

### 3.5.2 Erläuterungen zur Codierung von Routingvorschriften in WaSiM-ETH

Im Modul des Abflussroutings gibt es die Möglichkeit, neben dem Routing des in den Teilgebieten gebildeten Abflusses auch externe Zuleitungen in das Gebiet hinein bzw. Ableitungen aus dem Gebiet heraus sowie Überleitungen von einem Teilgebiet in ein anderes (innerhalb des Modellgebietes) zu berücksichtigen. Weiterhin kann die Wirkung von Speichern auf die Abflussganglinie durch Angabe von Inhalts-Abgabe-Regeln berücksichtigt werden.

Zu-, Ab- und Überleitungen: Zu- und Ableitungen können jeweils als extern oder intern definiert werden. *Externe Ableitungen* werden aus dem Gebiet herausgeleitet und im weiteren Modellgeschehen nicht berücksichtigt, sind also Verluste, z.B. durch Entnahmen für Kühlwasser, Bewässerung, Trinkwasserversorgung, aber auch Karstwasserverluste etc., die NICHT wieder ins Gebiet gelangen. Die Ableitungen werden über die Routingvorschrift (siehe unten) des betreffenden Teilgebietes definiert und als Datei, immer mit der Einheit  $\text{m}^3/\text{s}$ , herausgeschrieben.

*Externe Zuleitungen* sind dagegen Abflüsse, welche im Modell nicht selbst generiert wurden, aber durch natürliche oder antropogene Einflüsse real ins Gebiet gelangen, wie z.B. Abwassereinleitungen bei Entnahme des Trinkwassers in anderen Gebieten wie bei der Bodensee-Wasserversorgung für den Grossraum Stuttgart. Sie werden im Modell pro Zuleitung aus einer Datei im WaSiM-Tabellenformat in der Einheit  $\text{m}^3/\text{s}$  eingelesen.

Interne Ab- und Zuleitungen, sogenannte *Überleitungen*, beschreiben den antropogen oder natürlich bedingten Transfer von Wasser innerhalb des Modellgebietes, der nicht über die natürlichen Fliesswege in den Gerinnen erfolgt und deshalb nicht über die Baumstruktur des Flussnetzes erfasst werden kann. Beispiele sind Karstwasserversinkungen und damit verbundene Karstquellen in benachbarten Gebieten. Solche Überleitungen werden im Quellgebiet als interne Ableitung und im Zielgebiet als interne Zuleitung betrachtet. Der Unterschied zu externen Ab- und Zuleitungen besteht darin, dass für diese Überleitungen keine externen Dateien geschrieben werden. Umgekehrt kann eine Überleitung auch nicht durch die Kombination von externen Zu- und Ableitungen innerhalb desselben Modellaufes modelliert werden, da das Modell nur die mit dem Schlüsselwort „intern“ versehenen Ab- und Zuleitungen miteinander zu Überleitungen verbindet. Es ist jedoch sehr wohl möglich, in zwei aufeinanderfolgenden Modellläufen zunächst eine externe Ableitung und dann eine externe Zuleitung zu definieren, wobei im ersten Fall aber NUR die Ableitung stattfindet, das Zielgebiet also keine Zuleitung erhält, und im zweiten Fall NUR die Zuleitung stattfindet, also im Quellgebiet keine Entnahme erfolgt (was aber durch eine erneute externe Ableitung aus diesem Gebiet, die aber mit einem neuen Dateinamen versehen sein muss, erfolgen kann). Der Vorteil solchen Vorgehens kann darin liegen, dass mit definierten Zu- und Ableitungen gearbeitet wird, die nicht unbedingt aus Modellergebnissen stammen müssen, sondern die auch aus Messdaten stammen können.

