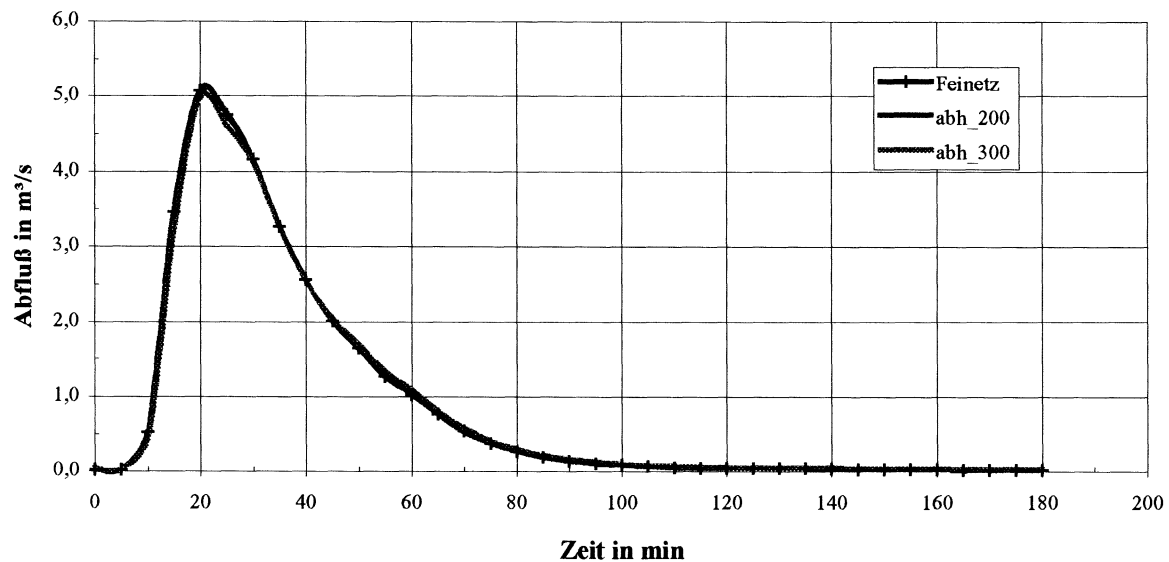


Abb. C.1-5: SONTHOFEN, Abflußganglinie Systemauslaß SRUEB2.2, Ereignis t60n1, Methodeabhaeng

SONTHOFEN Systemauslaß Knoten SRUEB2.2
Modellregen t15n1

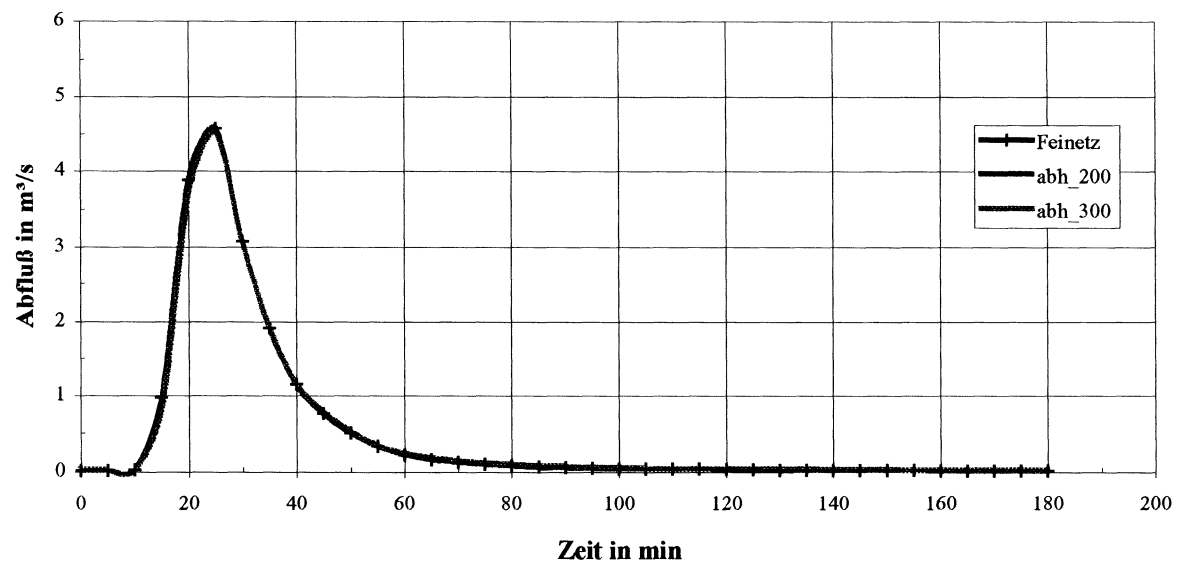


Abb. C.1-6: SONTHOFEN, Abflußganglinie Systemauslaß SRUEB2.2, Ereignis t15n1, Methodeabhaeng

SONTHOFEN Systemauslaß Knoten S2680
Modellregen t60n1

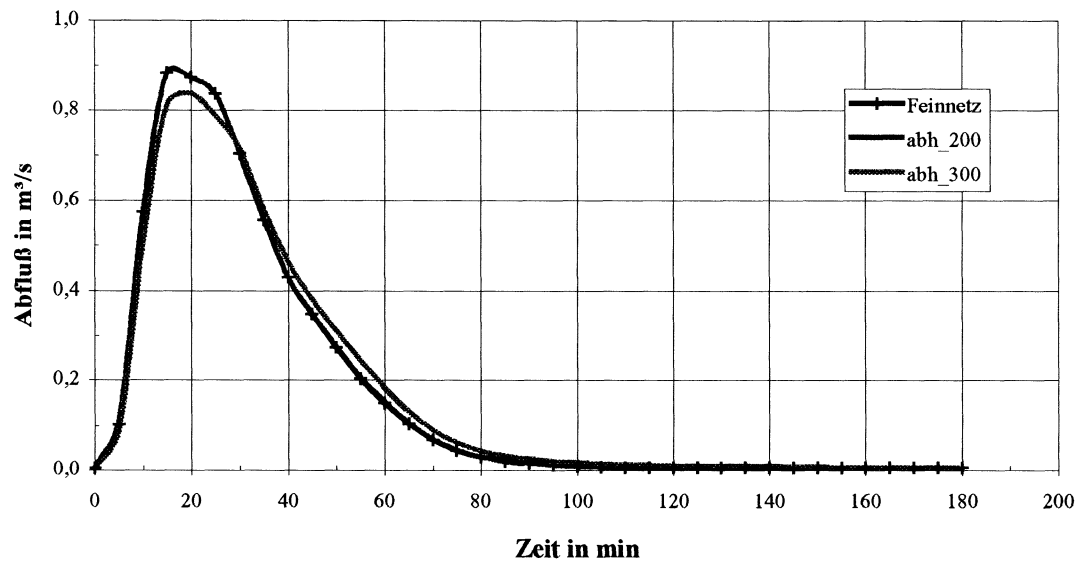


Abb. C.1-7: SONTHOFEN, Abflußganglinie Systemauslaß S2680, Ereignis t60n1, Methodeabhaeng

SONTHOFEN Systemauslaß Knoten S2680
Modellregen t15n1

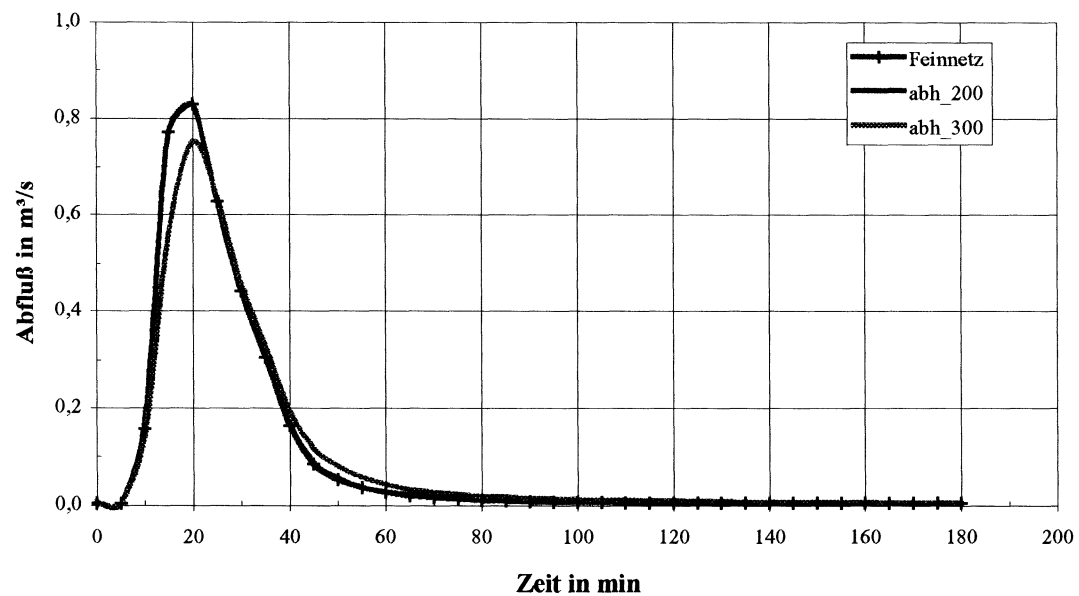


Abb. C.1-8 : SONTHOFEN, Abflußganglinie Systemauslaß S2680, Ereignis t15n1, Methodeabhaeng

SONTHOFEN Systemauslaß S951
Modellregen t60n1

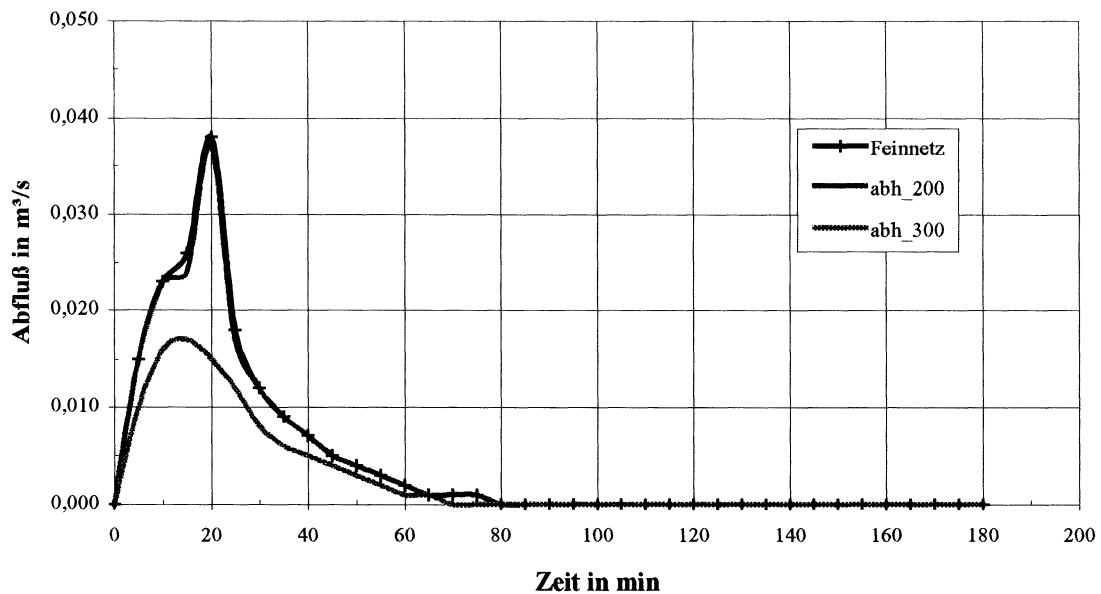


Abb. C.1-9: SONTHOFEN, Abflußganglinie Systemauslaß S951, Ereignis t60n1, Methodeabhaeng

SONTHOFEN Systemauslaß Knoten S951
Modellregen t15n1

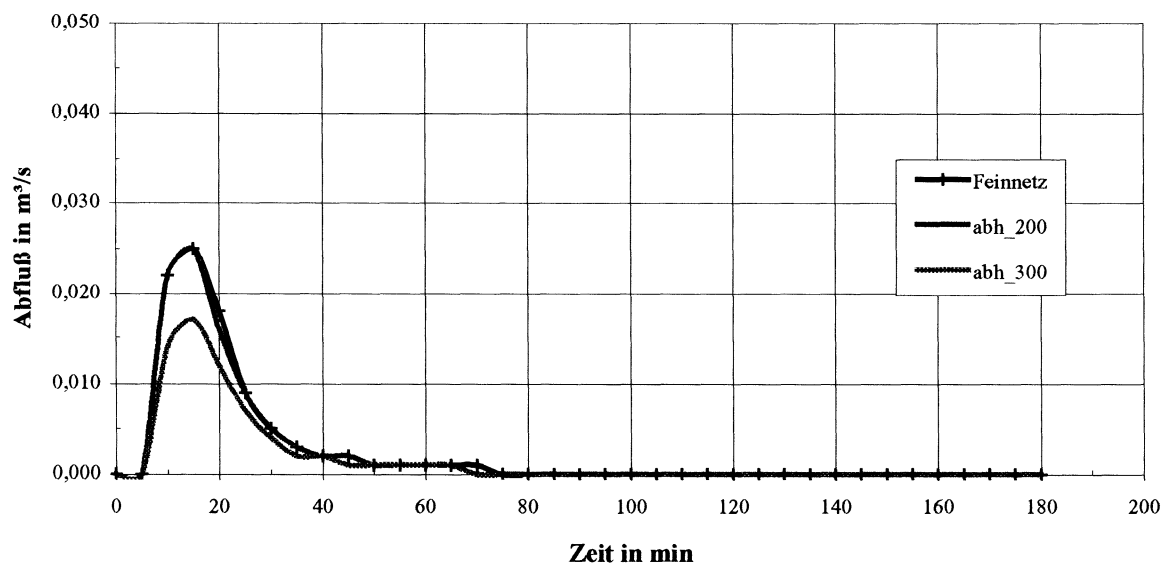


Abb. C.1-10: SONTHOFEN, Abflußganglinie Systemauslaß S951, Ereignis t15n1, Methodeabhaeng

IMMENSTADT Entlastung Knoten IM24A
Modellregen t60n1

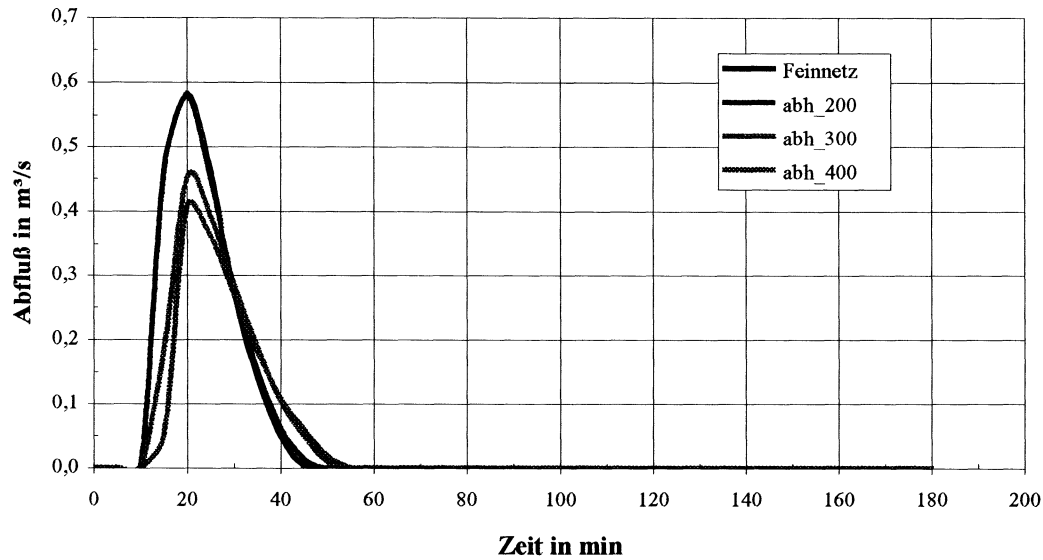


Abb. C.1-11: IMMENSTADT, Entlastungsganglinie am Knoten IM24A, Ereignis t60n1, Methode abhaeng

IMMENSTADT Entlastung Knoten IM24a
Modellregen t15n1

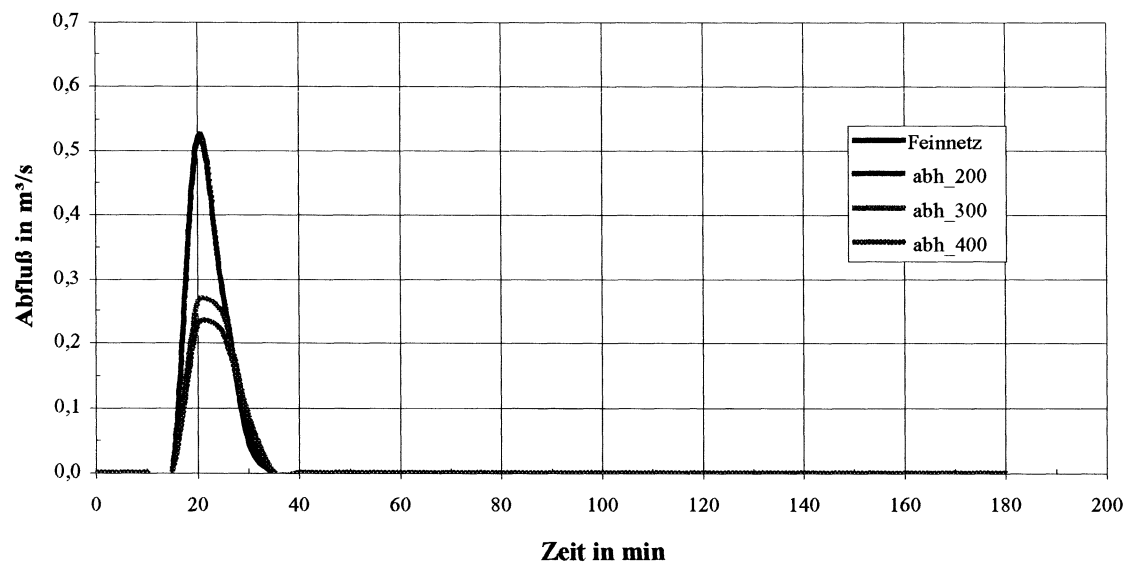


Abb. C.1-12: IMMENSTASDT, Entlastungsganglinie am Knoten IM24A, Ereignis t15n1, Methode abhaeng

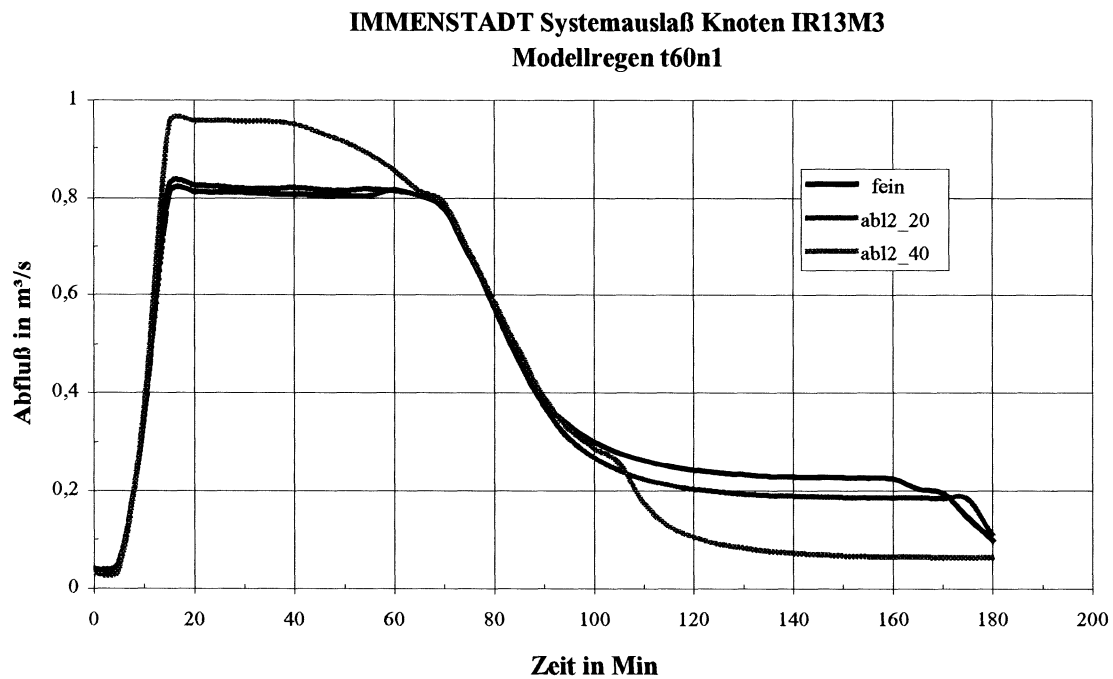


Abb. C.2-1: IMMENSTADT, Abflußganglinie Systemauslaß IR13M3, Ereignis t60n1, Methode ablang, Modus 2

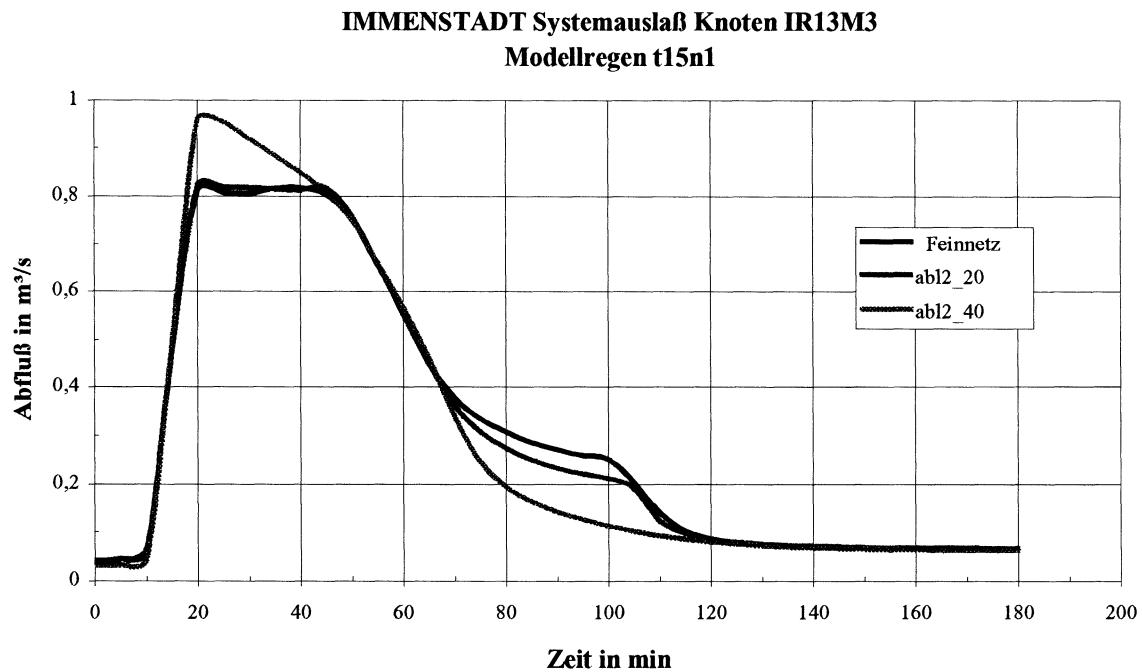


Abb. C.2-2: IMMENSTADT, Abflußganglinie Systemauslaß IR13M3, Ereignis t15n1, Methode ablang, Modus 2

