

# 1 Implementierung des Seenmoduls

## 1.1 Allgemeines

Die Funktionsweise des Seen-Moduls basiert auf die Ausnützung von zwei bekannten (bereits implementierten) Modellmechanismen:

1. Pond-Modellierung
2. Kopplung zwischen dem Routing-Modul und dem Modul der ungesättigten Bodenzone

Im Gegensatz zur bisherigen Pond-Modellierung, wo der Wassergehalt einer aktuellen Pond-Zelle ohne Einbeziehung von benachbarten Pond-Zellen berechnet wird, muss ein aus Pond-Zellen bestehender See diese Nachbarschaftsbeziehungen berücksichtigen. Für die aktuelle Erweiterung war es daher wichtig, die Bilanzierung des Wasservolumens und den Ausgleich des Wasserspiegels zwischen allen Pond-Zellen eines Sees zu gewährleisten, auch bei Reliefunterschieden im Seeboden. Des Weiteren sollten durch das neue Modul Änderungen der flächenhaften Ausdehnung des Sees infolge schwankender Seewasserspiegellagen berücksichtigt werden können.

## 1.2 Notwendige Vorbereitungen zur Nutzung des Seenmoduls

Um Seen mit WaSiM-ETH modellieren zu können, müssen aus Anwendersicht folgende Vorbereitungen getroffen werden:

- Bereitstellung eines Seen-Grids mit Kennzeichnung aller zu einem See gehörenden Gridzellen (separate Codes für jeden zu modellierenden See). Alle Gridzellen, die nicht zu einem See gehören, sind mit Nodata-Werten (-9999) zu belegen. Das Seen-Grid beschreibt die flächenhafte Ausdehnung der Seen bei maximalem Füllstand.
- Bereitstellung eines Grids namens MAXPOND mit Angaben zur maximalen Tiefe einer jeden Seezelle (in Metern). Dieses Grid korrespondiert zum zuvor genannten Seen-Grid. Es bezeichnete in früheren Modellversionen das sogenannte Pond-Grid.
- Einrichtung eines neuen Abschnittes im WaSiM-Steuerfile mit Parametern zur Seenmodellierung (inklusive Default-Parameter zur Berechnung der Evaporation von freien Wasserflächen).
- Berücksichtigung der Seenanbindung in den „Routing descriptions“ (keine Änderungen zu früheren Modellversionen notwendig!).

## 1.3 Interaktion des Seenmoduls mit anderen Modulen

### Verdunstungsmodul

Die Verdunstungsberechnung von Seezellen unterscheidet zwei Fälle der Parametrisierung:

Fall 1: *Die aktuelle Pond-Zelle enthält (See)Wasser.*

In diesem Standardfall werden zur Berechnung der Seenverdunstung nachfolgende Parameterwerte aus dem neuen Steuerdateiabschnitt „[lake\_model]“ benutzt (vgl. auch Kapitel 1.6).

- Albedo für Gewässerflächen (default: 0.10)
- Aerodynamische Rauheitslänge für Gewässerflächen (default: 0.3)

Fall 2: *Die aktuelle Pond-Zelle enthält kein (See)Wasser.*

Sollte eine Pond-Zelle im Verlaufe der Simulation „trockenfallen“ (z.B. infolge eines Absinkens des Seewasserspiegels), so erfolgt für diese Zelle die Berechnung der Evapotranspiration auf traditionellem Wege mit Hilfe der Landnutzungstabelle und der darin zugewiesenen vegetationspezifischen Parametrisierung.

Generell ist anzumerken, dass im Falle geschichteter Vegetation nur die unterste Schicht als vom See beeinflusst interpretiert wird. Damit soll bei einem ansteigenden Seewasserspiegel die Überflutung von geringwüchsiger Vegetation (z.B. Gras) im Ausuferungsbereich berücksichtigt werden. Höhere Vegetationsschichten wie z.B. Büsche und Bäume werden nach diesem Schema als nicht überflutbar eingestuft. Sie sind weiterhin in der Lage zu transpirieren.

Auch wird für Seezellen mit Wasser keine Interzeptionsverdunstung für die unterste Vegetationsschicht berechnet. Sie wird zu Null gesetzt, ebenso die Evaporation von der Bodenoberfläche.

### Interzeptionsmodul

Die Einführung des Seenmoduls hat lediglich die o.g. Anpassungen zur Folge (Nullsetzen der Interzeptionsverdunstung für die unterste Vegetationsschicht). Das allgemeine Berechnungsschema zur Interzeptionsverdunstung verbleibt unverändert.

### Schneemodul

Auf Seeflächen wird kein Schnee akkumuliert. Auch wird kein Gefrieren der Seeoberfläche simuliert. Auf den See auftreffender Niederschlag ist immer flüssig; fester Niederschlag in Form von Schnee wird unmittelbar geschmolzen.