Speicher: Werden im Gebiet *Speicher* berücksichtigt, so sollten diese möglichst innerhalb eines eigenen kleinen Teilgebietes liegen. Eine Routingstrecke kann beliebig viele Speicher enthalten, es ist aber empfehlenswert, nur maximal einen Speicher pro Routingstrecke zu berücksichtigen und bei Vorhandensein mehrerer Speicher das Gebiet in mehrere Teilgebiete zu unterteilen. Aus dem untersten der Speicher eines Teilgebietes sind beliebig viele Ableitungen (extern oder intern) möglich, d.h., wenn in einem Gebiet Ableitungen und Speicher gleichzeitig berücksichtigt werden sollen, dann erfolgt die Entnahme der Ableitung nicht aus den Gerinnen, sondern aus den Speichern. Zuflüsse gelangen in den obersten Speicher. Sohlschwellen, Wehre oder andere Stauungen im Fliessgewässer sollten nicht durch Speicher, sondern durch die Anpassung der hydraulischen Parameter, zu denen neben Rauigkeiten und Geometriedaten auch Speicherkonstanten zählen, berücksichtigt werden.

Routingvorschriften: Für die Bearbeitung des Abflussroutings sind sowohl hydraulische Parameter der Fliessstrecken als auch eine Kenntnis über die Verzweigungsstruktur des Flussgebietes nötig. Es wird zunächst davon ausgegangen, dass die Gewässer des Flussgebietes in einer Baumstruktur, also ohne Ver-

zweigungen in Fließrichtung und ohne Querverbindungen miteinander verbunden sind. Somit kann für jeden Gerinneabschnitt ein eindeutiger Entwässerungsgraph angegeben werden. Diese Baumstruktur kann aber durch interne Überleitungen gestört werden. Es wird deshalb in diesem Modell so vorgegangen, dass interne Überleitungen erst nach dem Routen der Abflüsse des aktuellen Intervalls berücksichtigt werden, also erst im folgenden Intervall am Routing teilnehmen, was insofern „vernünftig“ ist, als auch die physikalische Realisierung der Überleitungen eine gewisse Zeit in Anspruch nimmt. Die Baumstruktur kann per Hand in einem beliebigen Editor in die Steuerdatei geschrieben werden. Es kann aber auch das Programm Tanalys genutzt werden, welches jedoch keine externen oder internen Ab- und Zuleitungen sowie keine Speicher berücksichtigen kann. Folgt der Aufbau der Steuerdatei nicht der Entwässerungsstruktur des Einzugsgebietes, sind die Ergebnisse des Abflussroutings nicht definiert und es können unerwartete Resultate auftreten!