SONTHOFEN Systemauslaß Knoten S105
Modellregen t60n1

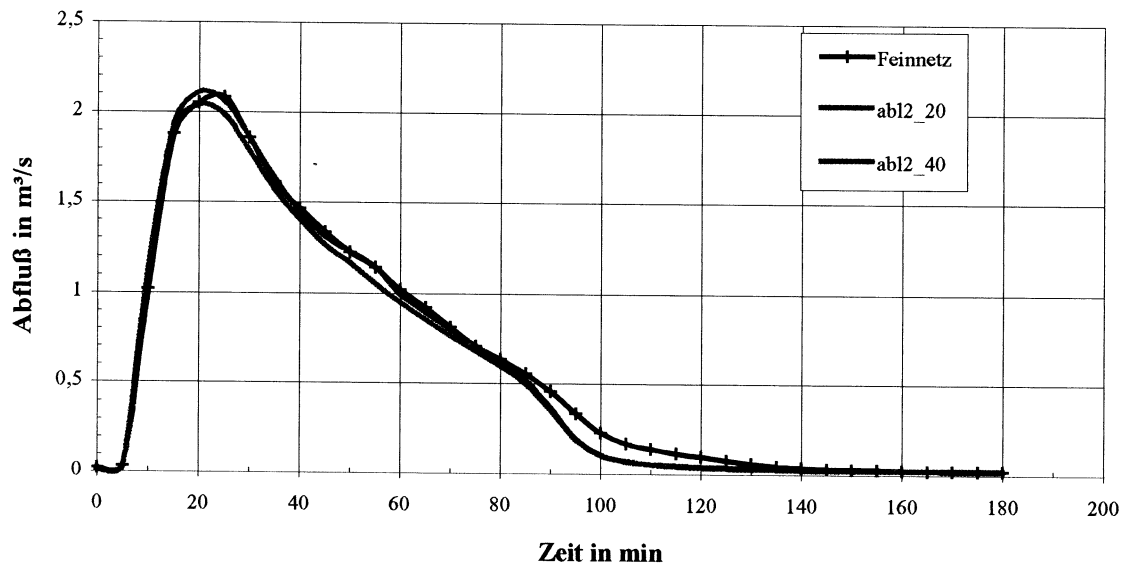


Abb. C.2-3: SONTHOFEN, Abflußganglinie Systemauslaß S105, Ereignis t60n1, Meth.ablang Modus 2

SONTHOFEN Systemauslaß Knoten S105
Modellregen t15n1

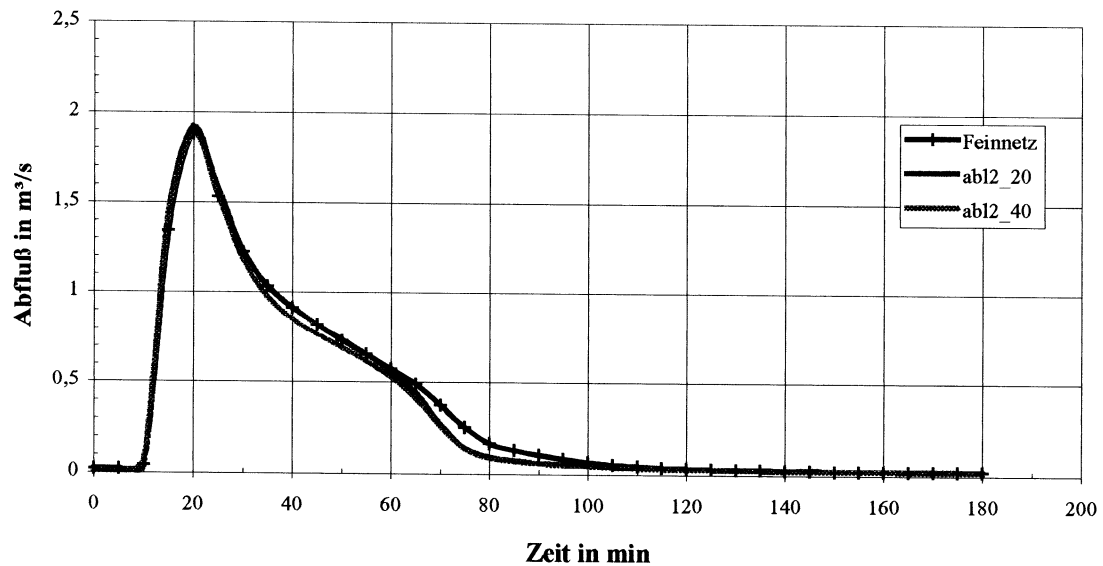


Abb. C.2-4: SONTHOFEN, Abflußganglinie Systemauslaß S105, Ereignis t15n1, Methode ablang Modus 2

SONTHOFEN Systemauslaß SRUEB2.2
Modellregen t60n1

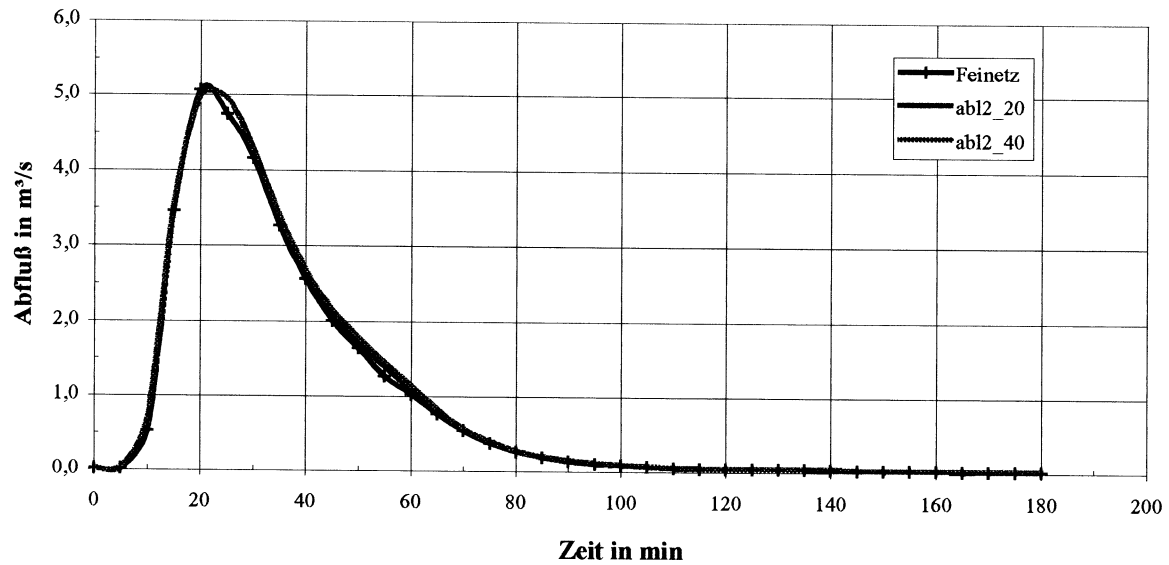


Abb. C.2-5: SONTHOFEN, Abflußganglinie Systemauslaß SRUEB2.2, Ereignis t60n1, Methode ablang Modus 2

SONTHOFEN Systemauslaß Knoten SRUEB2.2
Modellregen t15n1

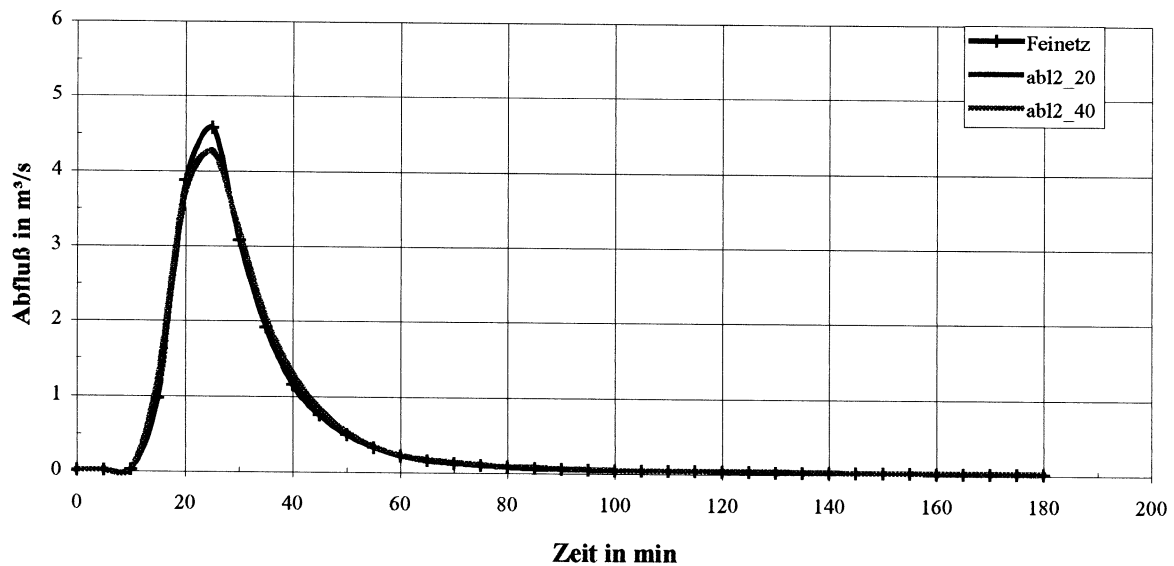


Abb. C.2-6: SONTHOFEN, Abflußganglinie Systemauslaß SRUEB2.2, Ereignis t15n1, Methode ablang Modus 2

SONTHOFEN Systemauslaß Knoten S2680
Modellregen t60n1

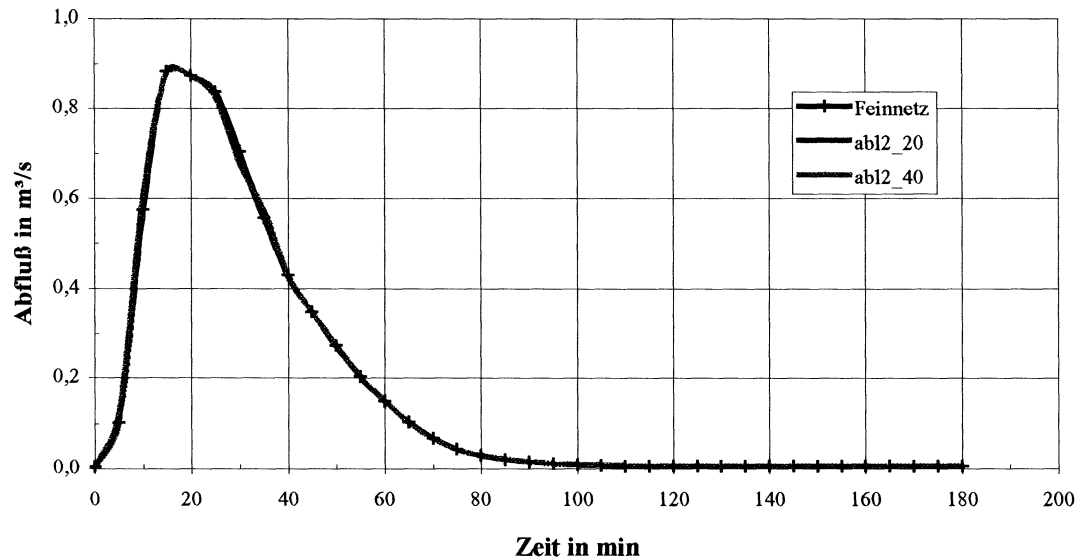


Abb. C.2-7: SONTHOFEN, Abflußganglinie Systemauslaß S2680, Ereignis t60n1, Methode ablang Modus 2

SONTHOFEN Systemauslaß Knoten S2680
Modellregen t15n1

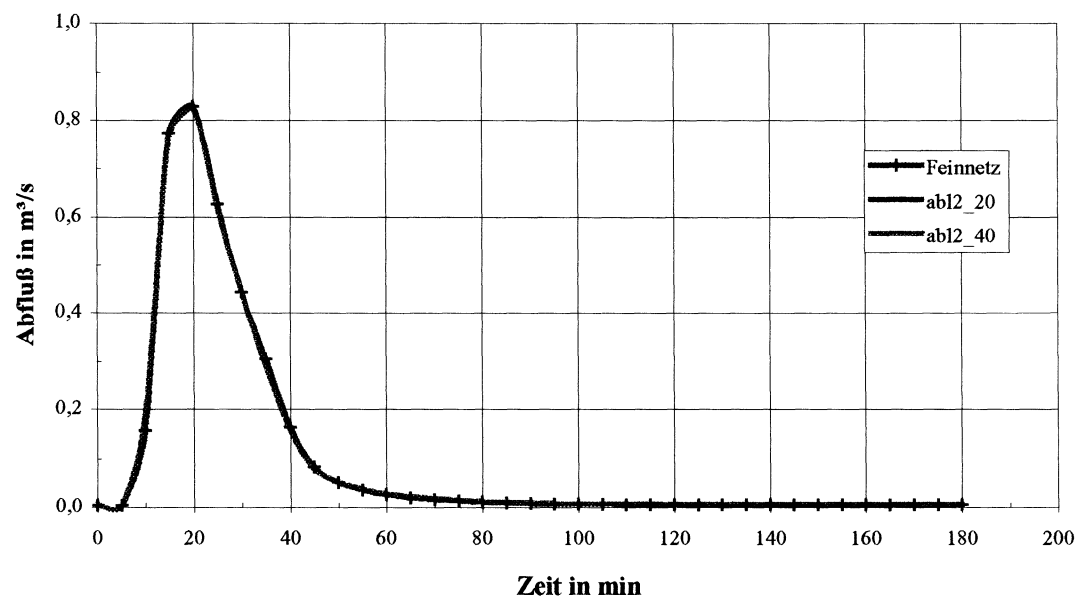


Abb. C.2-8: SONTHOFEN, Abflußganglinie Systemauslaß S2680, Ereignis t15n1, Methode ablang Modus 2

SONTHOFEN Systemauslaß S951
Modellregen t60n1

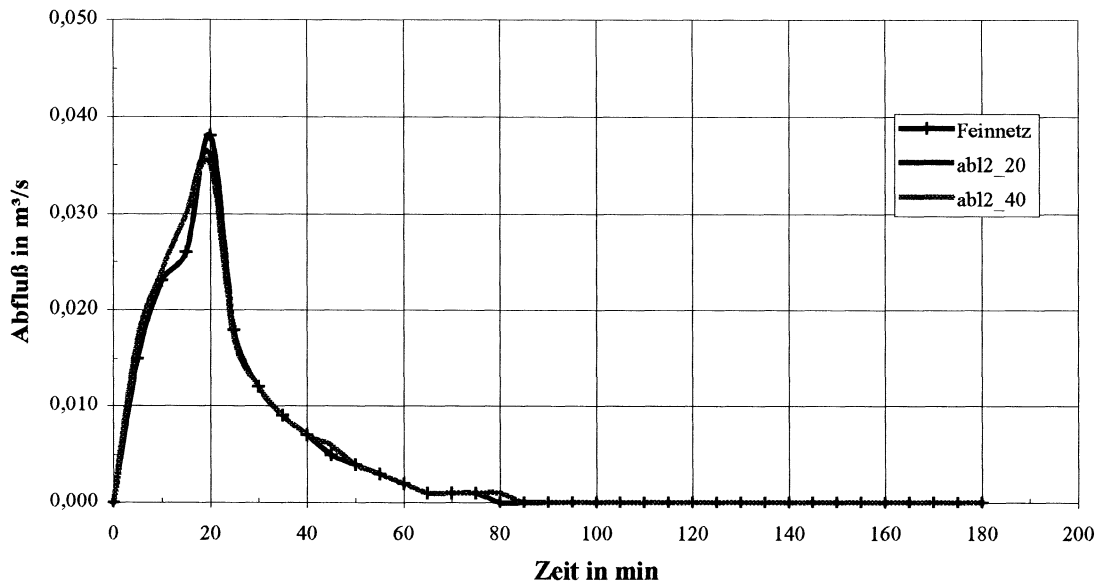


Abb. C.2-9: SONTHOFEN, Abflußganglinie Systemauslaß S951, Ereignis t60n1, Methode ablang Modus 2

SONTHOFEN Systemauslaß Knoten S951
Modellregen t15n1

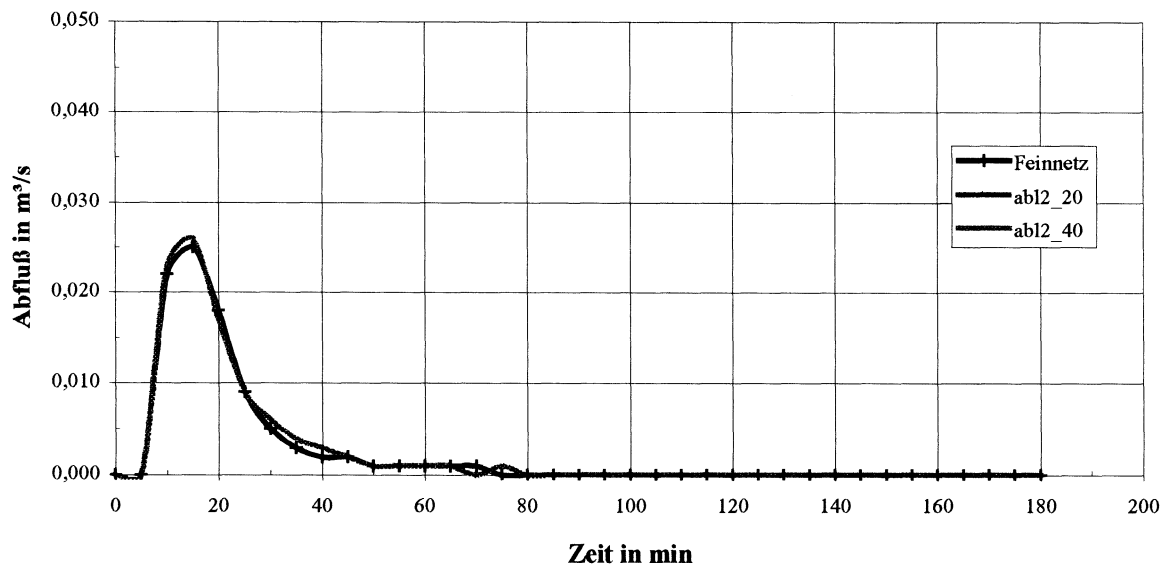


Abb. C.2-10: SONTHOFEN, Abflußganglinie Systemauslaß S951, Ereignis t15n1, Methode ablang Modus 2

Hauptsammler Systemauslaß Knoten HH293
Modellregen t60n1

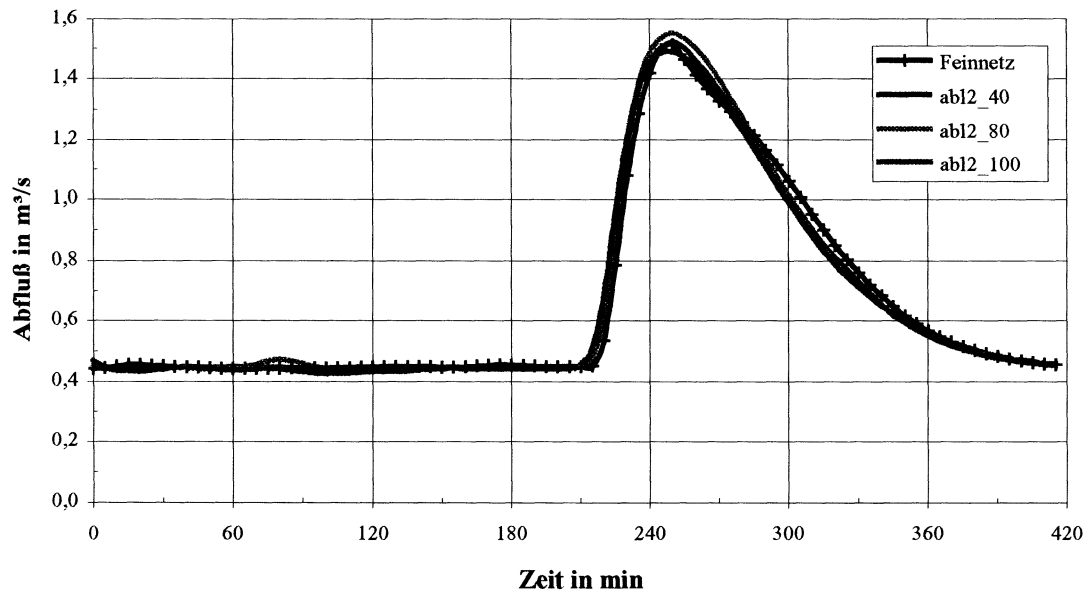


Abb. C.2-11: Verbandshauptsammler, Abflußganglinie Systemauslaß HHS293, Ereignis t60n1, Methode ablang, Modus 2

Hauptsammler Systemauslaß Knoten HHS93
Modellregen t15n1

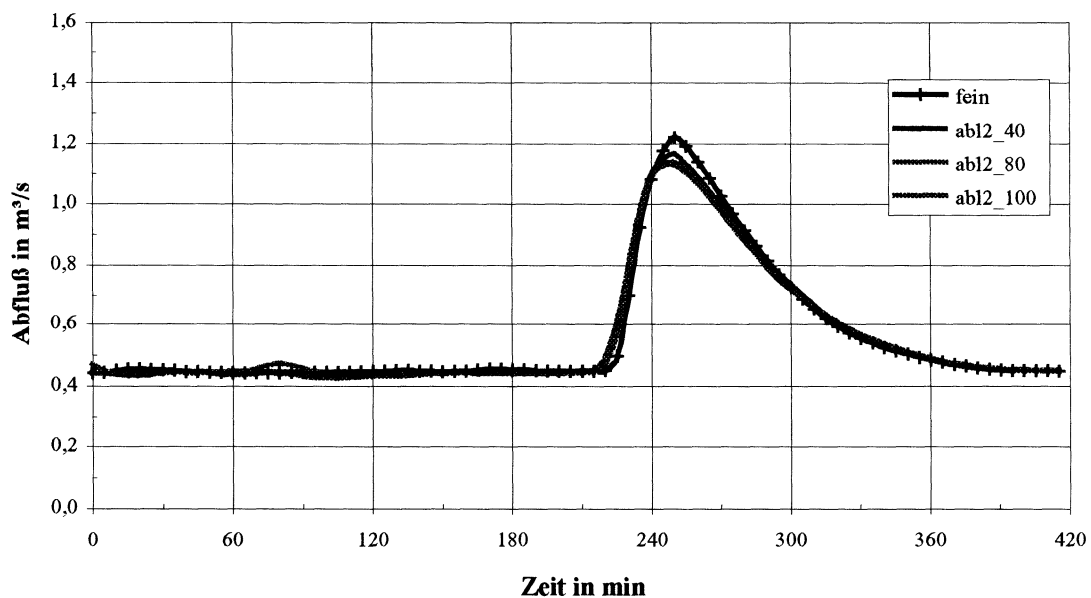


Abb. C.2-12: Verbandshauptsammler, Abflußganglinie Systemauslaß HHS293, Ereignis t15n1, Methode ablang, Modus 2

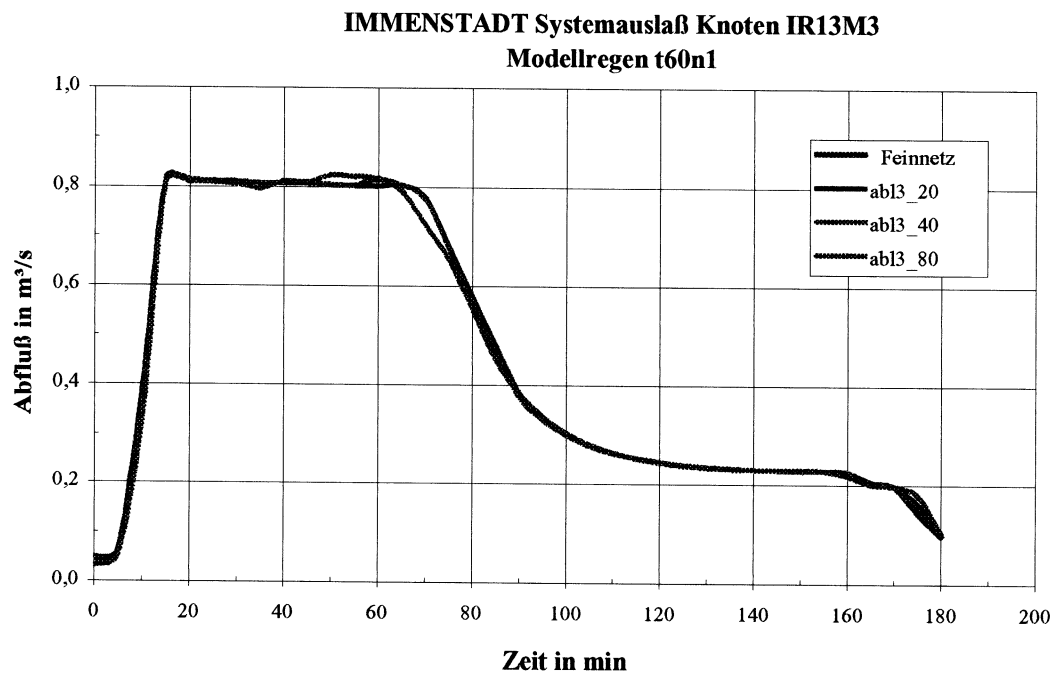


Abb. C.3-1: IMMENSTADT, Abflußganglinie Systemauslaß IR13M3, Ereignis **t60n1**, Methode `ablang`, Modus 3