Das Routing kann entweder so ausgeführt werden, dass der Abfluss jedes Oberliegers (tributäre Teilgebiete oder externe/interne Zuleitungen) in einem eigenen Gerinne bis zum Auslass des gerade betrachteten Gebietes geroutet wird, oder es wird zuerst die Summe einer Anzahl von Zuflüssen gebildet, welche dann gemeinsam geroutet werden. Die erste Vorgehensart entspricht in der Regel dem Routing, wie es bei einer Zerlegung des Gebietes anhand eines bestehenden Pegelnetzes durchgeführt wird; die zweite Routingmethode entspricht dem Routing, wie es bei einer Unterteilung des Einzugsgebietes nach Flussmündungen nötig ist (auch die Analyse mit Tanalys erzeugt solche Teilgebietsstrukturen), weil dann die Oberlieger am Beginn einer Routingstrecke ineinander münden. Es können in einer Routingvorschrift beliebige viele Routingstrecken beider Varianten vorkommen. Am Ende aller Routingstrecken werden dann die gerouteten Abflüsse mit dem im Zwischengebiet selbst gebildeten Abfluss flächenanteilig gewichtet überlagert und dem nächsten Gebiet als Zufluss zur Verfügung gestellt. Eine Routingvorschrift kann beliebig viele Oberlieger, Zu- und Ableitungen und Speicher enthalten. Die Struktur wird an folgendem Beispiel erläutert:

```
TG 9 (AE= 484.0, AErel=1.0)
aus OL 10 (kh=0.4, kv=0.4, Bh=3.5, Bv=20.0, Th=0.5, Mh=25.0, Mv=15.0, I=0.0128, L=10408.3, AE=3.75 )
und OL 11 (kh=0.4, kv=0.4, Bh=7.0, Bv=50.0, Th=1.0, Mh=25.0, Mv=15.0, I=0.0066, L=10838.5, AE=90.75 )
und OL 12 (kh=0.4, kv=0.4, Bh=10.0, Bv=60.0, Th=1.4, Mh=27.0, Mv=15.0, I=0.0084, L=36339.6, AE=81.5 )
TG 5 (AE= 262.1, AErel=1.0)
aus SUMTRIB 6&7 (kh=0.4, kv=0.4, Bh=6.0, Bv=30.0, Th=1.2, Mh=25.0, Mv=15.0, I=0.0195, L=10101.2, AE=133.75)
TG 4 (AE=1086.1, AErel=1.0)
aus OL 5 (kh=0.3, kv=0.4, Bh=14.0, Bv=40.0, Th=2.5, Mh=30.0, Mv=20.0, I=0.0046, L=27005.3, AE=262.1 )
und OL 8 (kh=0.4, kv=0.4, Bh=6.0, Bv=50.0, Th=1.0, Mh=30.0, Mv=15.0, I=0.0090, L=26206.5, AE=16.5 )
und OL 9 (kh=0.3, kv=0.4, Bh=15.0, Bv=60.0, Th=2.5, Mh=30.0, Mv=20.0, I=0.0037, L=26673.4, AE=488.1 )
TG 2 (AE= 208.8, AErel=1.0)
aus OL 3 (kh=0.4, kv=0.4, Bh=7.0, Bv=30.0, Th=0.9, Mh=25.0, Mv=15.0, I=0.0060, L=11952.7, AE=75.25 )
TG 13 (AE=1586.7, AErel=1.0)
aus OL 2 (kh=0.3, kv=0.4, Bh=14.6, Bv=30.0, Th=2.0, Mh=40.0, Mv=15.0, I=0.0024, L=841.4, AE=208.8 )
und OL 4 (kh=0.3, kv=1.4, Bh=14.0, Bv=40.0, Th=3.0, Mh=45.0, Mv=15.0, I=0.0019, L=35000.0, AE=1086.1)
TG 1 (AE=1703.0, AErel=1.0)
aus OL 13 (kh=0.3, kv=0.7, Bh=22.0, Bv=50.0, Th=4.5, Mh=45.0, Mv=15.0, I=0.0011, L=20289.9, AE=1586.7)
```

In diesem Beispiel sind noch keine Zu-, Ab- und Überleitungen enthalten. Zunächst werden die Abflüsse der Teilgebiete 10, 11 und 12 geroutet und mit den Abflüssen des Zwischengebietes, des Teilgebietes 9, überlagert. Anschliessend erfolgt das Routing für die Gebiete 6 und 7, welche am Beginn der Routingstrecke addiert werden (SUMTRIB = sum of tributaries) zum Auslass des Gebietes 5. Da die Gebiete 5, 6 und 7 unabhängig von den Gebieten 9, 10, 11 und 12 sind, hätte auch die zweite Routingvorschrift als erste stehen können. Das trifft auch auf die weiter unten stehende Routingvorschrift für das Teilgebiet 2 zu. Alle drei routen Abflüsse aus Quellgebieten in Zwischengebiete zweiter Ordnung. In der dritten Vorschrift werden dann die Abflüsse aus den bereits gerouteten Teilgebietsabflüssen der Gebiete 5 und 9 zum Auslass von Teilgebiet 4 geroutet und mit den Abflüssen des Gebietes 8 und dem Abfluss aus dem Zwischengebiet des Gebietes 4 überlagert. Auf diese Weise erfolgt das Routing gemäss der Baumstruktur des Entwässerungsnetzes bis am Ende der Gesamtabfluss für das Teilgebiet 1 berechnet wird.

#### Bedeutung der Schlüsselwörter in einfachen Routingvorschriften:

- TG Teilgebiet; das Gebiet, an dessen Auslass die gerouteten Zuflüsse mit dem Teilgebietsabfluss flächengewichtet überlagert werden.

- AE = xxxx echte Einzugsgebietsfläche am Auslass des Teilgebietes TG; auch wenn das Gebiet nicht vollständig modelliert wird, muss hier die echte Einzugsgebietsgrösse stehen
- Aere1 = xxx relative Einzugsgebietsfläche; der Anteil der Fläche am Modellgebiet dieses Teilgebietes, der im Routing berücksichtigt werden soll. Normalerweise steht hier eine 1.0. Ein Sonderfall kann aber z.B. sein, dass ein Teilgebiet nicht durch seine modellierten sondern durch gemessene Abflüsse berücksichtigt werden soll. In diesem Fall wird das Teilgebiet in der Routingstruktur nicht berücksichtigt und der gemessene Abfluss als externe Zuleitung eingelesen. Um die Bilanz rein zu halten, muss nun aber die relative Einzugsgebietsgrösse verringert werden. Es wird nur noch der Flächenanteil der anderen Oberlieger und des Zwischengebietes selbst am im Modell modellierten Einzugsgebiet des Zwischengebietes plus aller seiner modellierten Oberlieger erfasst. Beispiel: Wenn das Gebiet 12 in der ersten Routingvorschrift durch eine externe Zuleitung berücksichtigt werden soll, dann sieht diese erste Routingvorschrift folgendermassen aus:

```
TG 9 (AE= 484.0, Aere1=0.8264)
  aus OL 10 (kh=0.4, kv=0.4, Bh=3.5, Bv=20.0, Th=0.5, Mh=25.0, Mv=15.0, I=0.0128, L=10408.3, AE=3.75 )
  und OL 11 (kh=0.4, kv=0.4, Bh=7.0, Bv=50.0, Th=1.0, Mh=25.0, Mv=15.0, I=0.0066, L=10838.5, AE=90.75 )
  und ZL 1 (modus = extern geb12.dat 4 5, kh=0.4, kv=0.4, Bh=10.0, Bv=60.0, Th=1.4, Mh=27.0, Mv=15.0,
I=0.0084, L=36339.6, AE=84.0 )
```

Die relative Einzugsgebietsfläche beträgt nun nur noch  $(305.5 + 3.75 + 90.75) / 484 = 0.8264 \text{ km}^2$ .

- OL xx Nummer des Oberliegers (tributären Teilgebietes); Code entspricht den Einzugsgebietscodes des Zonengrids des Bodenmodells
- SUMTRIB a&b&c... Nummern von Oberliegern a, b,c usw, die durch ein & verbunden sein müssen (keine Zuläufe!); alle aufgeführten Oberlieger werden am Beginn einer Routingstrecke überlagert und gemeinsam geroutet. Es können in einer Routingvorschrift beliebig viele Routingstrecken durch OL und/oder SUMTRIB (sowie ZL) definiert werden
- ZL xx Zulauf mit Nummer
- kh, kv Speicherkonstanten für Linear-speicheransatz zur Retentionsberechnung, Angabe in h, kh für das Hauptbett, kv für das Vorland
- Bh, Bv Breite des Hauptbettes und des Vorlandes in m
- Th Tiefe des Hauptbettes in m; die Tiefe des Vorlandes ist theoretisch unbegrenzt
- Mh, Mv Manning-Strickler-Beiwert für Hauptbett bzw. Vorland in  $\text{m}^{1/3}/\text{s}$
- I mittleres Gefälle auf der Gerinnestrecke in 1/1
- L Länge der Gerinnestrecke in m
- AE Einzugsgebietsgrösse des Oberliegers in  $\text{km}^2$