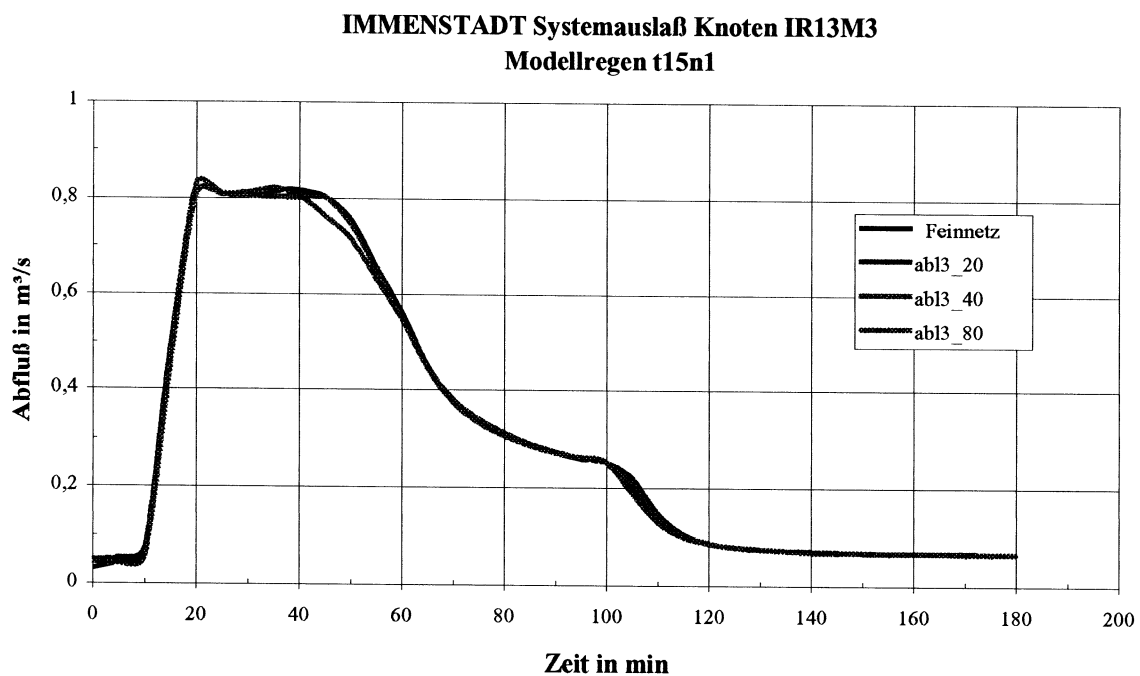


Abb. C.3-2: IMMENSTADT, Abflußganglinie Systemauslaß IR13M3, Ereignis **t15n1**, Methode `ablang`, Modus 3

SONTHOFEN Systemauslaß Knoten S105
Modellregen t60n1

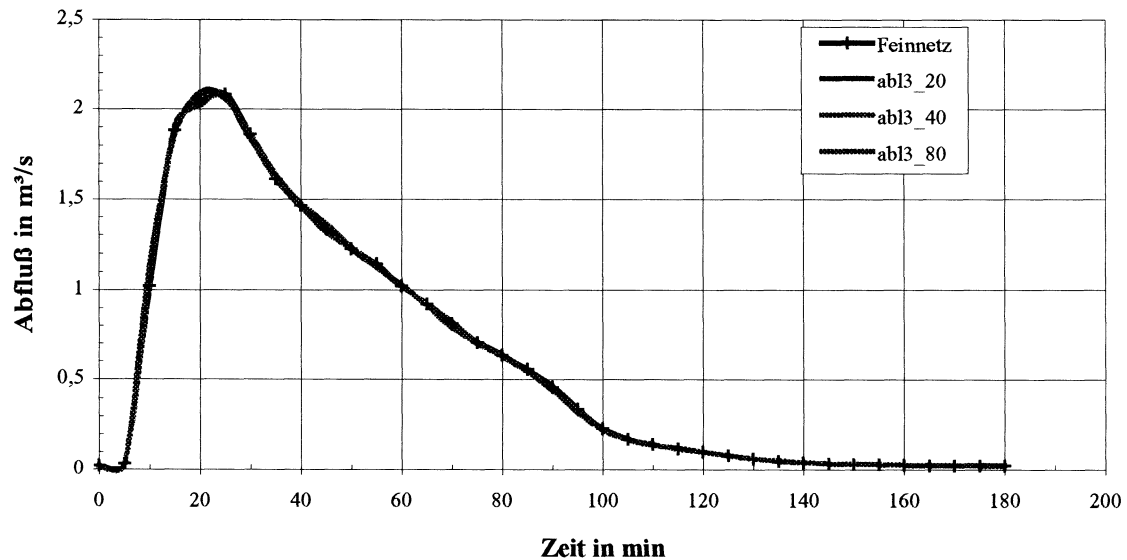


Abb. C.3-3: SONTHOFEN, Abflußganglinie Systemauslaß S105, Ereignis t60n1, Methode ablang Modus 3

SONTHOFEN Systemauslaß Knoten S105
Modellregen t15n1

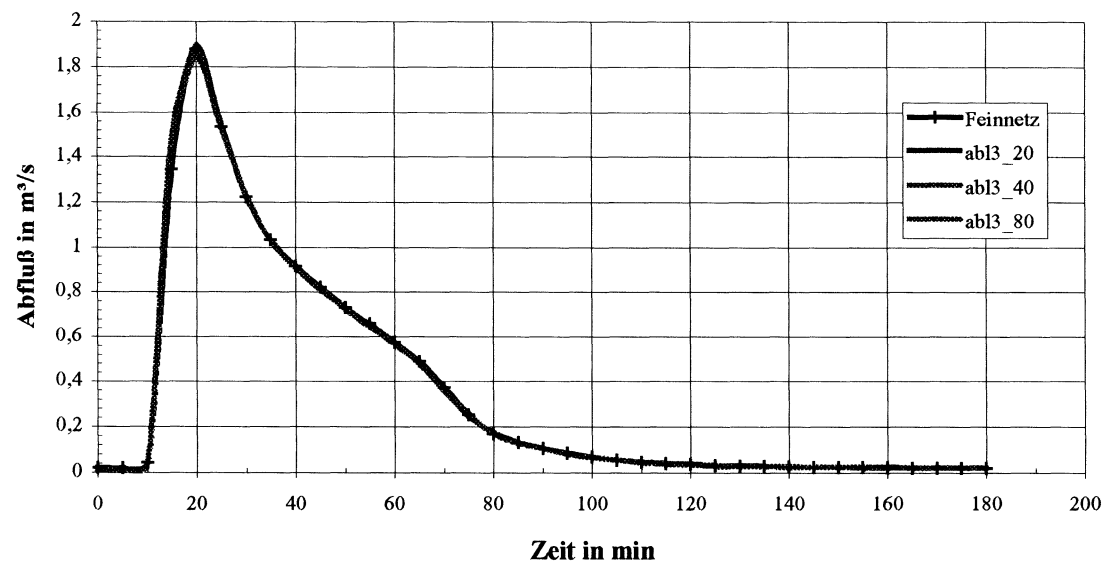


Abb. C.3-4: SONTHOFEN, Abflußganglinie Systemauslaß S105, Ereignis t15n1, Methode ablang Modus 3

SONTHOFEN Systemauslaß SRUEB2.2
Modellregen t60n1

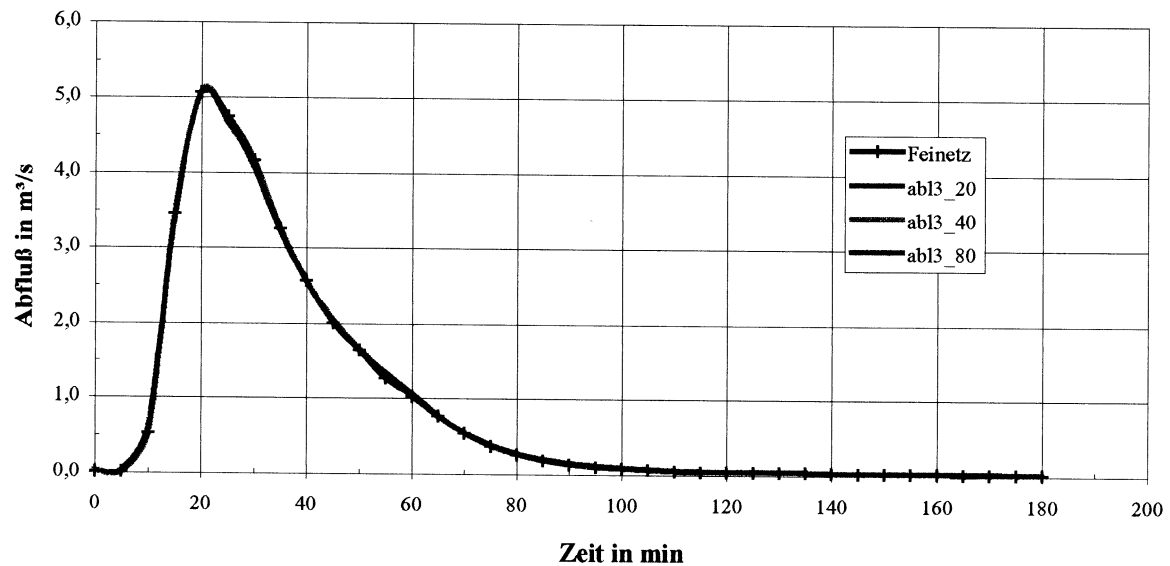


Abb. C.3-5: SONTHOFEN, Abflußganglinie Systemauslaß SRUEB2.2, Ereignis t60n1, Methode ablang Modus 3

SONTHOFEN Systemauslaß Knoten SRUEB2.2
Modellregen t15n1

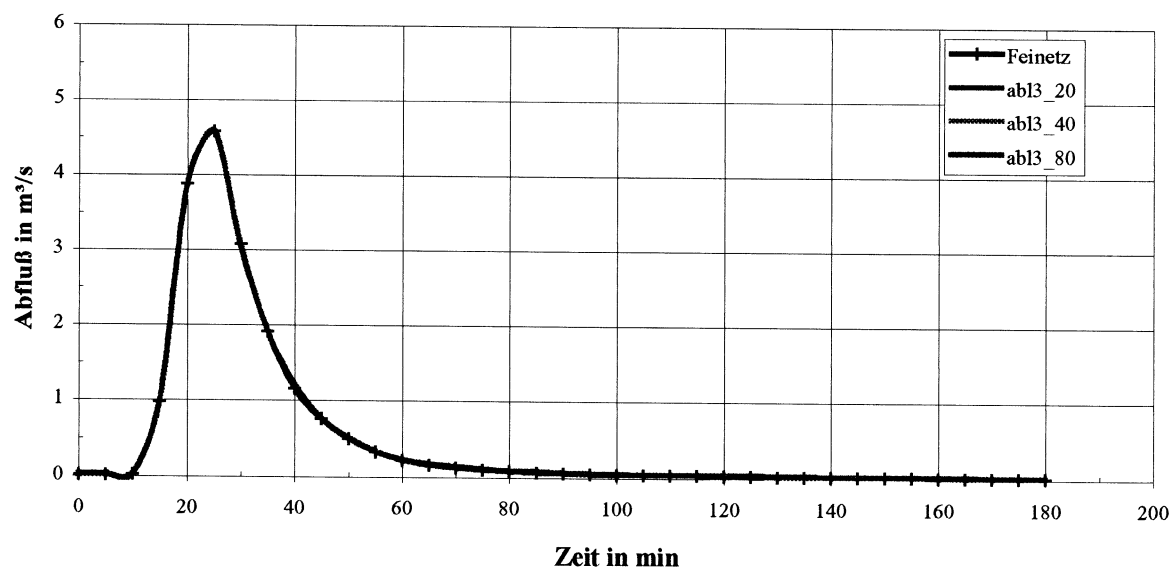


Abb. C.3-6: SONTHOFEN, Abflußganglinie Systemauslaß SRUEB2.2, Ereignis t15n1, Methode ablang Modus 3

SONTHOFEN Systemauslaß Knoten S2680
Modellregen t60n1

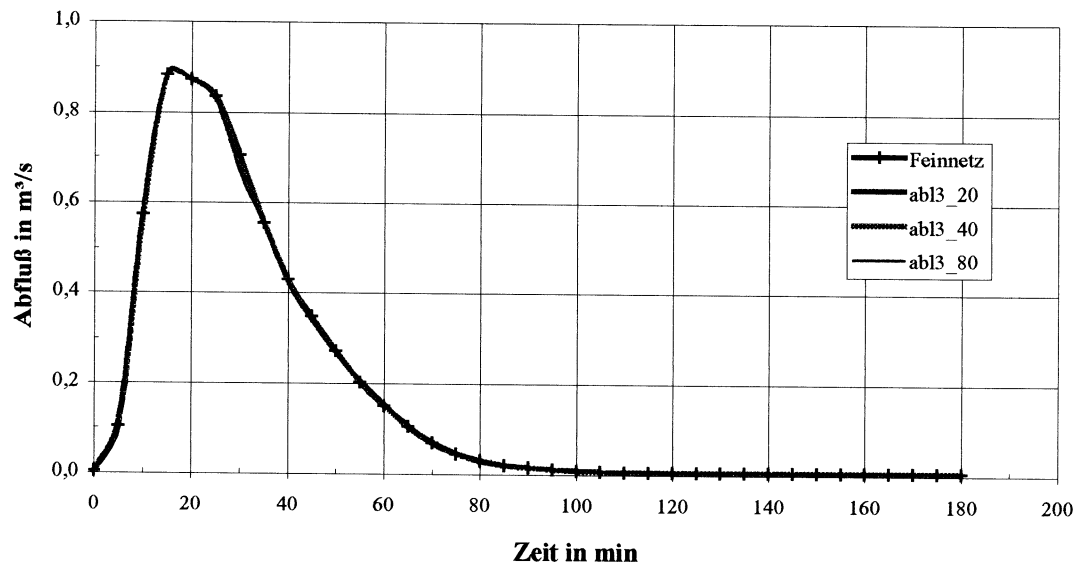


Abb. C.3-7: SONTHOFEN, Abflußganglinie Systemauslaß S2680, Ereignis t60n1, Methode ablang Modus 3

SONTHOFEN Systemauslaß Knoten S2680
Modellregen t15n1

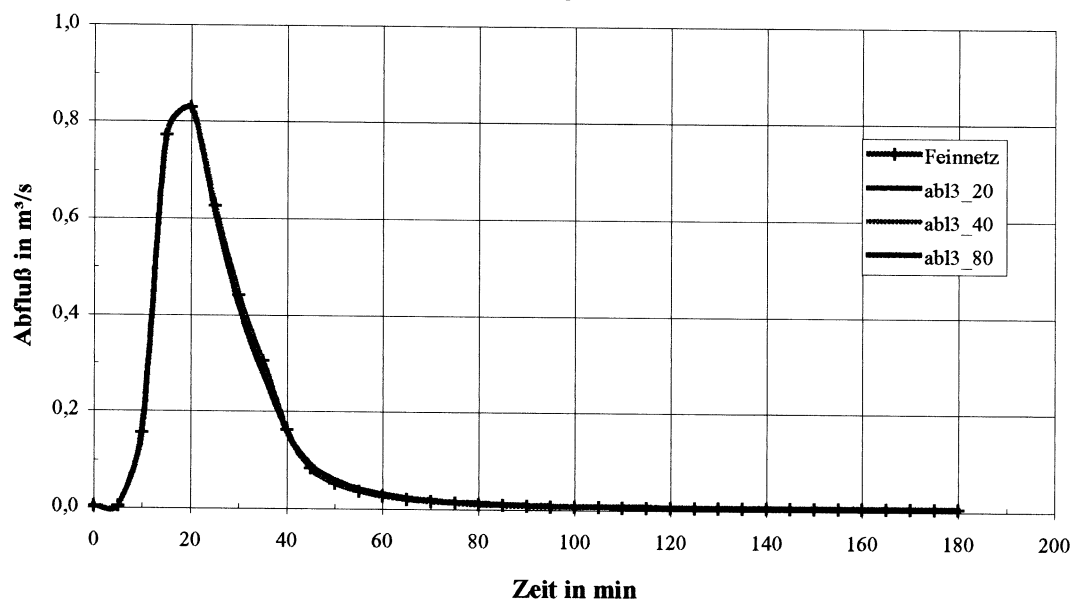


Abb. C.3-8: SONTHOFEN, Abflußganglinie Systemauslaß S2680, Ereignis t15n1, Methode ablang Modus 3

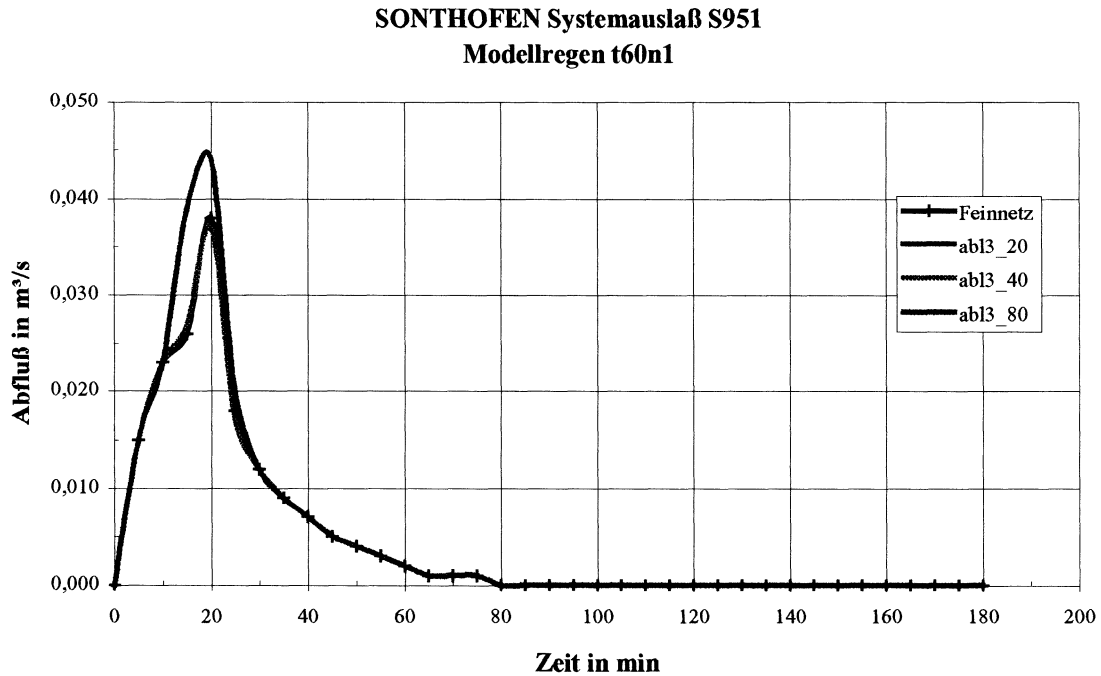


Abb. C.3-9: SONTHOFEN, Abflußganglinie Systemauslaß S951, Ereignis t60n1, Methode ablang Modus 3

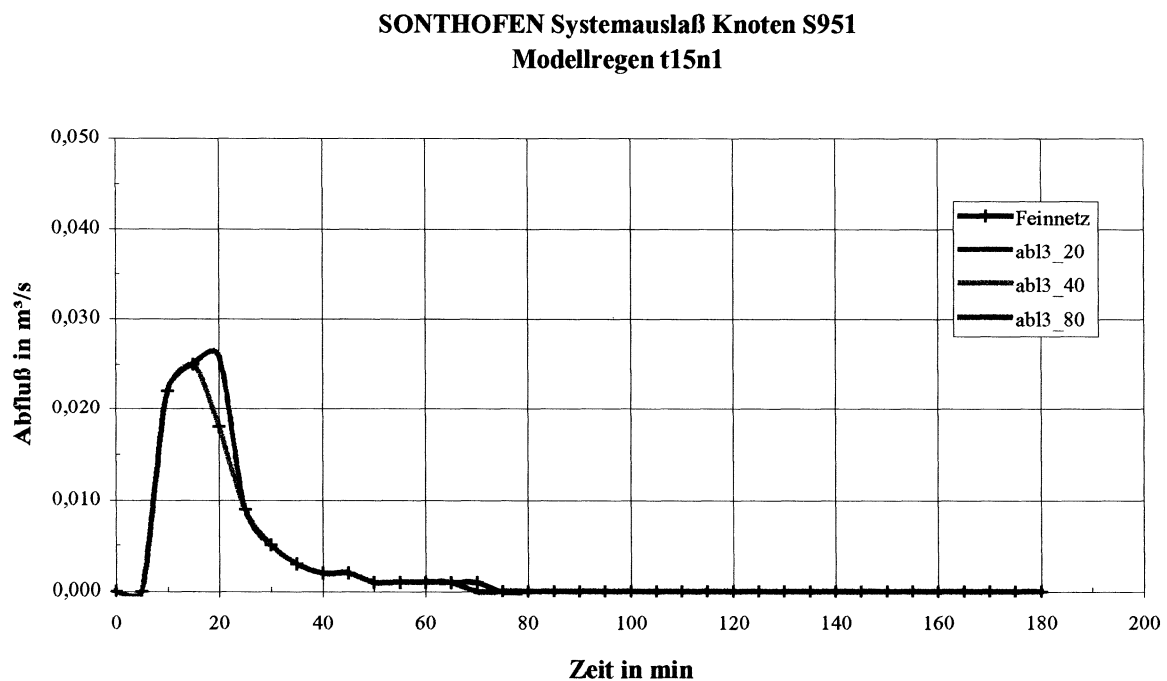


Abb. C.3-10: SONTHOFEN, Abflußganglinie Systemauslaß S951, Ereignis t15n1, Methode ablang Modus 3

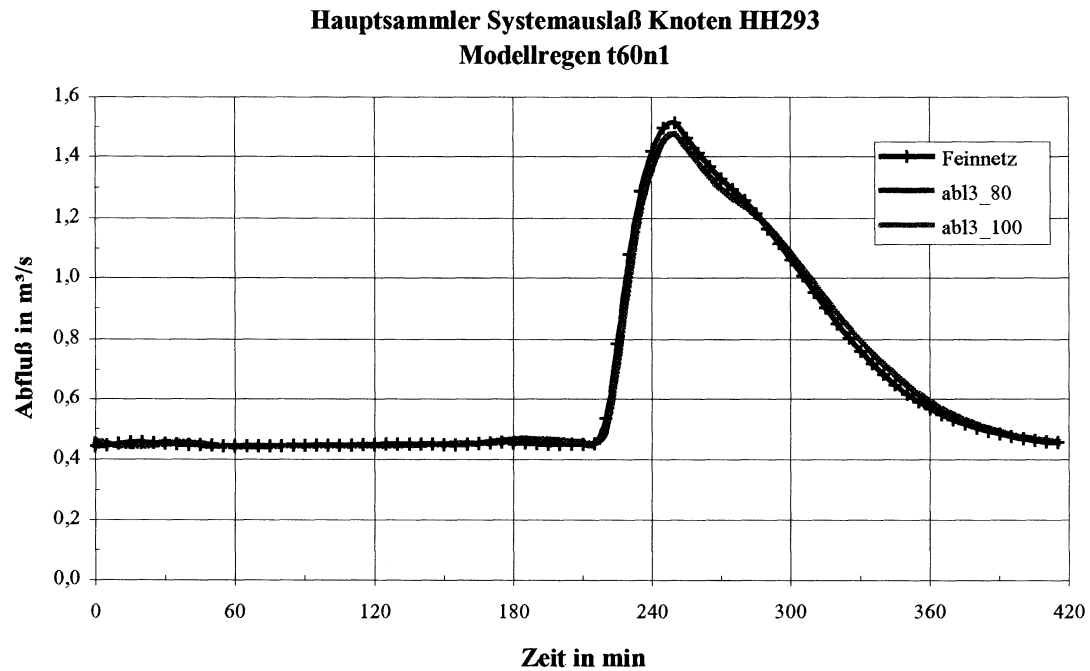


Abb. C.3-11: Verbandshauptsammler, Abflußganglinie Systemauslaß HHS293, Ereignis t60n1, Methode `ablang`, Modus 3