Die Angabe der Einzugsgebietsgrösse in der ersten Zeile einer Routingvorschrift ist nötig, um Zu- und Ableitungen und Speicherabgaben von  $\text{m}^3/\text{s}$  in  $\text{mm}/\text{Zeitintervall}$  und umgekehrt umrechnen zu können und die korrekte Überlagerung mit den Abflüssen des Teilgebietes zu gewährleisten. Wenn keine Zu- und Ableitungen und keine Speicher genutzt werden, ist die Angabe der Einzugsgebietsgrösse nicht relevant (aber dennoch nötig). Die Angabe der Einzugsgebietsgrösse für die einzelnen Oberlieger ist dagegen für die Aufstellung der Fliesszeiten-Tabelle am Beginn des Programmlaufes nötig. Sie sollte korrekt, aber zumindest so angegeben sein, dass die zu erwartenden Abflüsse als Abflussspenden deutlich innerhalb der in der Steuerdatei angegebenen Grenzen der Abflussspenden zur Ermittlung der Fliesszeitentabelle liegen. Es empfiehlt sich, den echten Wert zu verwenden. sehr kleine Werte führen zu langsameren Fliesszeiten bei Hochwassern, wenn die Fliesszeiten-Tabelle für die aus zu kleinen Einzugsgebietsgrössen folgenden zu hohen Abflussspenden keine gültigen Werte mehr enthält. Auch Zuleitungen, egal ob extern oder intern, muss aus diesem Grunde eine Einzugsgebietsgrösse zugeordnet werden. Für echte Oberlieger prüft WaSiM bei der Initialisierung, ob die angegebenen Teilgebietsgrößen mit denen aus dem Zonengrid übereinstimmen und passt sie gegebenenfalls letzteren an. Für Zuleitungen ist dieses Vorgehen jedoch nicht möglich, so dass hier die Angabe einer realistischen Gebietsgrösse erforderlich ist. Wenn eine externe Zuleitung einen natürlichen Zufluss darstellt, dessen Einzugsgebiet nicht im Modell mitmodelliert wurde,

dann kann dessen Einzugsgebietsgrösse rasch ermittelt und in die Routingvorschrift eingesetzt werden. Bei künstlichen Zuflüssen sollte eine zu verwendende Einzugsgebietsgrösse anhand der Gerinneparameter abgeschätzt werden. Ist die Gerinnegeometrie z.B. mit 3.5m Breite x 0.5 m Tiefe, einem Gefälle von 0.01 und einem Manningbeiwert von  $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  vorgegeben, so ergibt sich bei randvollem Gerinne eine Fließgeschwindigkeit von 1.332 m/s oder ein Durchfluss von  $2.331 \text{ m}^3/\text{s}$ . Schwankt der Zufluss bekanntermassen z.B. zwischen 0.2 und  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ , so kann hier eine Einzugsgebietsgrösse von etwa 5 bis  $30 \text{ km}^2$  angegeben werden, damit die daraus berechneten Spenden im Bereich zwischen 6.67 und 66.7 (bei  $30 \text{ km}^2$ ) bzw. zwischen 40 und  $400 \text{ l/s/km}^2$  (bei  $5 \text{ km}^2$ ) liegen. Da die Berechnung der Fließzeiten-Tabelle für Spenden von z.B. 5 bis 1200 durchgeführt wird ist somit gewährleistet, dass alle Zuleitungsmengen mit einer korrekten Fließgeschwindigkeit geroutet werden können.

#### Routing mit Zu- und Ableitungen sowie mit Speichern:

Das folgende Beispiel zeigt die Routingvorschrift für einige Teilgebiete der Thur mit fiktiven Zu- und Ableitungen (Schlüsselwort AL) sowie Speichern. Im Gebiet 13 treffen die Abflüsse aus den Gebieten 2 und 4 zusammen, ausserdem wird eine interne Ableitung AL 1 definiert, die im Gebiet 1, der folgenden Routingvorschrift gemäss, wieder als Zuleitung eingebunden wird (also ist es eine interne Überleitung). Dass es sich um eine Überleitung handelt erkennt das Programm erstens am Schlüsselwort „intern“ und zweitens am Vergleich der Nummern. Zur internen Zuleitung ZL 1 muss es eine interne Ableitung AL 1 geben und umgekehrt.

```
TG 13 (AE=1586.7, AErel=1.0)
  aus OL 2 (kh=0.3, kv=0.4, Bh=14.6, Bv=30.0, Th=2.0, Mh=40.0, Mv=15.0, I=0.0024, L=841.4, AE=210.0 )
  und OL 4 (kh=0.3, kv=1.4, Bh=14.0, Bv=40.0, Th=3.0, Mh=45.0, Mv=15.0, I=0.0019, L=35000.0, AE=1220.0)
  und AL 1 (modus = intern 0.1 0.8 0.7 )
TG 1 (AE=1703.0, AErel=1.0)
  aus OL 13 (kh=0.3, kv=0.7, Bh=22.0, Bv=50.0, Th=4.5, Mh=45.0, Mv=15.0, I=0.0011, L=20289.9, AE=1650.0)
  und ZL 1 (modus = intern, kh=0.4, kv=0.4, Bh=10.0, Bv=60.0, Th=1.4, Mh=27.0, Mv=15.0, I=.0084, L=36333, AE=20)
)
  und SP 1 (file = spv__01.84 , V0 = 1E8 , C0 = 1.0 0.1 3.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 )
  und AL 2 (modus = extern ableitung3.dat 0 1 12 m3/s )
```