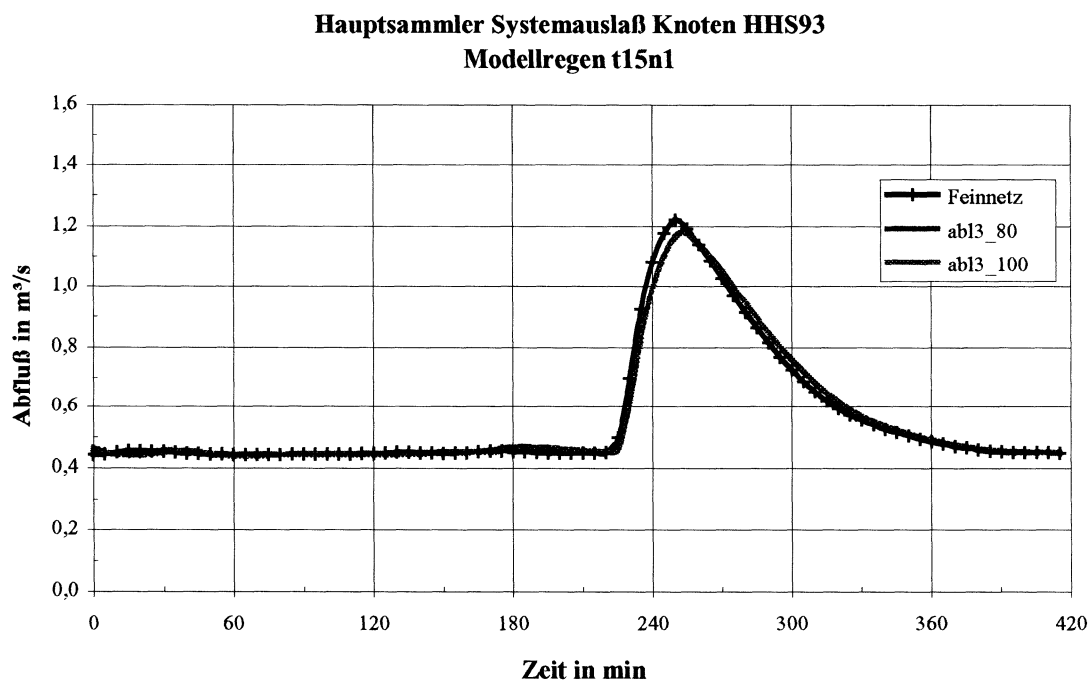


Abb. C.3-12: Verbandshauptsammler, Abflußganglinie Systemauslaß HHS293, Ereignis t15n1, Methode `ablang`, Modus 3

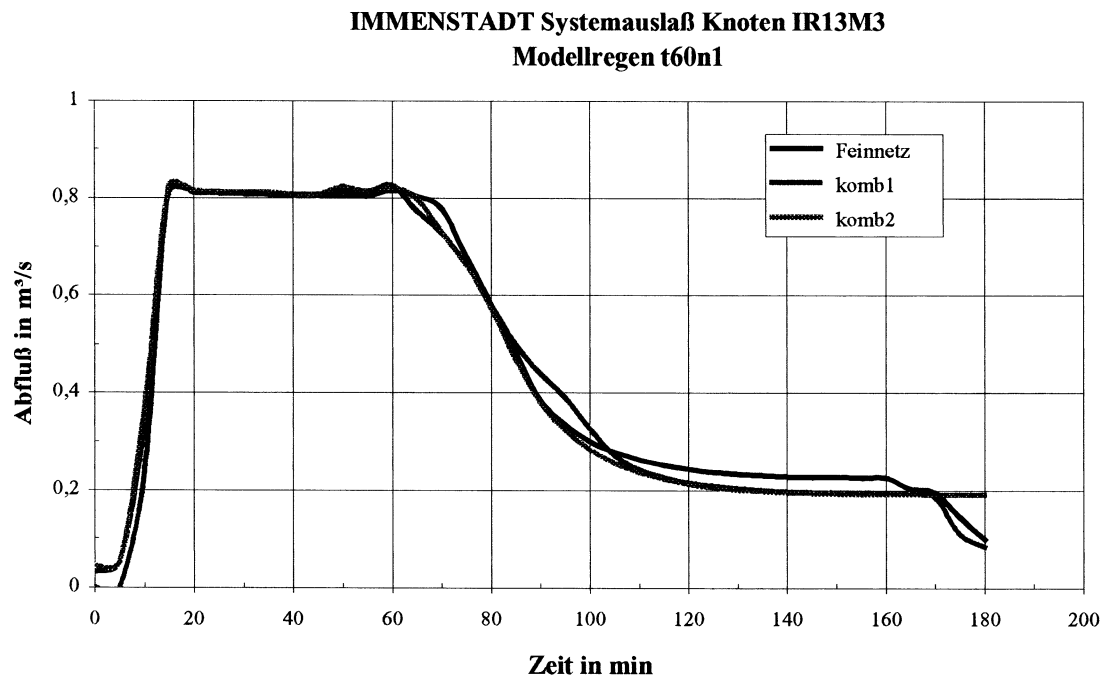


Abb. C.4-1: IMMENSTADT, Abflußganglinie Systemauslaß IR13M3, Ereignis t60n1, Kombination der Methoden

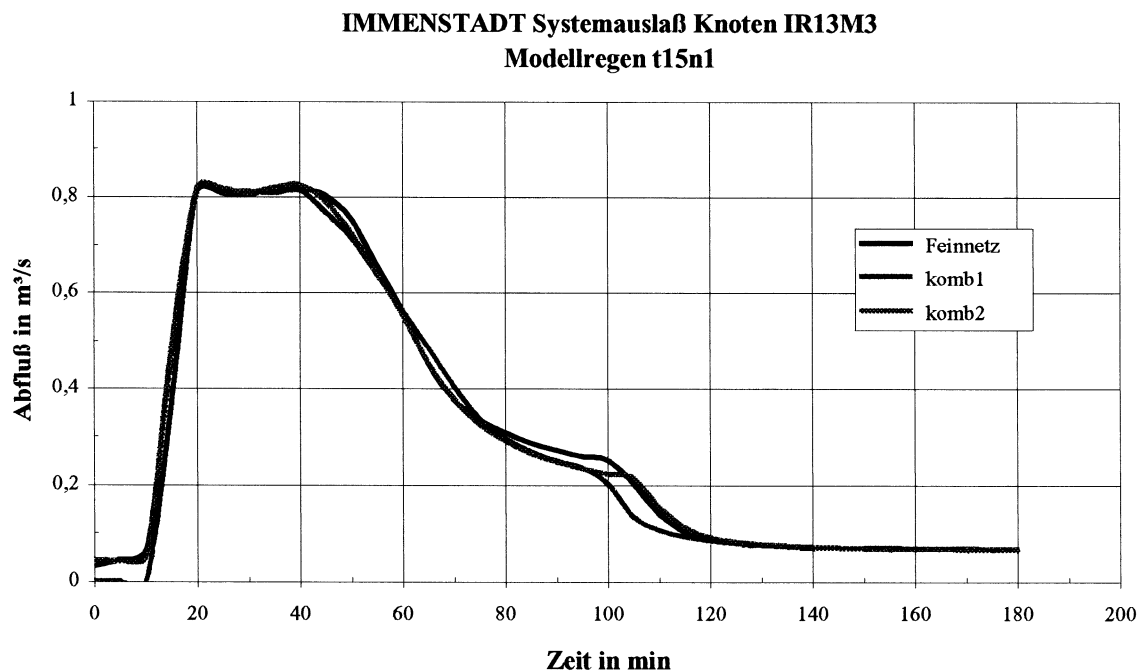


Abb. C.4-2: IMMENSTADT, Abflußganglinie Systemauslaß IR13M3, Ereignis t15n1, Kombination der Methoden

SONTHOFEN Systemauslaß Knoten S105
Modellregen t60n1

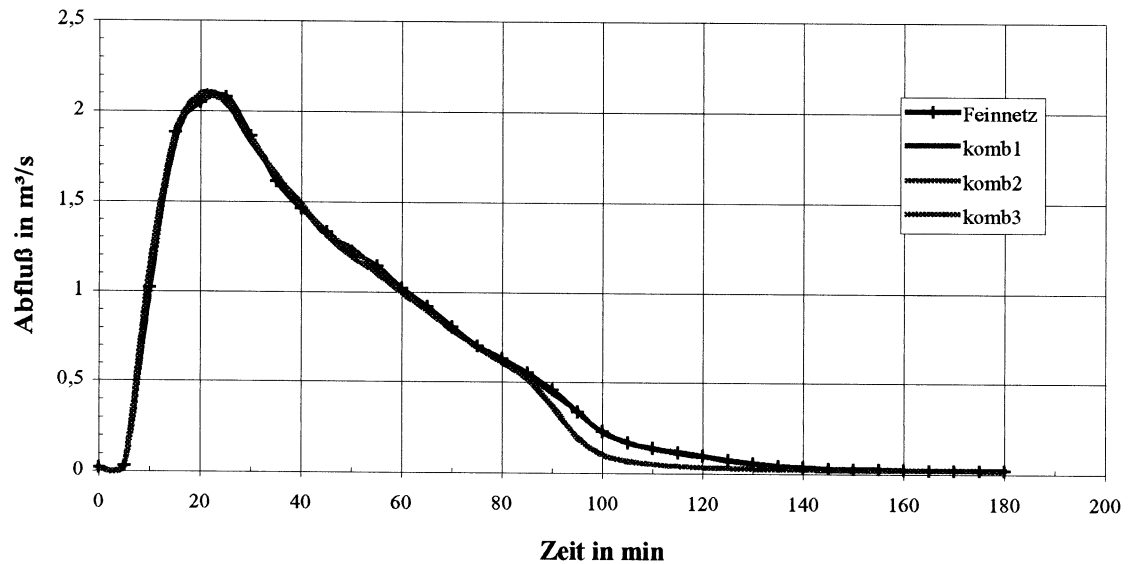


Abb. C.4-3: SONTHOFEN, Abflußganglinie Systemauslaß S105, Ereignis t60n1, Kombination der Methoden

SONTHOFEN Systemauslaß Knoten S105
Modellregen t15n1

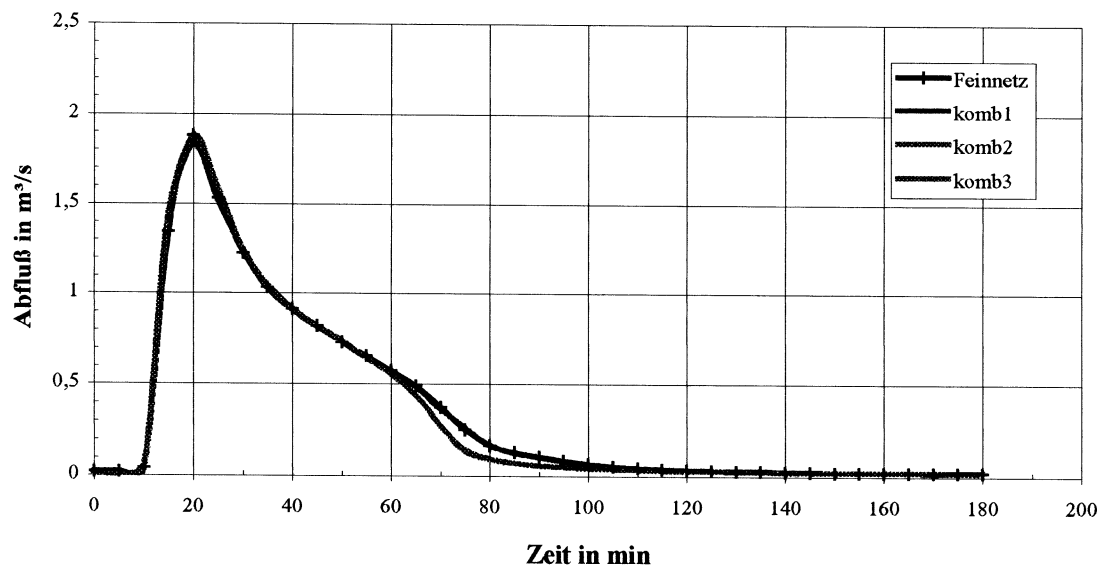


Abb. C.4-4: SONTHOFEN, Abflußganglinie Systemauslaß S105, Ereignis t15n1, Kombination der Methoden

SONTHOFEN Systemauslaß SRUEB2.2
Modellregen t60n1

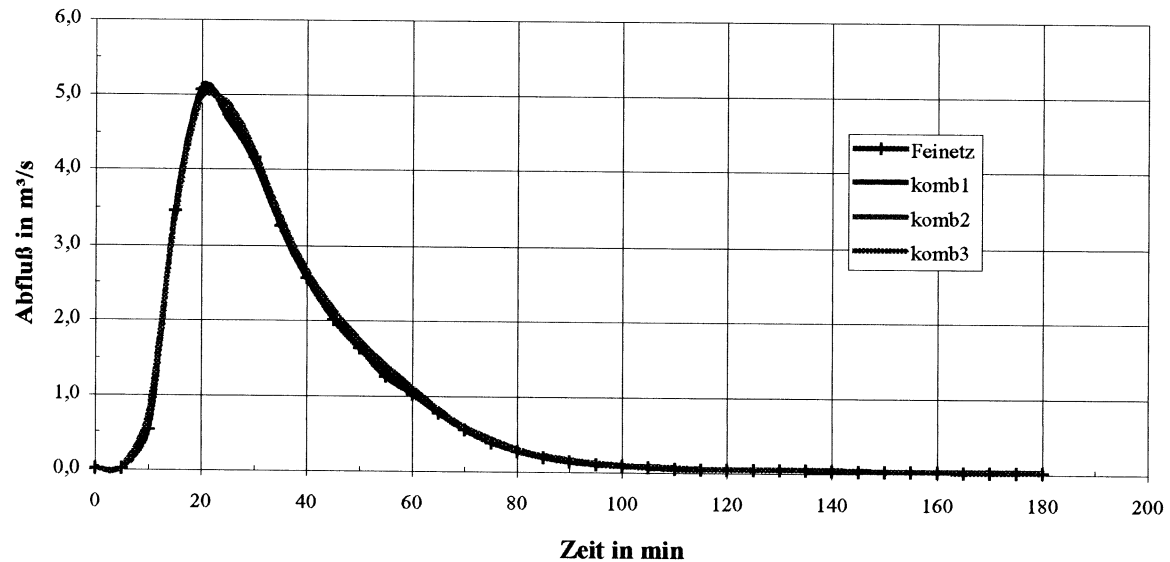


Abb. C.4-5: SONTHOFEN, Abflußganglinie Systemauslaß SRUEB2.2, Ereignis t60n1, Kombination der Methoden

SONTHOFEN Systemauslaß Knoten SRUEB2.2
Modellregen t15n1

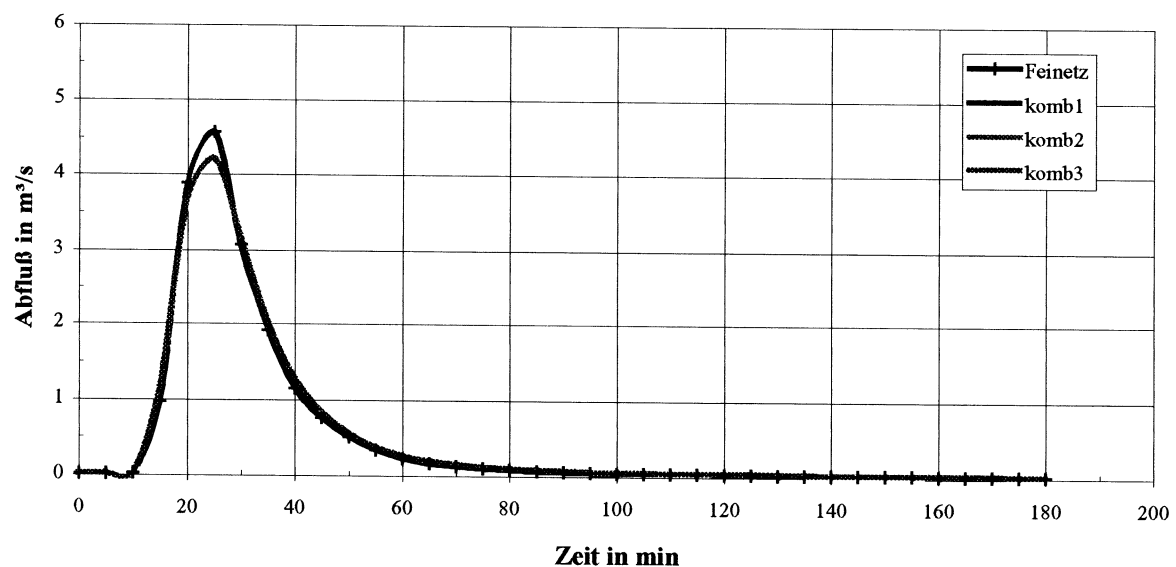


Abb. C.4-6: SONTHOFEN, Abflußganglinie Systemauslaß SRUEB2.2, Ereignis t15n1, Kombination der Methoden

SONTHOFEN Systemauslaß Knoten S2680
Modellregen t60n1

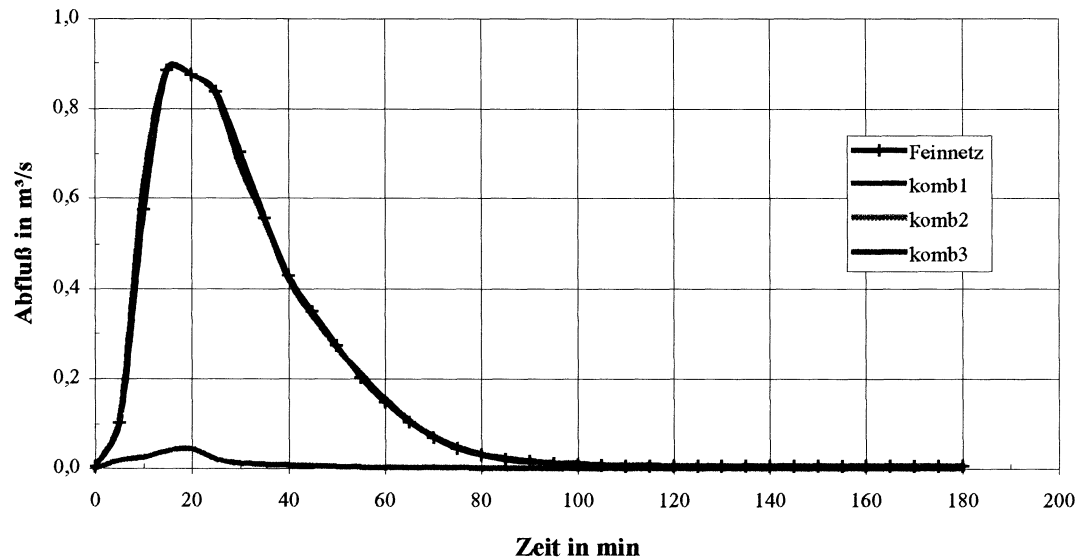


Abb. C.4-7: SONTHOFEN, Abflußganglinie Systemauslaß S2680, Ereignis t60n1, Kombination der Methoden

SONTHOFEN Systemauslaß Knoten S2680
Modellregen t15n1

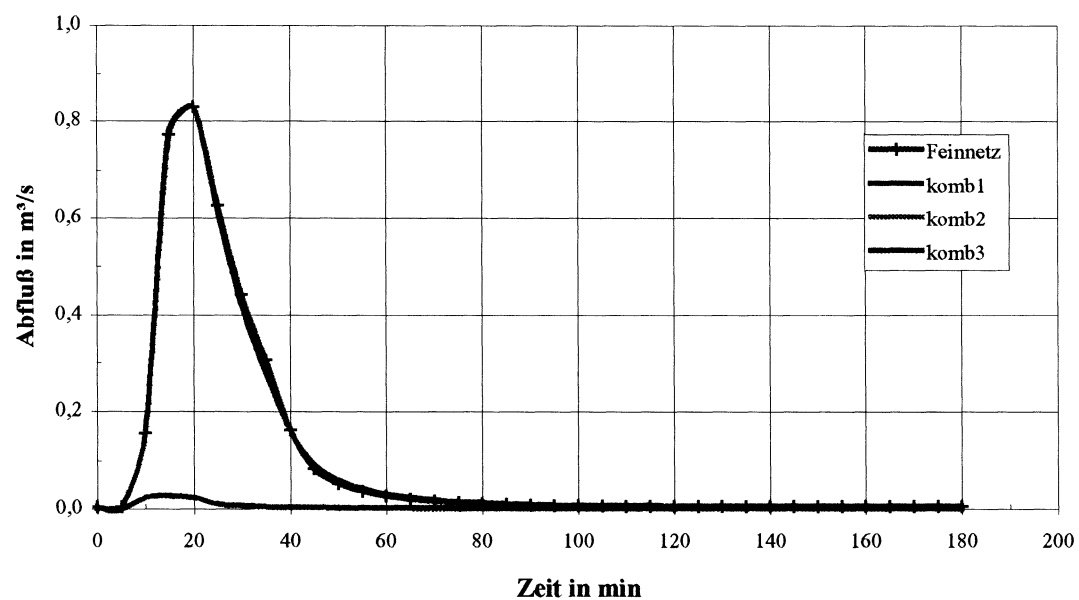


Abb. C.4-8: SONTHOFEN, Abflußganglinie Systemauslaß S2680, Ereignis t15n1, Kombination der Methoden

**SONTHOFEN Systemauslaß S951
Modellregen t60n1**

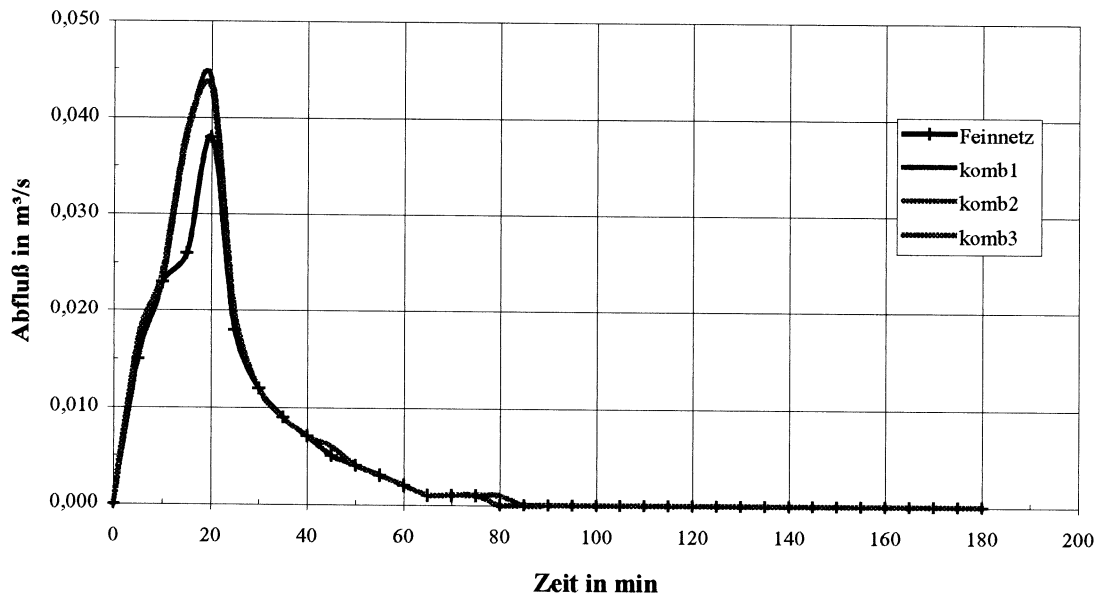


Abb. C.4-9: SONTHOFEN, Abflußganglinie Systemauslaß S951, Ereignis t60n1, Kombination der Methoden

**SONTHOFEN Systemauslaß Knoten S951
Modellregen t15n1**

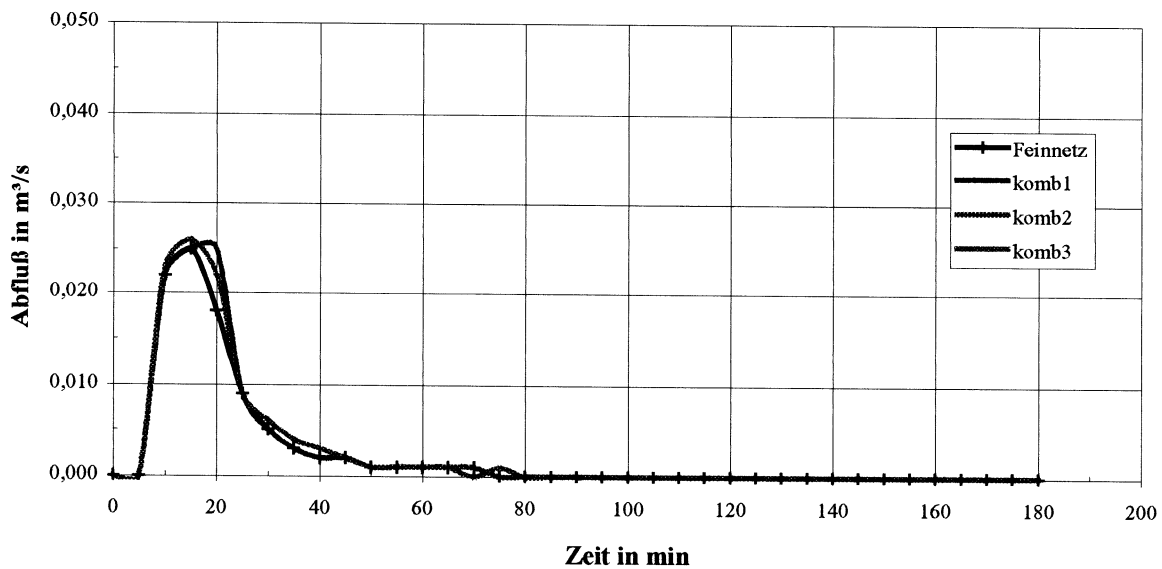


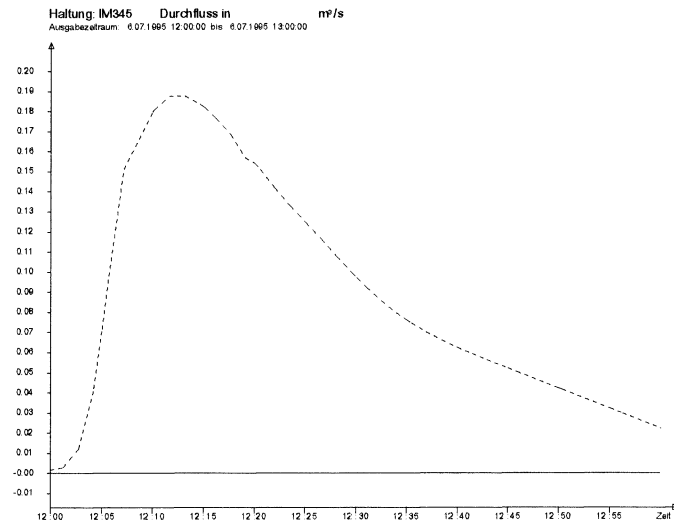
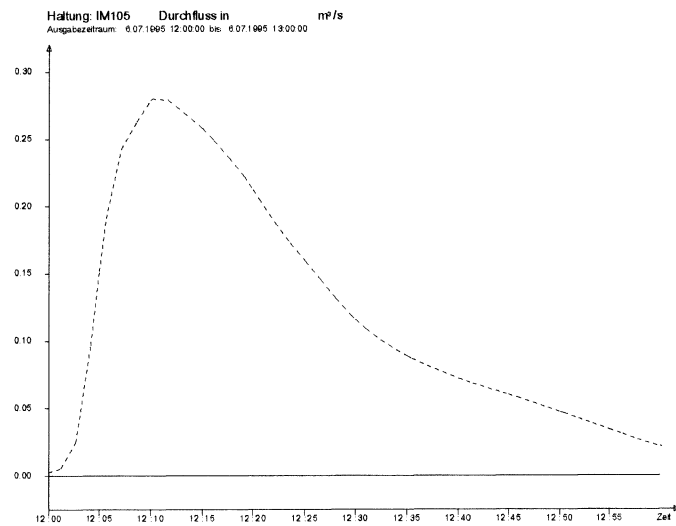
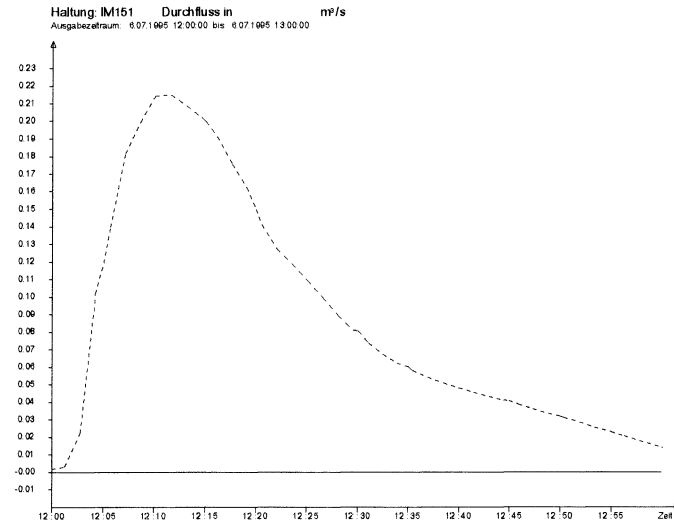
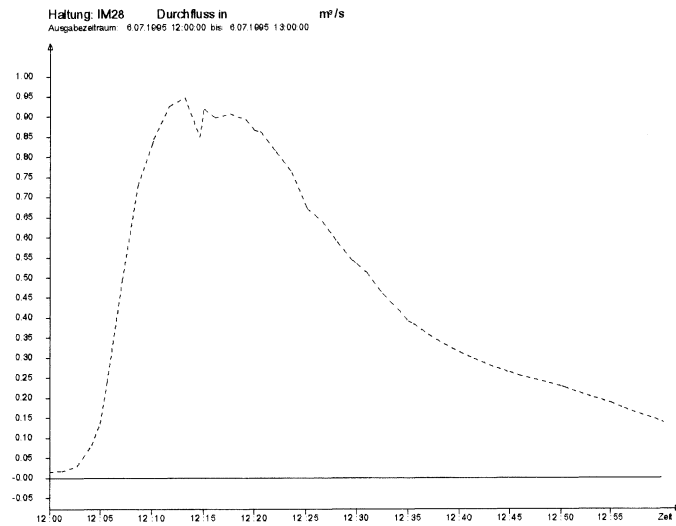
Abb. C.4-10: SONTHOFEN, Abflußganglinie Systemauslaß S951, Ereignis t15n1, Kombination der Methoden

Für die 4 Anfangshaltungen mit den größten angeschlossenen Flächen im Grobnetz IMMENSTADT-abh_400 wird hier die Veränderung des Abflusses gegenüber dem Abfluß im Feinnetz untersucht. Aus rechentechnischen Gründen werden die Abflußganglinien der Haltungen unmittelbar unter der Anfangshaltung wiedergegeben. Neben Unterschieden in der Form der Ganglinie lassen sich insbesondere auch Unterschiede in den Spitzenabflüssen feststellen. Spitzenabflußabweichungen von ca. 30% sind dabei keine Seltenheit – vgl. Haltung IM151 und Haltung IM105 -

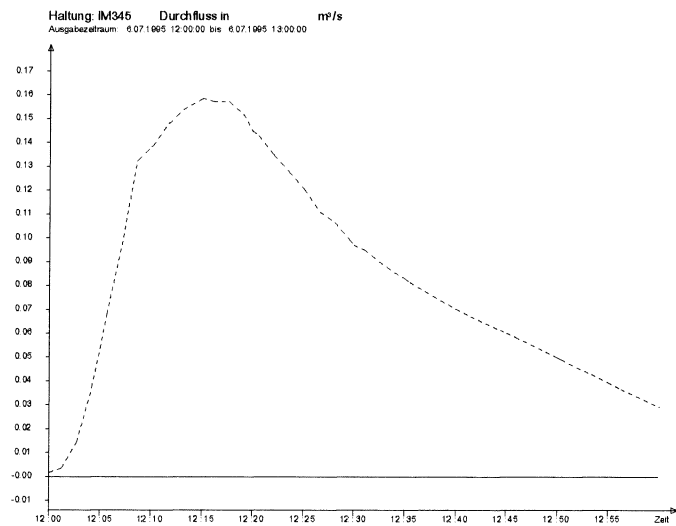
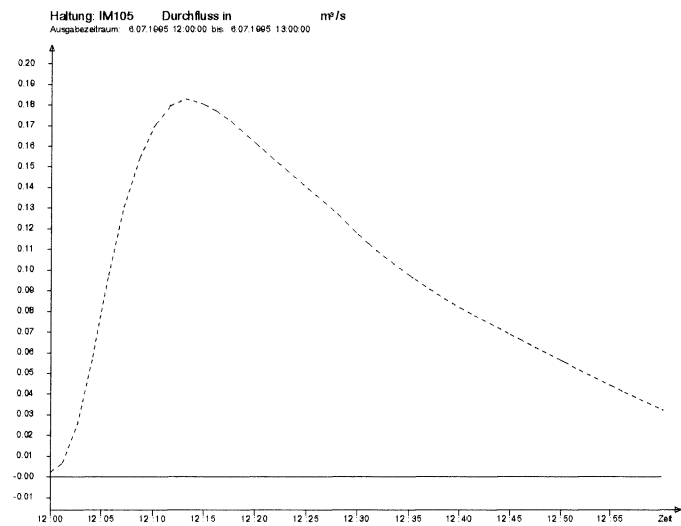
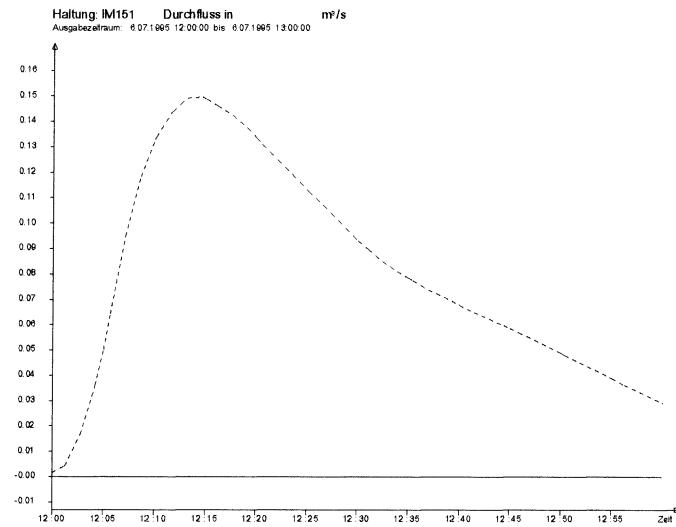
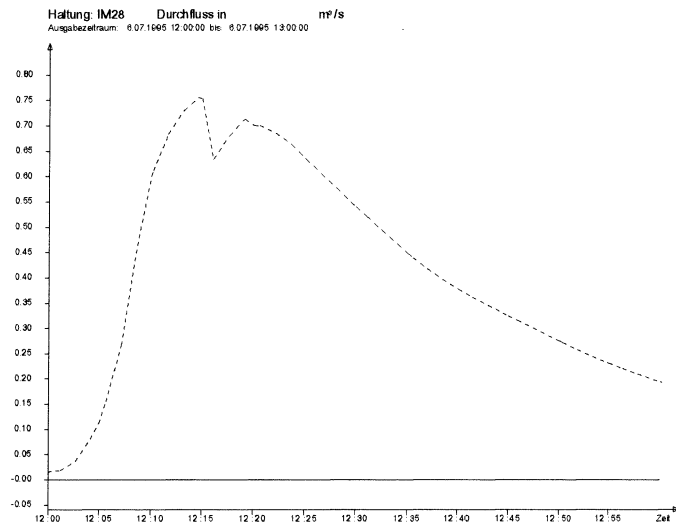
<i>Anfangshaltung</i>	<i>Gesamtfläche ha</i>	<i>undurchl. Fläch ha</i>	<i>gezeigte Haltung</i>
IM29	11,7	3,97	IM28
IM152	4,47	1,57	IM151
IM110	5,76	1,82	IM105
IM346	4,30	1,67	IM345

Tab. D-I: die untersuchten Anfangshaltungen mit den angeschlossenen Flächen

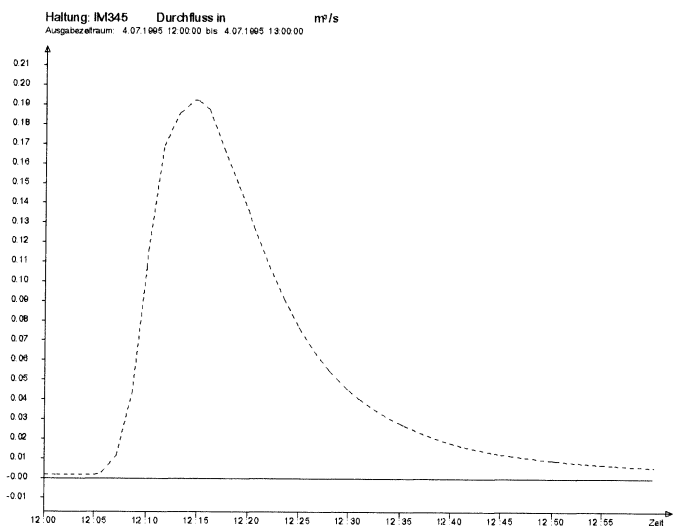
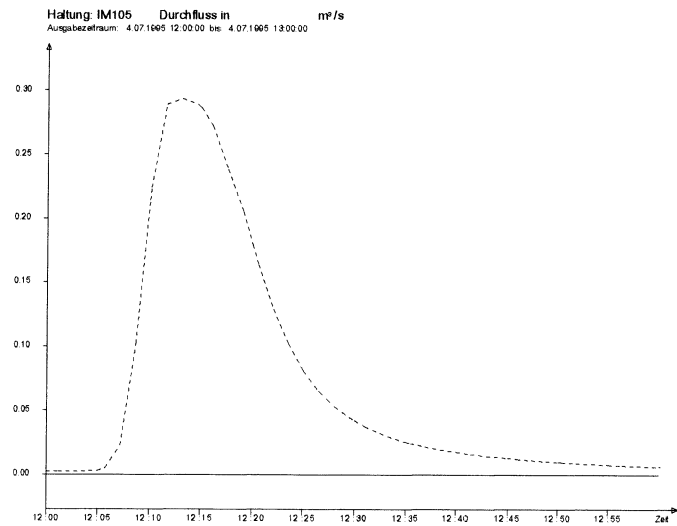
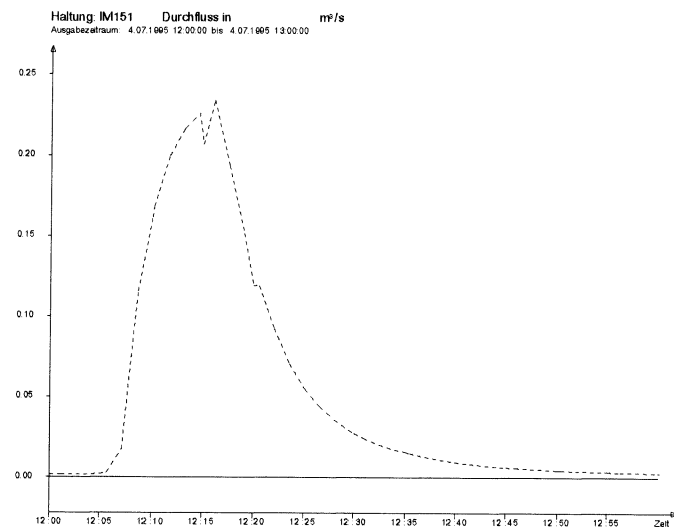
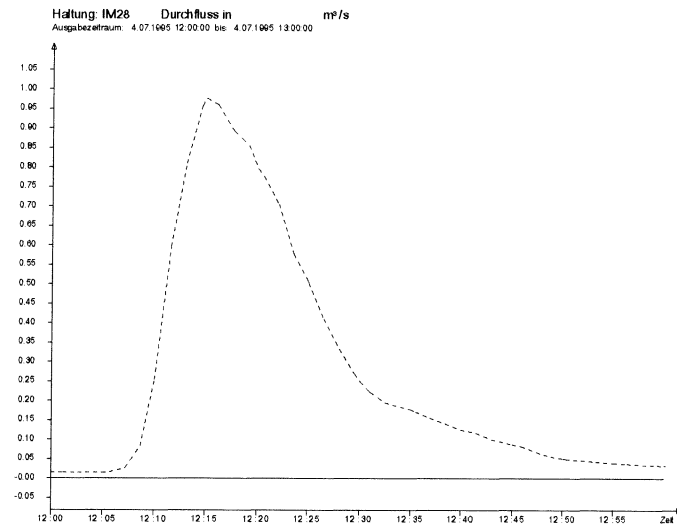
Auf jeder Seite werden 4 Ganglinien eines Rechenlaufes gezeigt, die miteinander korrespondierenden Ganglinien der verschiedenen Rechenläufe befinden sich jeweils an der gleichen Stelle ihrer Seite.



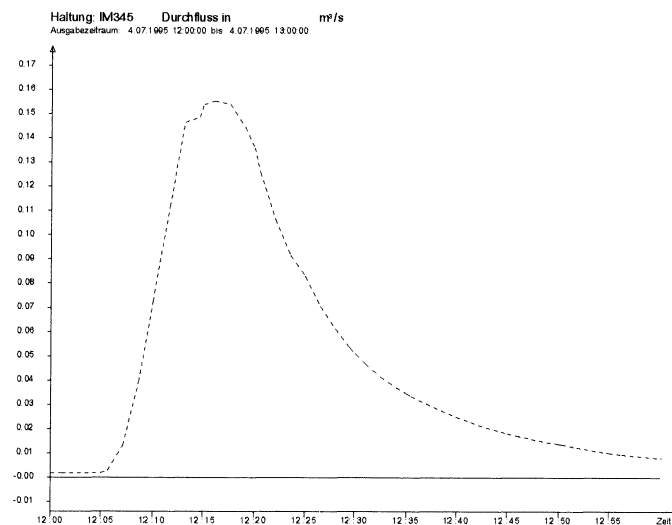
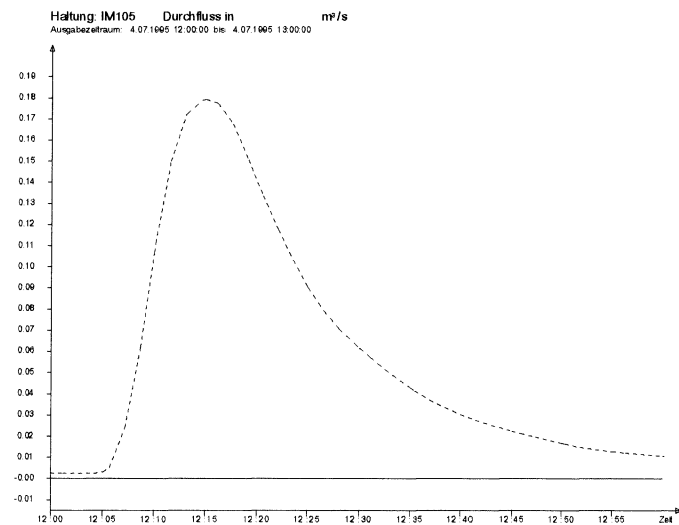
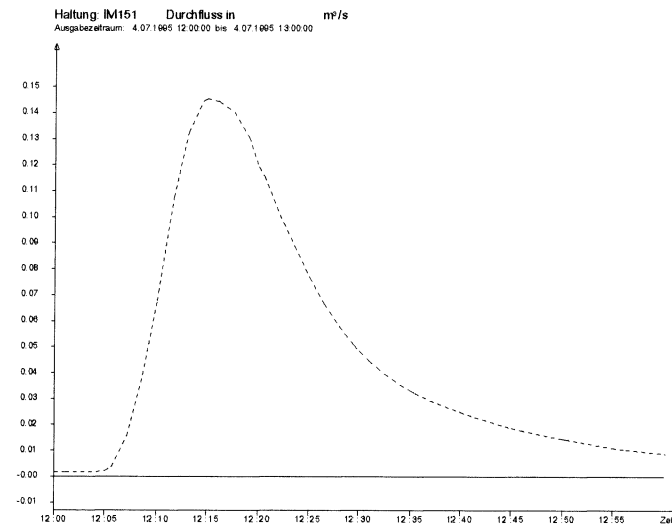
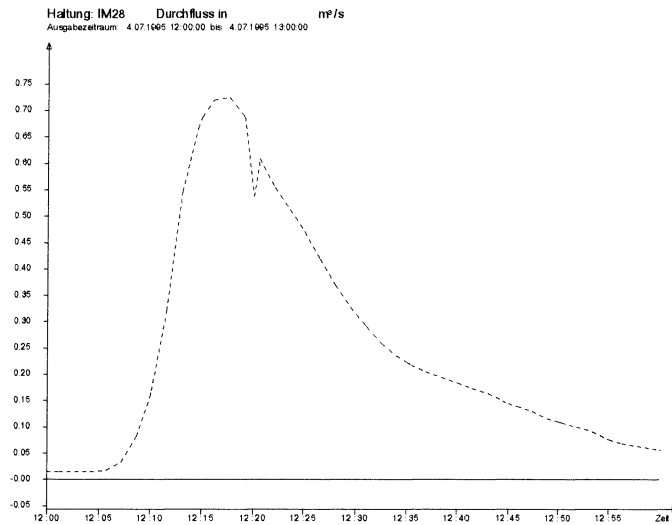
VEREINFACHUNG VON KANALNETZEN - fein.NET



VEREINFACHUNG VON KANALNETZEN - abh_400.NET



VEREINFACHUNG VON KANALNETZEN - fein.NET



VEREINFACHUNG VON KANALNETZEN - abh_400.NET

KANALNETZVEREINFACHUNG

TEIL II

Redaktion

A. KHELIL

Bearbeitung

A. KHELIL, M. RÖCHE

1 Einführung

Die Echtzeitbewirtschaftung des Entwässerungskanals im Abwasserverband OBERE ILLER - AOI - beruht auf 3 Säulen:

- dem Leitsystem zur Aufnahme und Archivierung von Meßdaten und Kontrolldaten im Kanal
- dem Optimierungsprogramm zur automatischen Bestimmung der Bewirtschaftungsstrategie
- dem Simulationsmodell zur Vorhersage der Regenbelastung in das Kanalnetz

Gesteuert werden Abflußwerte aus maßgeblichen Speichereinheiten (Regenüberlaufbecken = RÜB, Stauräume SR). In Abhängigkeit des Kanalzustandes und seiner vorhergesagten Belastung wird die Mischwassermenge gespeichert oder verstärkt abgeführt mit dem Ziel, Entlastungen in die Vorfluter während einzelner Regenereignisse zu reduzieren.