Die interne Ableitung ist folgendermassen definiert: ab 0.1 mm/Zeitintervall Abfluss gehen 80% (Anteil 0.8) des Gesamtgebietsabflusses des Gebietes 13 in die Ableitung, maximal jedoch 0.7 mm/Zeitintervall. Die Drei Parameter stellen also die Schwelle zum Anspringen der Ableitung, den Anteil abgeleiteten Wassers oberhalb des Schwellenwertes sowie die Kapazität der Ableitung dar. Die Angabe kann und sollte aber besser in  $\text{m}^3/\text{s}$  erfolgen, da sie dann unabhängig vom Zeitintervall ist. Dazu würde die Zeile mit AL 1 etwa wie im folgenden Beispiel aussehen (mit auf eine Einzugsgebietsgrösse von  $1586.7 \text{ km}^2$  umgerechneten Spenden):

```
TG 13 (... )
  aus ...
  und ...
  und AL 1 ( modus = intern, 44.1 0.8 308 m3/s )
```

Für externe Ableitungen muss ein Dateiname angegeben werden. Er folgt dann direkt nach modus = extern noch vor den drei Parametern. (vergleiche auch Ableitung 2 in Gebiet 1 in obigem Beispiel).

Wäre die Zuleitung in Gebiet 1 keine interne, sondern eine externe Zuleitung, so kämen als extra Parameter gegenüber der internen Zuleitung drei Parameter hinzu (siehe Beispiel):

```
und ZL 1 (modus = extern geb12.dat 4 5, kh=0.4, kv=0.4, Bh=10.0, Bv=60.0, Th=1.4, Mh=27.0, Mv=15.0, I=0.0084, L=36339.6, AE=20.0 )
```

allgemein: ZL x (modus = extern <Dateiname> <Anfangszeile> <Anfangsspalte> ....

Der <Dateiname> bezeichnet dabei die Datei, aus welcher die Zuflüsse in  $\text{m}^3/\text{s}$  gelesen werden sollen, <Datenspalte> kennzeichnet die Nummer der Spalte, in welcher die Daten der Zuleitung stehen und <Anfangszeile> gibt die Startzeile an, ab der eingelesen werden soll, im obigen Beispiel wird aus der Datei geb12.dat in Spalte 4 ab der 5 Zeile der Zufluss eingelesen.

Im Gebiet 1 gibt es noch einen Speicher, dessen Anfangsfüllung mit  $10^8 \text{ m}^3$  angegeben ist. Die aktuellen Füllstände werden in die Datei spv\_\_01.84 geschrieben. Es werden ausserdem die Anfangskonzentrationen

nen für alle der im WaSiM-ETH Version 2 möglichen maximal 9 Tracer angegeben. Die Speicherabgaberegeln folgen im Anschluss an alle Routingvorschriften als extra Abschnitte in der Steuerdatei und sehen z.B. so aus:

```
[Abgaberegeln_Speicher_1]
9 # Anzahl der Punkte, die im folgenden eingelesen werden
1e4 1.0
1e5 1.0
1.0001e5 10.0
1e6 10.0
1.0001e6 50.0
1e7 50.0
1.0001e7 100.0
1e8 100.0
1.0001e8 500.0
```

Die erste Angabe bezieht sich auf die Anzahl an Stützstellen für die Abgaberegelskurve. Anschliessend folgen mindestens so viele Einträge der Art <Füllung in m<sup>3</sup>> <Abgabe in m<sup>3</sup>/s>, wie es der Anzahlparameter angab. Zwischen den Stützstellen wird linear interpoliert. Soll eine stufenförmige Abgabe realisiert werden, dann können, wie im obigen Beispiel, zwei Stützstellen mit fast gleichen Inhalten aber sprunghaft steigenden Abgaben aufeinanderfolgen.