Die Entwicklung von Simulationsbausteinen für die online Prognose setzt eine Untersuchung der Unsicherheiten von Niederschlagabfluß-Ansätzen voraus. Dabei spielen folgende Faktoren eine Rolle:

- Erfassung der räumlichen bzw. zeitlichen Merkmale des Niederschlagsfeldes
- Beschreibung des Entwässerungssystems - Kanalisation bzw. Speicher -
- mathematische Formulierung der Modelle - u.a. die Strömungsgleichungen -
- Parameteridentifikation - insbesondere zur Berechnung der Abflußbildung und -Konzentration -

Im Abschnitt *hydrodynamische Standardberechnung* wurde die hydraulische Leistungsfähigkeit wichtiger Teilgebiete nach einem Standardverfahren bewertet.

Simulationsmodell	HYSTEM-EXTRAN – hydrodynamisch -
Netzbeschreibung	detailliert , fast jede Haltung wird berücksichtigt
Input	Modellregen - t15n1, t30n1, t60n1, t120n1, t120n02 -
Modellparameter	Standardwerte

Tab. 1: Charakteristiken der Standardsimulation

Eine hydrodynamische, detaillierte Berechnung zur online Vorhersage der Niederschlagsbelastung erscheint wenig sinnvoll aus Gründen der Rechenzeit und -Stabilität. Auf der anderen Seite soll der online Zustand nur an wenigen Punkten ermittelt werden - Zuflußlauf der gesteuerten Speichereinheiten -. *Daher ist jede Vereinfachung – Modell-, Netz- Vereinfachung - berechtigt, wenn dadurch die Simulation dieser Zustandsdaten nicht übermäßig verfälscht wird.* Als Bezugsmodell sollte eine kalibrierte hydrodynamische Berechnung dienen.

Ein Verfahren zur Kalibrierung und Verifizierung der Berechnung mit HYSTEM-EXTRAN am Beispiel des Entwässerungsnetzes SONTHOFEN wurde entwickelt und z.T. implementiert. Es beruht auf folgenden Grundlagen:

- Vereinfachung der Netzdarstellung
- Kalibrierung des vereinfachten Netzes mit Hilfe von Meßdaten für ausgewählte Ereignisse
- Verifizierung des kalibrierten Modells

Im Folgenden wird ausschließlich über den Vereinfachungsschritt berichtet.

2 Das Entwässerungssystem SONTHOFEN

2.1 Die detaillierte Kanalbeschreibung

Die SONTHOFENER Kanaldaten sind auf einer ORACLE-Datenbank gespeichert. Sie wurden auf das HYSTEM-EXTRAN-Format übertragen und in die Kanaldaten SF_00.NET (Stand Juni 1997, ohne Kasernen) gespeichert.

Anzahl der Elemente	1730 (-)
Anzahl der Haltungen	1706 (-)
Anzahl der Wehre	13 (-)
Anzahl der Auslässe	7 (davon 2 Einleitungen)
Anzahl der Schächte	1695 (-)
Anzahl der Speicherbecken	RÜB-1, RÜB-2
befestigte angeschlossene Fläche	137,44 (ha), $\mu^1 = 0,08$ (ha), $\sigma = 143$ (%)
unbefestigte angeschlossene Fläche	218,45 (ha)
Länge der Kanalisation	62 175 (m), $\mu = 36,44$ (m), $\sigma = 51$ (%)

Tab. 2 : Kenndaten des gesamten SONTHOFENER Netzes, Kanaldaten SF_00.NET (Stand Juni 1997, ohne Kasernen)

Hier kommt es hauptsächlich auf die Ermittlung der Zuflußwelle in beide SONTHOFENER Regenüberlaufbecken RÜB1 und RÜB2 an. Dies ist ein wesentlicher Unterschied zu der in Kanalvereinfachung Teil I beschriebenen Untersuchung. Vor allem werden Stau- und Speichereinrichtungen im unteren Gebietsbereich entfernt und mit dem Algorithmus *mitmakenet* werden die einzelnen Teilgebiete von einander getrennt. Tab. 3 listet somit die erhaltenen Teilnetze auf.

Teilgebiet	Dateibezeichnung
oberhalb des RÜB 1	SF1_0.NET
oberhalb des RÜB 2	SF2_0.NET
oberhalb der Einleitung MITTAGSSTRASSE	SF3_0.NET

Tab. 3: Liste der Teilgebiete vom SONTHOFENER Netz

Teilgebiet SF3_00.NET (MITTAGSSTRASSE) wird im Weiteren außer Acht gelassen, da nur die Zuflußbelastung in die Becken RÜB 1 und RÜB 2 von Interesse ist.

Anmerkung zum Trennverfahren *mitmakenet*:

¹ μ ist der Mittelwert und σ die Standardabweichung um den Mittelwert immer in %

Die Trennung der angeschlossenen Flächen im Vermaschungsbereich oberhalb der beiden RÜB erfolgt auf der Basis eines virtuellen stationären Zustandes, in dem jedes Rohr zu 50% seiner Vollfüllungsleitung ausgelastet ist ¹.

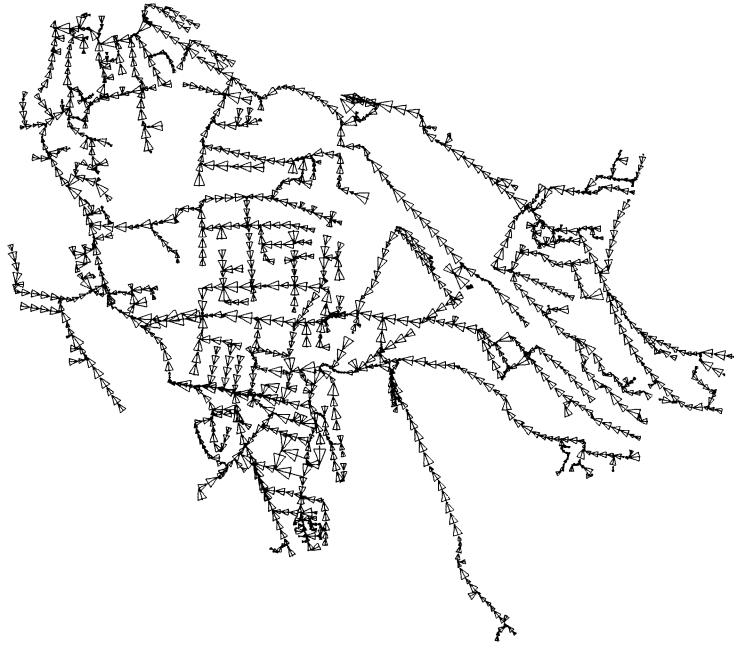


Abb. 1 : Darstellung des gesamten Entwässerungssystems von SONTHOFEN (Kanaldatei: SF_00.NET)

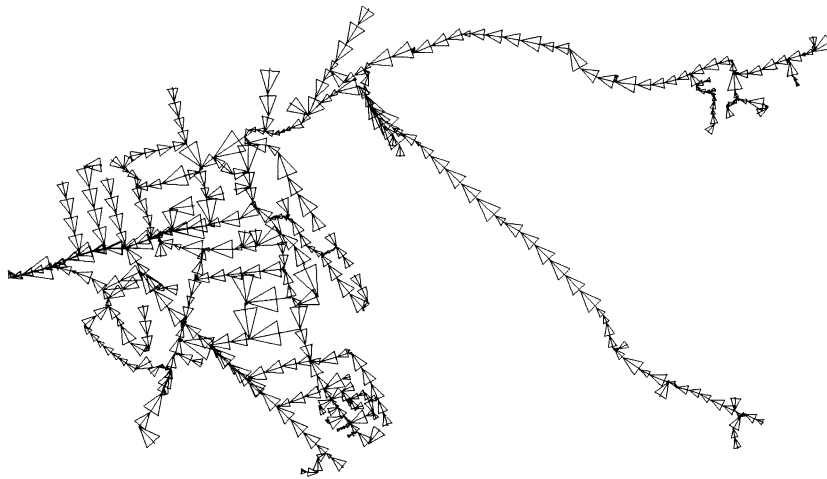


Abb. 2: Feinnetz des Teilgebiets SONTHOFEN 1, Kanaldatei SF1_0.NET

¹ Vergleichsimulationsläufe haben gezeigt, daß für dieses Kanalnetz der aus der Trennung entstehende Berechnungsfehler gering ist.

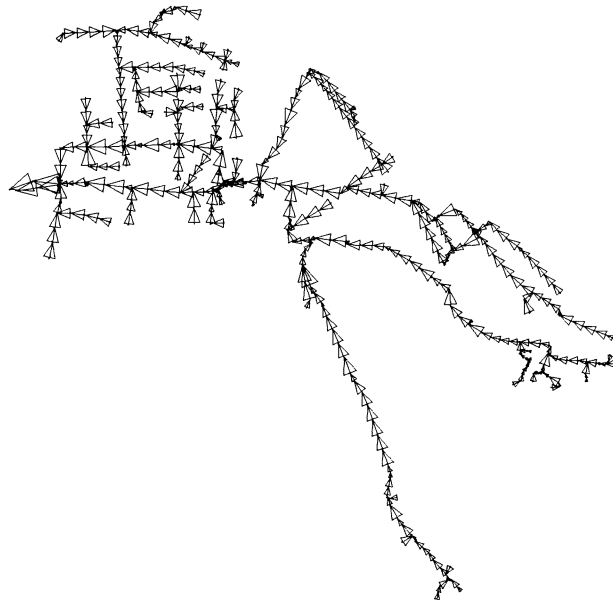


Abb. 3: Feinnetz des Teilgebiets SONTHOFEN 2, Kanaldateni SF2_0.NET

2.1 Vereinfachung der Kanalnetzdateien

Um sowohl Rechenzeit als auch Datenumfang in Grenzen zu halten, werden nun beide Netzbeschreibungen SF1_0.NET und SF2_0.NET durch Reduzierung der Haltungszahl vereinfacht. Der Vereinfachungsvorgang erfolgt in 2 Stufen:

1. Streichung der Anfangstrecken des Kanals, deren Rohrdurchmesser unter **1 000 mm** liegt, mit dem Programm **simpD** (**simplification according to the Diameter of reaches**). Die angeschlossenen Gebietsflächen bleiben erhalten.

Die weitere Handhabung der Netzdaten erfolgt mit dem Programm **simpL** (**simplification according to the Length of reaches**) nach folgendem Schema:

2. Um eine Mindesthaltungslänge von **40 m** zu erreichen, versucht **simpL**, kürzere Haltungen zusammenzufügen bzw. sie sonst als Speicherschacht zu deklarieren. Zudem soll ein Richtwert von **60 m** für die Haltungslänge angestrebt werden. Der Algorithmus **simpL** wird demzufolge nachträglich überlange Haltungen - deren Länge **180 m** überschreitet - unterteilen¹.

Anmerkung:

Im Folgenden bedeutet **SFi_j.NET** die Kanaldateni des Teilnetzes in SONTHOFENi mit Vereinfachungsstufe j.

¹ Die Erfahrungen mit dem Algorithmus **ablang** - vgl. Teil I - haben gezeigt, daß überlange Haltungen die Ergebnisse der Vereinfachung erheblich verschlechtern können.

	<i>Feinnetz SF1_0.NET</i>	<i>Grobnetz 1 SF1_1.NET</i>	<i>Grobnetz 2 SF1_2.NET</i>
Anzahl der Elemente	486	126	53
Anzahl der Haltungen	485	123	50
Anzahl der Wehre	2	2	2
Anzahl der Schächte	473	115	43
Anzahl der Speicherschächte	5	5	8
Anzahl der Auslässe	1	1	1

Gesamt volumen im Kanal (m ³)	3833,42	2184,08	2101,34
mittlerer Stauraum (m ³ /hared, %)	99,69 ($\sigma = 245$)	184,63 ($\sigma = 191$)	176,72 ($\sigma = 192$)
mittleres Haltungsgefälle (%, %)	2,70 ($\sigma = 224$)	1,55 ($\sigma = 229$)	0,68 ($\sigma = 274$)

	<i>Feinnetz SF1_0.NET</i>	<i>Grobnetz 1 SF1_1.NET</i>	<i>Grobnetz 2 SF1_2.NET</i>
angeschlossene Fläche (ha)			
Gesamtfläche (ha)	62,15	62,15	62,17
mittelere Haltungsfläche (ha)	0,13	0,51	1,24
Standardabweichung (%)	145	191	132

	<i>Feinnetz SF1_0.NET</i>	<i>Grobnetz 1 SF1_1.NET</i>	<i>Grobnetz 2 SF1_2.NET</i>
undurchlässige Fläche (ha)			
Gesamtfläche (ha)	28,68	28,68	28,67
mittelere Haltungsfläche (ha)	0,06	0,23	0,57
Standardabweichung (%)	177	192	136

	<i>Feinnetz SF1_0.NET</i>	<i>Grobnetz 1 SF1_1.NET</i>	<i>Grobnetz 2 SF1_2.NET</i>
durchlässige Fläche (ha)			
Gesamtfläche (ha)	33,47	33,47	33,47
mittelere Haltungsfläche (ha)	0,07	0,28	0,68
Standardabweichung (%)	157	196	135

	<i>Feinnetz SF1_0.NET</i>	<i>Grobnetz 1 SF1_1.NET</i>	<i>Grobnetz 2 SF1_2.NET</i>
Kanallänge (m)			
Gesamtlänge (m)	17305	4787	4537
mittelere Haltungs länge (m)	35,68	38,92	90,74
Standardabweichung (%)	56,62	65,33	36,71

Tab. 4 : Fein- und Grobnetze des Teilgebiets SONTHOFEN 1¹

¹ μ = Mittelwert pro Haltung, σ = Standardabweichung in % des Mittelwertes

Kanalnetzvereinfachung Teil II

	<i>Feinnetz SF2_0.NET</i>	<i>Grobnetz 1 SF2_1.NET</i>	<i>Grobnetz 2 SF2_2.NET</i>
Anzahl der Elemente	434	41	23
Anzahl der Haltungen	432	39	21
Anzahl der Wehre	0	0	0
Anzahl der Schächte	433	40	22
Anzahl der Speicherschächte	1	1	1
Anzahl der Auslässe	2	2	2

Gesamtvolumen im Kanal (m³)	5848	2846	2832
mittlerer Stauraum (m³/hared, %)	159,79 ($\sigma = 180$)	411,32 ($\sigma = 130$)	295,63 ($\sigma = 129$)
mittleres Haltungsgefälle (% , %)	1,90 ($\sigma = 174$)	1,05 ($\sigma = 99$)	0,61 ($\sigma = 64$)

	<i>Feinnetz SF2_0.NET</i>	<i>Grobnetz 1 SF2_1.NET</i>	<i>Grobnetz 2 SF2_2.NET</i>
angeschlossene Fläche (ha)			
Gesamtfläche (ha)	84,74	84,74	84,75
mittlere Haltungsfläche (ha)	0,20	2,17	4,04
Standardabweichung (%)	106	258	151

	<i>Feinnetz SF2_0.NET</i>	<i>Grobnetz 1 SF2_1.NET</i>	<i>Grobnetz 2 SF2_2.NET</i>
undurchlässige Fläche (ha)			
Gesamtfläche (ha)	37,06	37,06	37,06
mittlere Haltungsfläche (ha)	0,09	0,95	1,76
Standardabweichung (%)	146	235	136

	<i>Feinnetz SF2_0.NET</i>	<i>Grobnetz 1 SF2_1.NET</i>	<i>Grobnetz 2 SF2_2.NET</i>
durchlässige Fläche (ha)			
Gesamtfläche (ha)	47,68	47,68	47,69
mittlere Haltungsfläche (ha)	0,11	1,22	2,27
Standardabweichung (%)	109	279	165

	<i>Feinnetz SF2_0.NET</i>	<i>Grobnetz 1 SF2_1.NET</i>	<i>Grobnetz 2 SF2_2.NET</i>
Kanallänge (m)			
Gesamtlänge (m)	16989	1856	1837
Mittlere Haltungsfläche (m)	39,33	47,59	87,47
Standardabweichung (%)	45,34	52	32

Tab. 5 : Feinnetz und Grobnetze des Teilgebiets SONTHOFEN 2

ANLAGE A enthält graphische Darstellungen aller Fein- und Grobnetze.

ANLAGE B enthält eine statistische Auswertung der Kanaldaten aus allen Beschreibungen.

3 Hydrodynamische Vergleichsberechnung mit HYSTEM-EXTRAN

3.1 Beschreibung des Modellregens

Nun soll überprüft werden, *inwieweit die Netzvereinfachung die Ergebnisse der Berechnung verfälschen, bzw. ob eine Kalibrierung der Parameter zur Oberflächenkonzentration in den vereinfachten Netzen erforderlich ist.* Dazu wurden folgende Randbedingungen gewählt:

1. Als Regenbelastung wurde Modellregen **t30n1** verwendet.
2. Abflußbildung und -Konzentration wurden mit Standardparametern berechnet.

Die Wahl des Modellregens stammt aus folgenden Überlegungen:

1. Mischwasserkanäle sind i.d.R. so dimensioniert, daß sie einen Regen mit Häufigkeit gleich 1 1/a insgesamt verkraften, wobei lokale hydraulische Engpässe durchaus auftreten können. Gerade solches lokale Versagen der Kanalisation ist aus Sicht der Steuerung der maßgebende Fall.
2. Die Dauer 30 min entspricht ca. der mittleren Fließzeit in beiden Teilgebieten

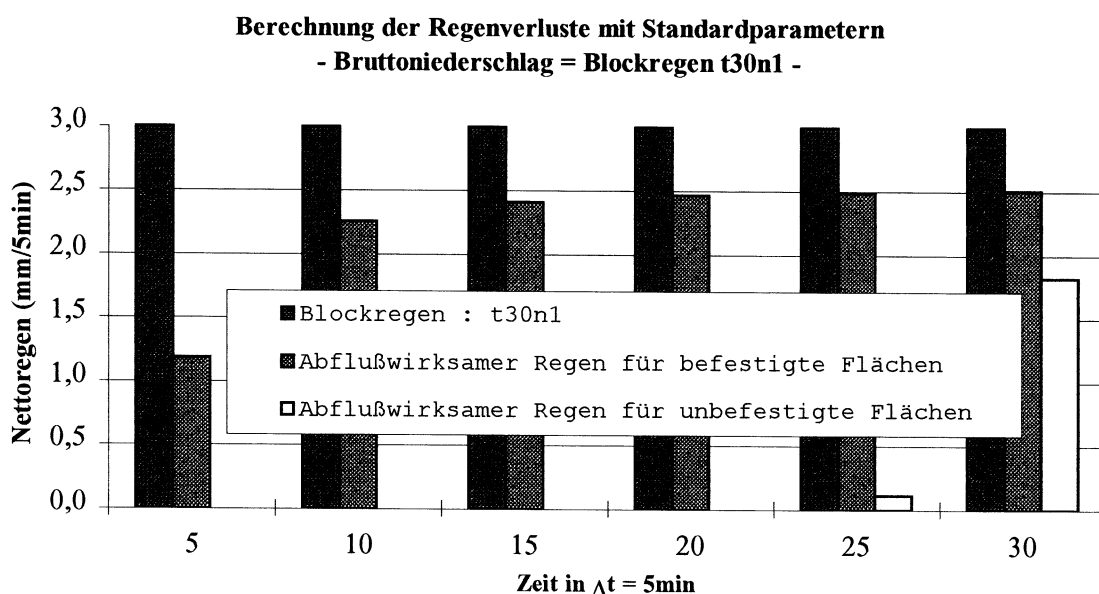


Abb. 4 : Charakterisierung der Abflußbildung für Blockregen **t30n1**

3. 2. Vergleich zwischen Feinnetz- und Grobnetz-Berechnungen für SONTHOFEN 1

Zum Vergleich der Simulationen werden folgende Parameter gezogen:

- Charakterisierung der hydraulischen Leistung des Netzes
- Charakterisierung der Systemantwort (Abflußganglinien)
- Rechenzeit

Die hydraulische Leistung wird maßgeblich durch Erfassung des Einstau- und Überstauverhaltens charakterisiert. Eine Aussage über Fließstörungen in denjenigen Kanalteilen, die gelöscht wurden, ist besonders wichtig, da solch lokale Beeinträchtigung des Transports nachträglich - z.B. durch Neukalibrierung der Konzentration - nicht nachgebildet werden kann.

	SF1_0	SF1_1	SF1_2
Anzahl der Einstauschächte	19 (4,0%)	12 (10,4%)	4 (9,3%)
Anzahl der Überstauschächte	-	-	-
Abflußvolumen am Auslaß (m³)	4147	4121	4118

Tab. 6 : Hydraulische Leistung des Teilnetzes SONTHOFEN 1, Regen : t30n1

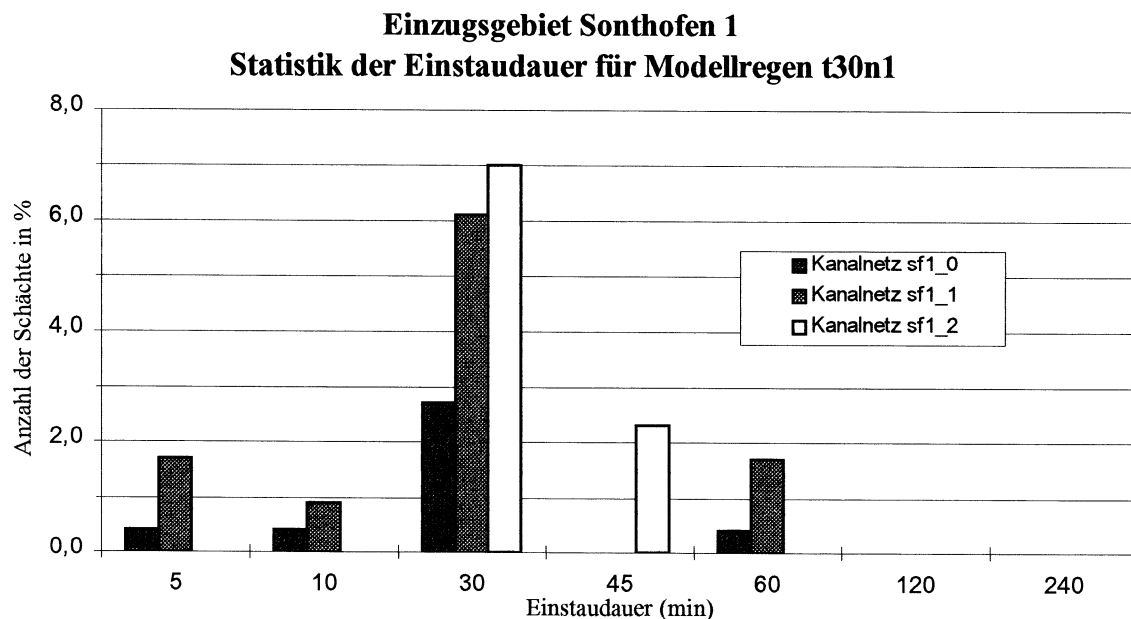


Abb. 5 : Verteilung der Einstaudauer in SONTHOFEN 1, Regen : t30n1

SONTHOFEN 1 Modellregen t30n1
Abflußganglinien am Gebietsasulaß

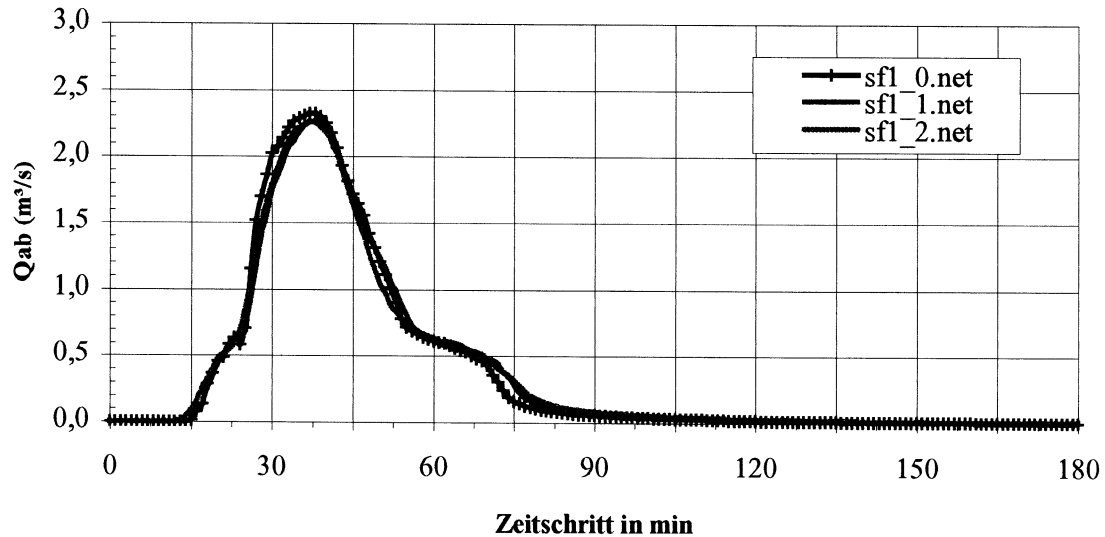


Abb. 6 : Abflußganglinien am Gebietsauslaß, SONTHOFEN 1, Modellregen t30n1

Netz	Volumen (m^3)	$Q_{\max}$ (m^3/s)	t_L (min)
sfl_0.net	4143,5	2,319	44
sfl_1.net	4124,7	2,255	46
sfl_2.net	4118,3	2,319	45

Tab. 7: Kenndaten der Abflußganglinien für die 3 Netzbeschreibungen, SONTHOFEN 1, Modellregen t30n1

zu vergleichende Ganglinie	DEV-Vol (%)	DEV-Q (m^3/s)	DEV- $Q_{\max}$ (%)	DEV- t_L (%)
Berechnung mit sfl_1.net	0,5	0,066	2,8	-4,3
Berechnung mit sfl_2.net	0,6	0,062	3,0	-3,4

Tab. 8: Berechnung der Abweichungen (Bezugsnetz ist das Feinnetz SF1_0.NET)

mit

$V1$ (m^3)	Volumen der Bezugsganglinie
$V2$ (m^3)	Volumen der zu vergleichenden Ganglinie
DEV-Vol (%)	$= 100 \cdot \frac{V2 - V1}{V1}$
$Q_{\max 1}$ (m^3/s)	Maximaler Abflußwert der Bezugsganglinie
$Q_{\max 2}$ (m^3/s)	Maximaler Abflußwert der zu vergleichenden Ganglinie

$$\text{DEV-Qmax (\%)} = \frac{Q_{\max 1} - Q_{\max 2}}{Q_{\max 1}}$$

DEV-Q (m³/s) mittlere absolute Abweichung der Abflußwerte

t_L (min) zeitlicher Schwerpunkt der entsprechenden Ganglinie

$$\text{DEV-}t_L (\%) = \frac{t_{L1} - t_{L2}}{t_{L1}}$$

Simulationsparameter		SF1_0.NET	SF1_1.NET	SF1_2.NET
Empfohlener Zeitschritt	(s)	0,25	0,25	3,25
Gewählter Zeitschritt	(s)	0,20	0,20	3,00
Simulationsdauer	(min)	270	270	270
Volumenfehler	(%)	-0,03	0,03	0,21
Rechenzeit [Pentium 166 Mhz]	(min)	55	18	0,67

Tab. 9: Vergleich der Berechnungszeiten für SONTHOFEN 1, Regen : t30n1

3. 3. Vergleich zwischen Feinnetz- und Grobnetz-Berechnungen für SONTHOFEN 2

	SF2_0	SF2_1	SF2_2
Anzahl der Einstauschächte	23 (5,3 %)	-	-
Anzahl der Überstauschächte	-	-	-
Einleitungsvolumen an S7040 (m³)	5422	5418	5125
Entlastungsvolumen an S6005(m³)	5,9	5,9	300

Tab. 10 : Hydraulische Leistung des Teilnetzes SONTHOFEN 2, Regen : t30n1

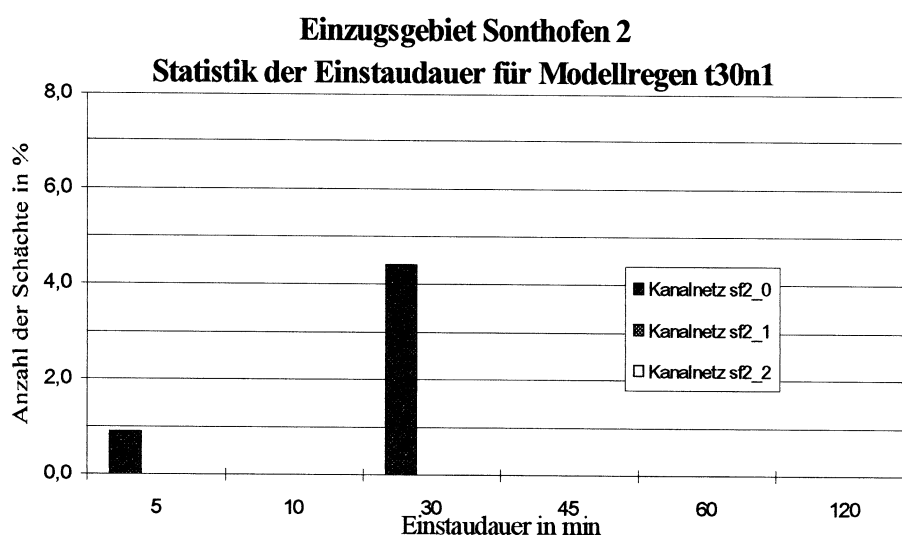


Abb. 7 : Verteilung der Einstaudauer in SONTHOFEN 2, Regen : t30n1

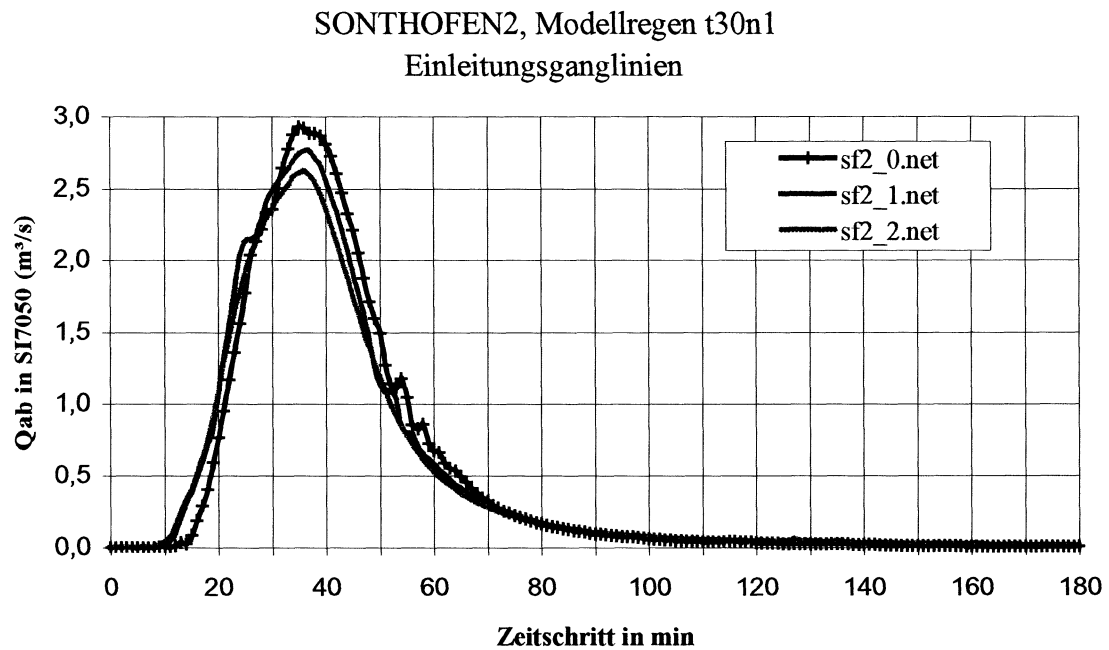


Abb. 8 : Einleitungsganglinie am Knoten SI750, Teilgebiet SONTHOFEN 2, Regen : t30n1

Netz	Volumen (m³)	Q_{max} (m³/s)	t_L (min)
SF2_0.NET	5421,5	2,930	43,9
SF2_1.NET	5418,5	2,765	44,3
SF2_2.NET	5125,3	2,625	43,9

Tab. 11: Kenndaten der Einleitung aus Knoten SI750, SONTHOFEN 2, Modellregen t30n1

zu vergleichende Ganglinie	DEV-Vol (%)	DEV Q (m³/s)	DEV-Qmax (%)	DEV- t_L (%)
Berechnung mit sf2_1.net	0,055	0,102	5,6	-0,892
Berechnung mit sf2_2.net	5,464	0,126	10,4	0,026

Tab. 12: Berechnung der Abweichungen (Bezugsnetz ist das Feinnetz SF2_0.NET)

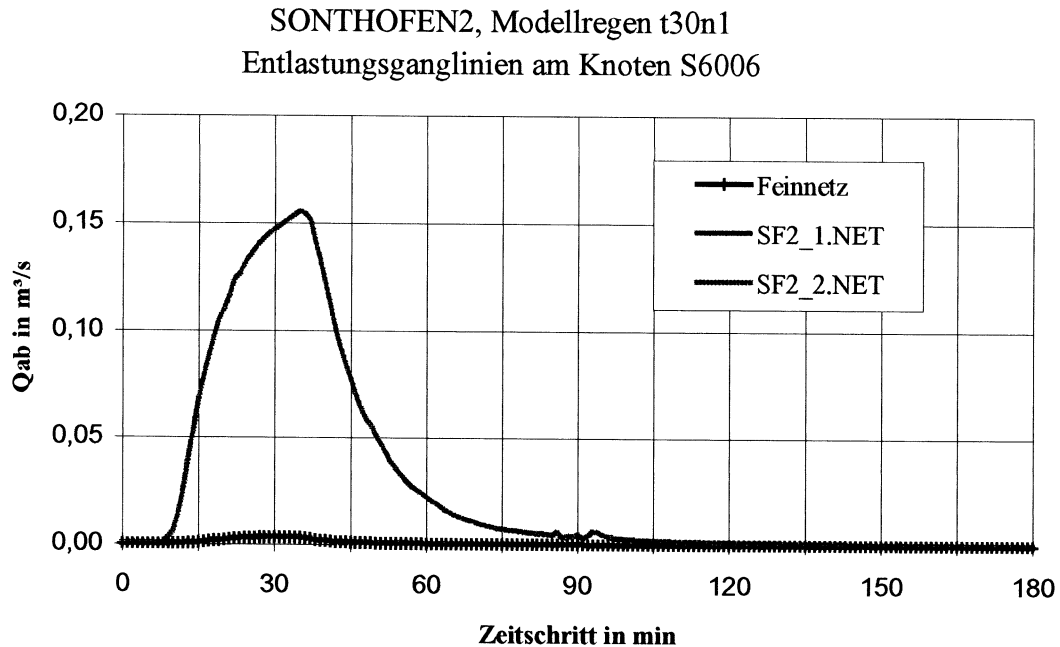


Abb. 9 : Entlastungsganglinie am Knoten S6006, Teilgebiet SONTHOFEN 2, Regen : t30n1

Netz	Volumen (m^3)	$Q_{\max}$ (m^3/s)	t_L (min)
SF2_0.NET	5,86	0,003	39,9
SF2_1.NET	5,86	0,003	39,9
SF2_2.NET	300,01	0,155	37,5

Tab. 13: Kenndaten der Entlastung am Knoten S6006, SONTHOFEN 2, Modellregen t30n1

Simulationsparameter		SF2_0.NET	SF2_1.NET	SF2_2.NET
Empfohlener Zeitschritt	(s)	0,17	0,48	3,22
Gewählter Zeitschritt	(s)	0,17	0,2	3,0
Simulationsdauer	(min)	270	270	270
Volumenfehler	(%)	-0,04	0,03	0,04
Rechenzeit [Pentium 166 Mhz]	(min)	70	15	0,5

Tab. 14: Vergleich der Berechnungszeiten für SONTHOFEN 2, Regen : t30n1

4. Schlußfolgerungen

Die Simulationsergebnisse zeigen deutlich, daß die Zulässigkeit einer Netzvereinfachung stark davon abhängt, welcher Aspekt der hydraulischen Leistung betrachtet wird. Soll nur die „Antwort des Systems“ auf die Niederschlagsbelastung betrachtet werden, ergibt eine drastische Netzvereinfachung immer noch gute Ergebnisse. Dies gilt um so mehr, je höher die hydraulische Leistung des Kanals ist - vgl. zwischen SONTHOFEN 1 und SONTHOFEN2 -.

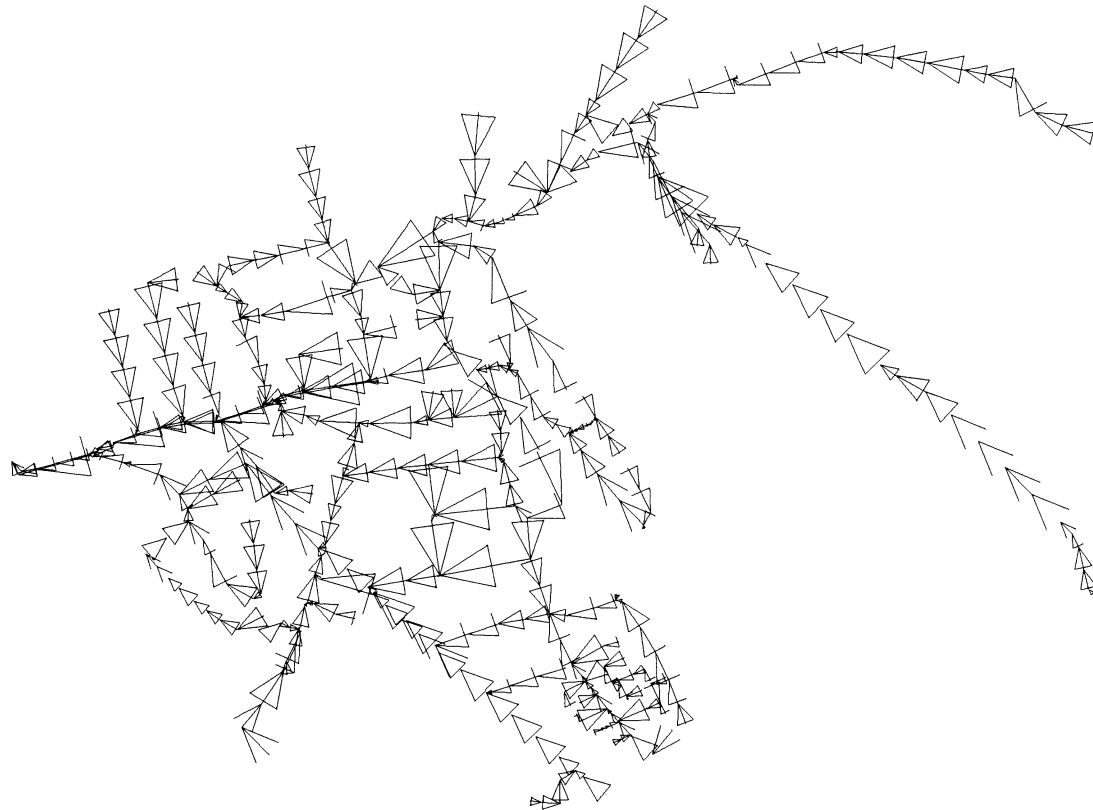


Abb. 1: Feinnetz SONTHOFEN 1, 485 Haltungen

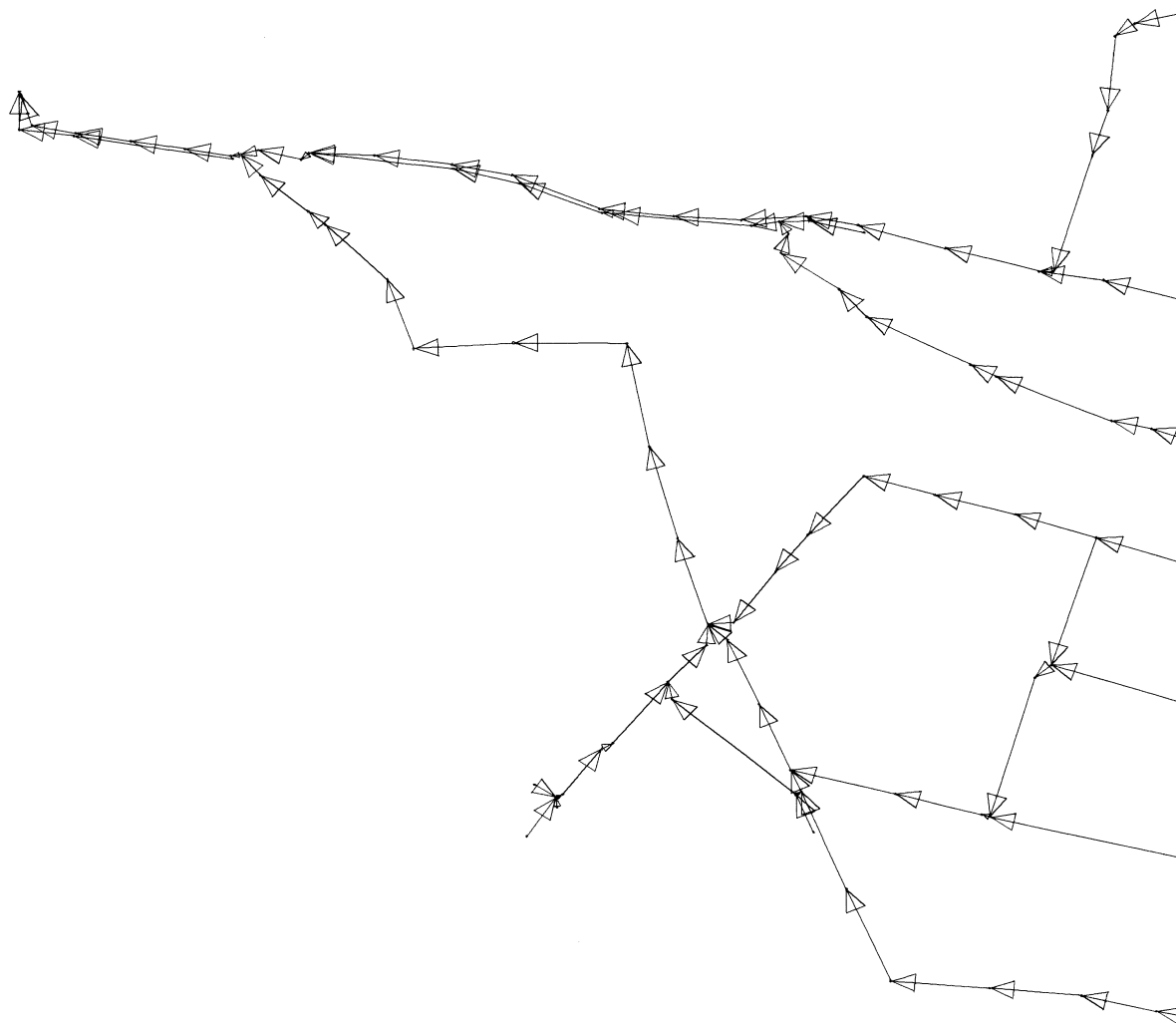


Abb. 2: Grobnetz SF1_1.NET in SONTHOFEN 1, 121 Haltungen

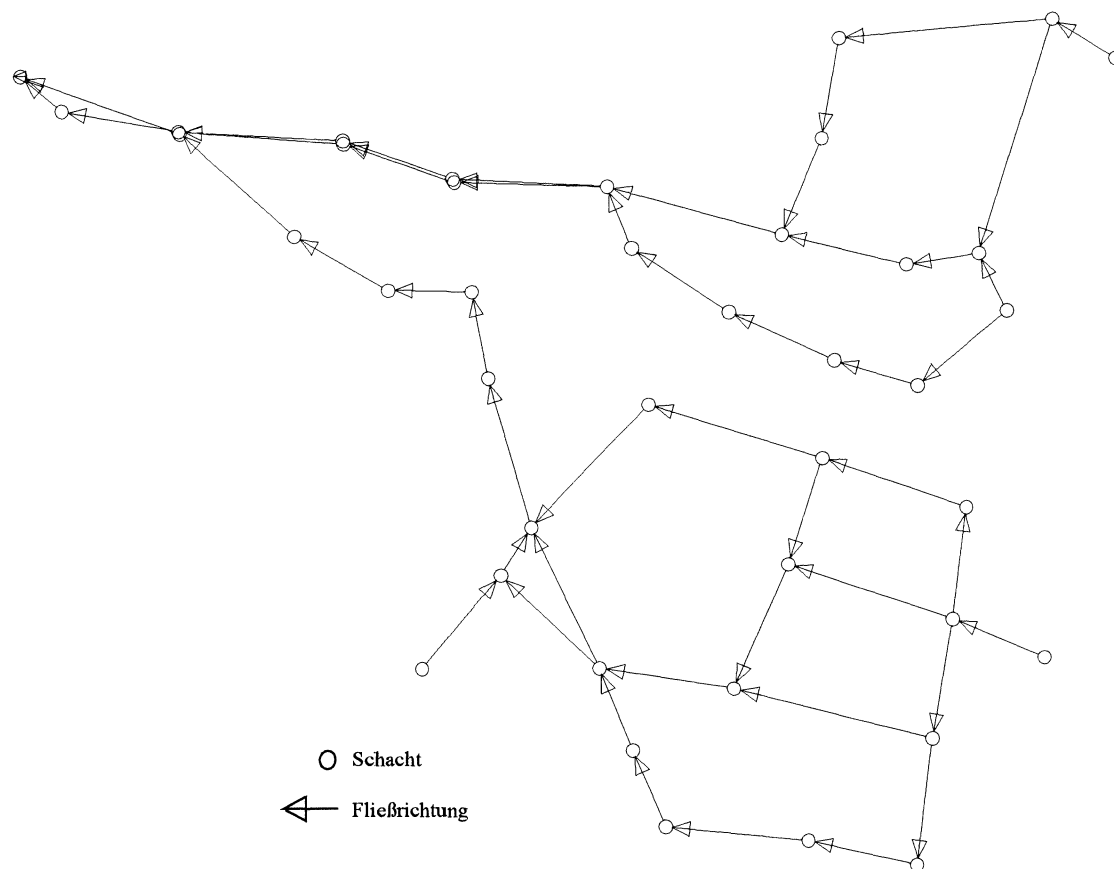


Abb. 3: Grobnetz SF1_2.NET in SONTHOFEN 1, 49 Haltungen

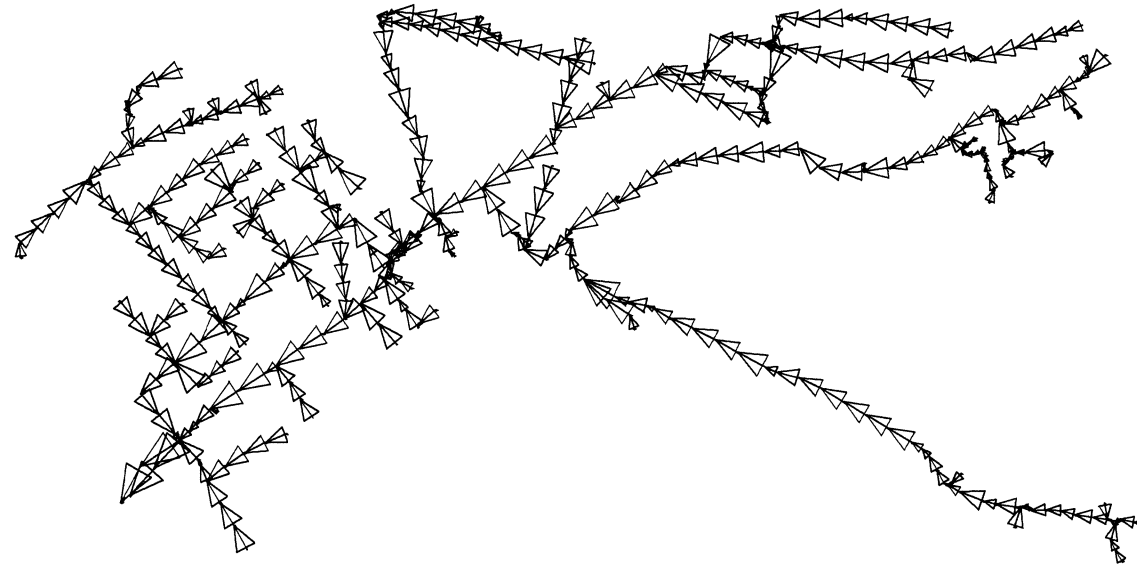


Abb. 1: Feinnetz SF2_0.NET, SONTHOFEN 2, 432 Haltungen

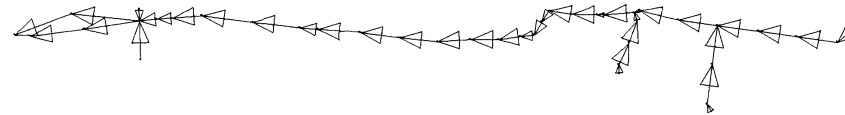


Abb. 2: Grobnetz SF2_1.NET, SONTHOFEN 2, 39 Haltungen

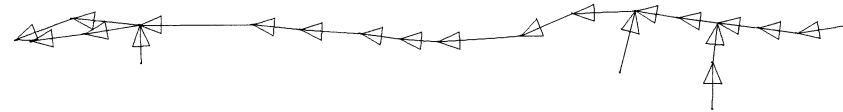


Abb. 3: Grobnetz SF2_2.NET, SONTHOFEN 2, 21 Haltungen

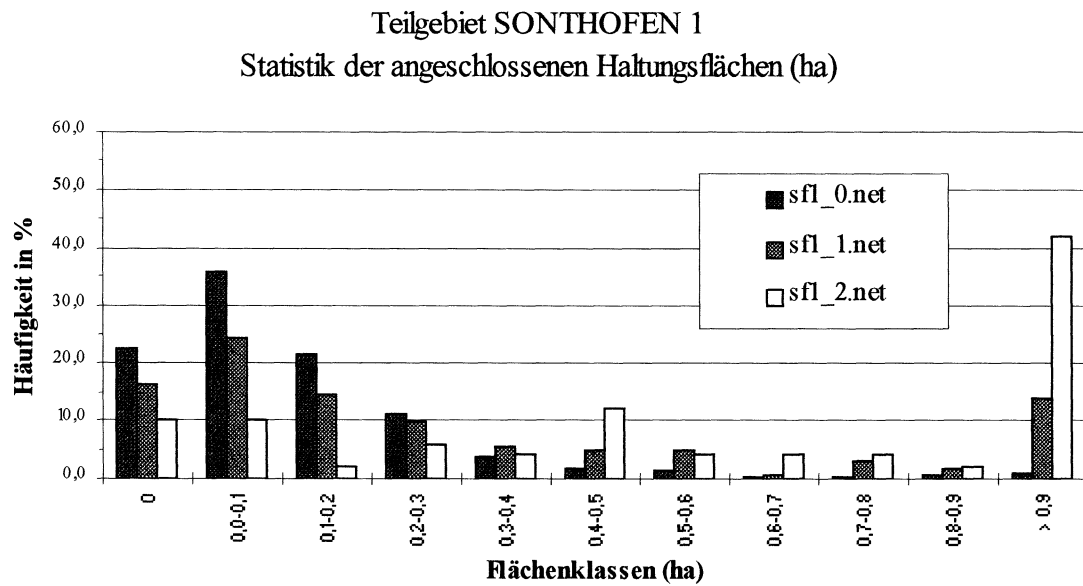


Abb. 1: Verteilung der gesamten angeschlossenen Haltungsflächen

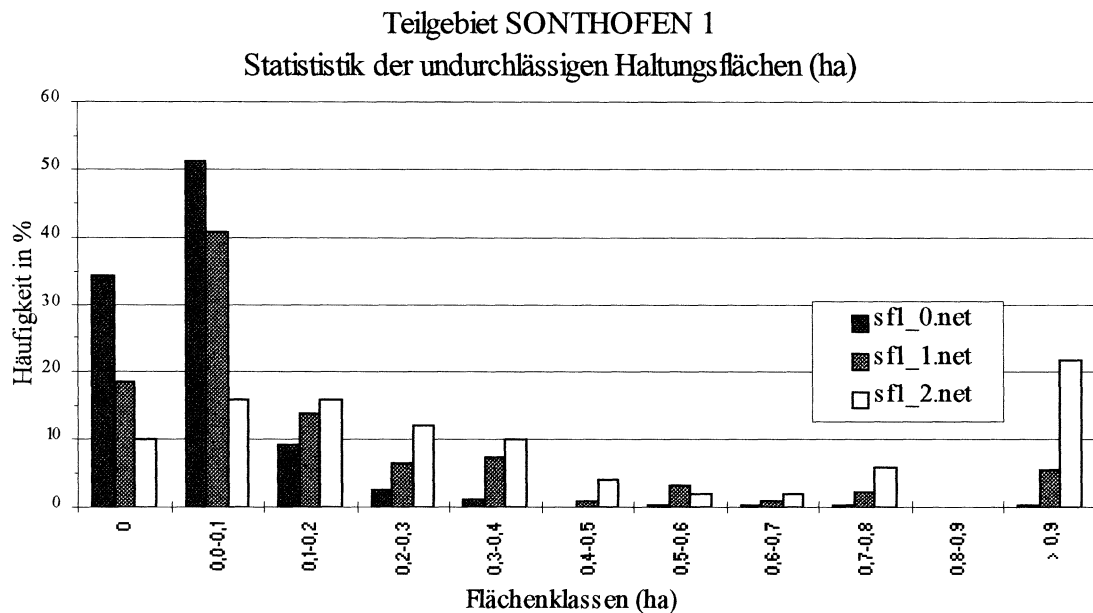


Abb. 2: Verteilung der undurchlässigen Haltungsflächen

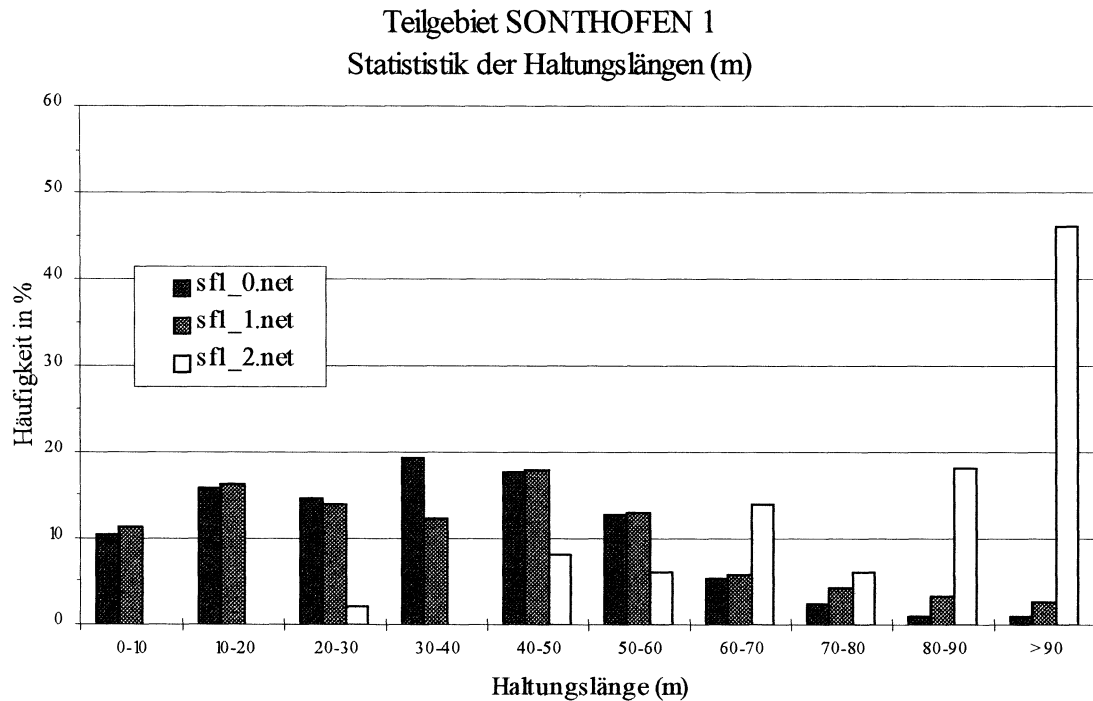


Abb. 3: Verteilung der Haltungslängen

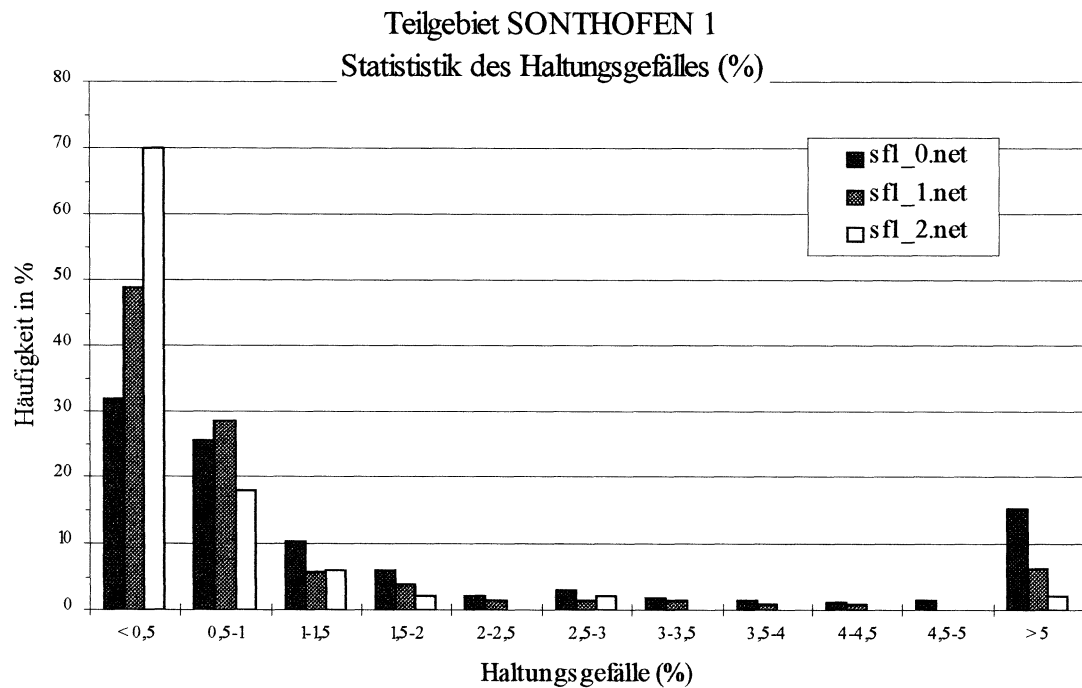


Abb. 4: Verteilung der Haltungsgefälle

Teilgebiet SONTHOFEN 1
Statistik der äquivalenten Kreisdurchmesser

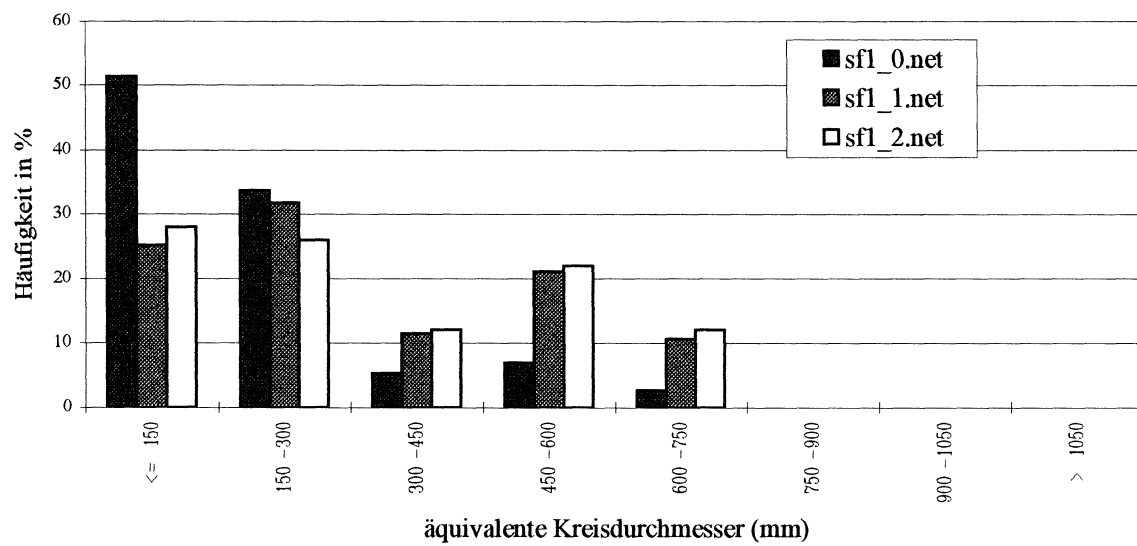


Abb. 5: Verteilung der Rohrdurchmesser

Teilgebiet SONTHOFEN 2
Statistik der angeschlossenen Haltungsflächen (ha)

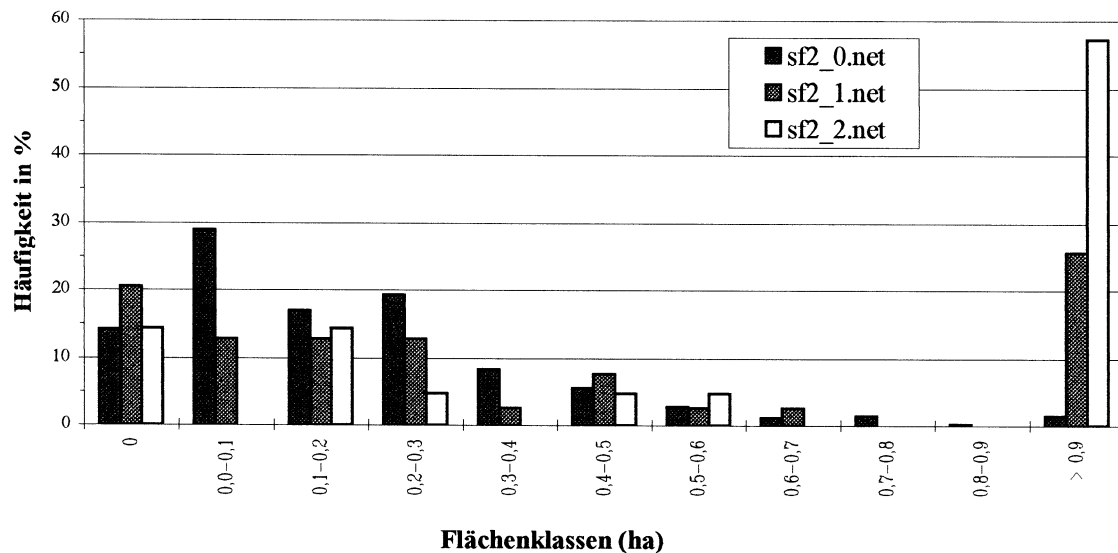


Abb. 1: Verteilung der gesamten angeschlossenen Haltungsflächen

Teilgebiet SONTHOFEN 2
Statistik der undurchlässigen Haltungsflächen (ha)

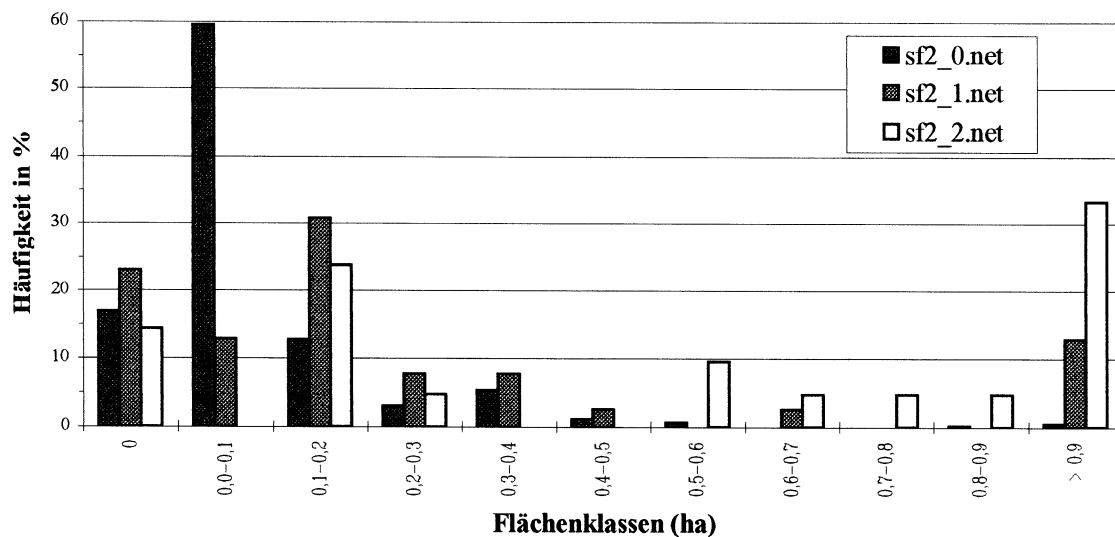


Abb. 2: Verteilung der undurchlässigen Haltungsflächen

Teilgebiet SONTHOFEN 2
Statistik der Haltungslängen (m)

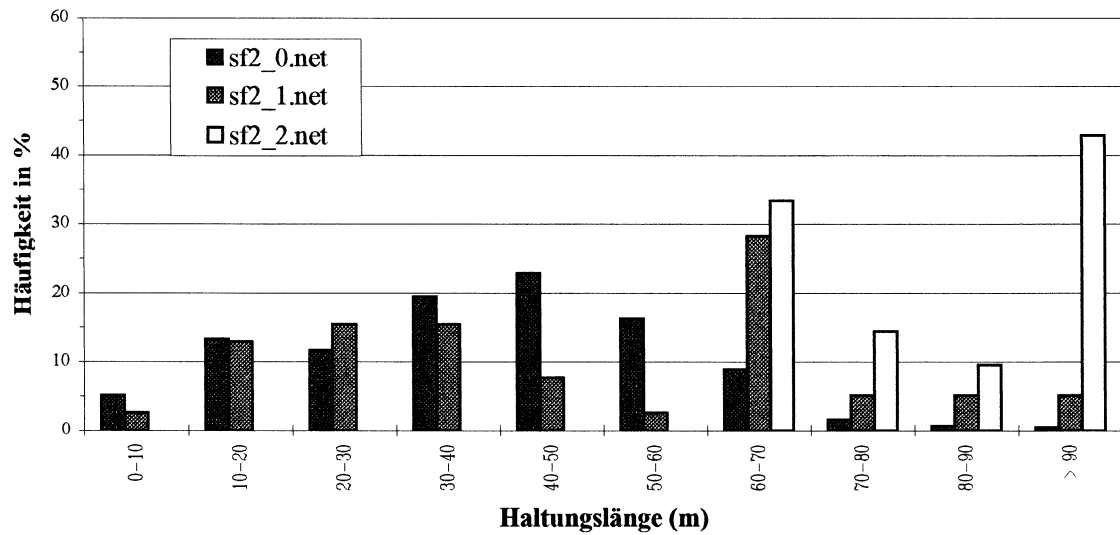


Abb. 3: Verteilung der Haltungslängen

Teilgebiet SONTHOFEN 2
Statistik der Haltungsgefälle

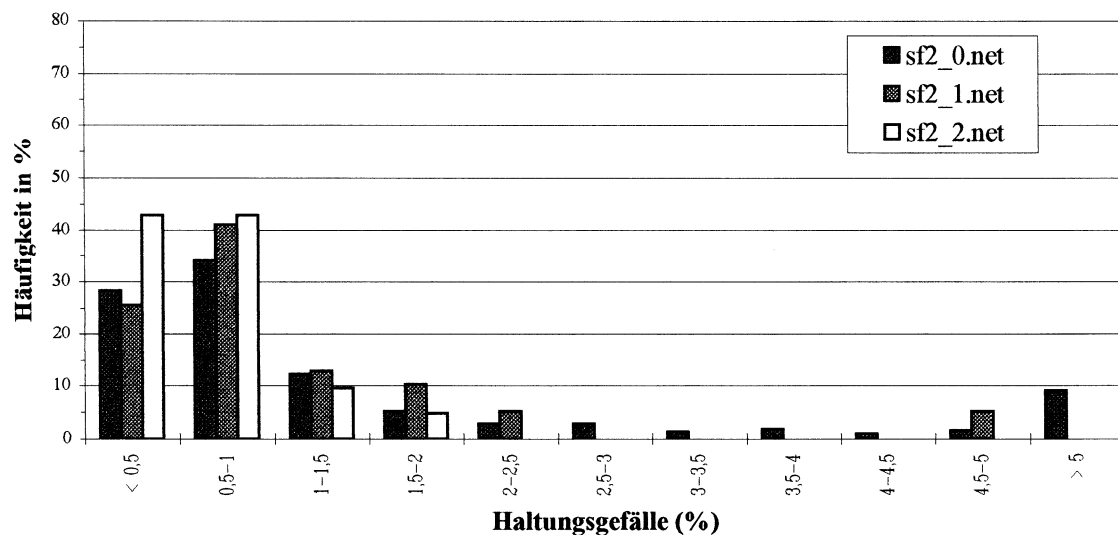


Abb. 4: Verteilung der Haltungsgefälle

Teilgebiet SONTHOFEN 2
Statistik der äquivalenten Kreisdurchmesser

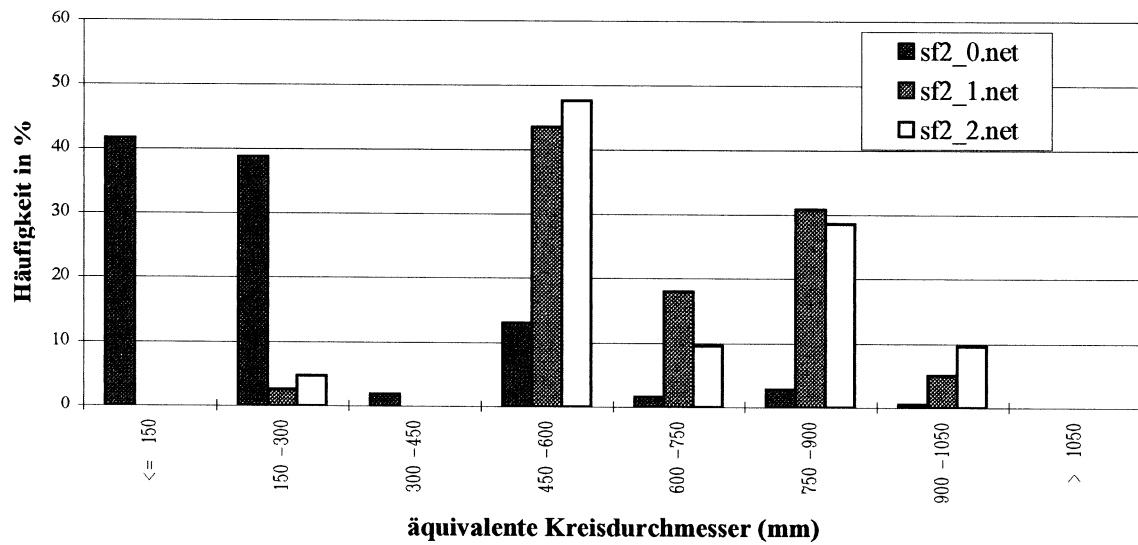


Abb. 5: Verteilung der Rohrdurchmesser