## Bewässerungsmodul

Ist dieses Modul aktiviert, so wird zum Simulationsstart überprüft, ob Seezellen mit einem Bewässerungs-Code > 0 versehen sind. Ist dies der Fall, dann werden diese Codierungen auf Null zurückgesetzt, da für Seen keine Bewässerungsberechnung vorgenommen wird.

## Modul der ungesättigten Bodenzone

Seen werden in diesem Modul ähnlich wie Ponds behandelt. Allerdings erfahren sie im Unterschied zu bisherigen Ponds eine gesonderte „Vorbehandlung“ während der Phase der Modellinitialisierung. Hier werden auf automatisiertem Wege folgende Parameter-Checks und Anpassungen durchgeführt:

- Deaktivierung Drainage (Drain level auf „-1“).
- Deaktivierung Interflow (Gefälle auf „0“).
- Deaktivierung Bewässerung (Bewässerungs-Code auf „0“; siehe oben).
- Bodenschichten werden als gesättigt initialisiert. Der Grundwasserspiegel steht an der Bodenoberfläche an; d.h. es gibt zu Modellbeginn keine ungesättigten Bodenbereiche unterhalb eines Sees.
- Höhenmodell wird für den Seebereich entsprechend dem Grid der maximalen Seetiefe (MAXPOND-Grid) angepasst (künstliche Absenkung). *Achtung:* Diese Initialisierungsprozedur kann übersprungen werden, wenn das Höhenmodell nicht die Seeoberfläche sondern bereits das Relief des Seebodens repräsentiert. Im Abschnitt [lake\_model] der Steuerdatei hat der Modellanwender die Möglichkeit, sich für eine der zwei Methoden zu entscheiden (vgl. Kapitel 1.6).
- Deaktivierung von Ex- und Infiltration in und von Flüssen. Eine Reaktivierung dieser beiden Prozesse ist möglich, wenn die aktuelle Seezelle im Verlaufe der Simulation „trockenfallen“ sollte (also kein Seewasser mehr enthält).
- Deaktivierung Makroporeninfiltration. Auch hier ist eine Reaktivierung nach dem „Trockenfallen“ der Seezelle möglich.
- Überprüfung, ob die Option „Using ponds“ im Abschnitt [unsatzzone\_model] der Steuerdatei aktiviert ist. Ist sie deaktiviert, wird das Modell eine Fehlermeldung ausgeben.

## Grundwassermodul

Dieses Modul wird eher gering durch das Seenmodul beeinflusst. Eine etwaige Absenkung des DHMs findet bereits während der Initialisierung des Moduls zur ungesättigten Bodenzone statt. Im Modul [groundwater\_flow] wird lediglich geprüft, ob im gleichnamigen Steuerdateiabchnitt die Option „use pond grid for calculating the hydraulic heads“ aktiviert ist (Parameter muss auf „1“ gesetzt sein). Diese Option wurde bereits in WaSiM 7.9.7 (November 2007) eingeführt.

## Routing-Modul

Die Implementierung des Seenmoduls hatte wesentliche Eingriffe im Routing-Modul zur Folge. Bislang benötigte das Routing-Modul keine Information zur wirklichen Lage eines Sees im Modellgebiet. Die Abarbeitung wurde einzig durch einen graph-orientierten Algorithmus gesteuert.

Ein Feedback des Routing-Moduls zu anderen Modulen wurde alleinig durch die sogenannten „river flow tables“ erzeugt, welche Informationen zur Wassermenge in den einzelnen Flussabschnitten enthalten. Diese Daten wurden insbesondere vom Bewässerungsmodul und vom Modul der ungesättigten Bodenzone benötigt (Infiltration vom Fluss ins Grundwasser und Exfiltration vom Grundwasser in den Fluss -> Generierung von Basisabfluss).

Im neuen Routing-Modell wird nun bewusst die Gridstruktur des Modellgebietes berücksichtigt, um so komplexere Wasserbilanzen und Ableitungsstrukturen in die Modellierung einbeziehen zu können. Diese genannte Erweiterung war mit einer vollständigen Neuorganisation der C++ Klassenstrukturen im Programm Quellcode verbunden. Neu werden nun Seen und Ableitungen in separaten Klassen geführt; alle Funktionen für das Lesen und Schreiben der Input- und Output-Daten stellen Instanzen einer neuen Klasse (FileBuffer-class) dar.

## 1.4 Funktionsweise des Seenmoduls

Während der **Initialisierungsphase** werden folgende Schritte abgearbeitet:

- Extraktion der einzelnen Seen vom Seen-Grid. Jeder See ist durch Zellen mit einem einheitlichen Gridcode definiert. Die Codierung hat aufwärts zu erfolgen, beginnend mit der ID 1 (Gridcode 1 = See Nr. 1, Gridcode 2 = See Nr. 2, usw.).
- Prüfung, ob die Zellen eines Sees die gleiche Höhe aufweisen. Die Addition des (un)korrigierten DHMs (vgl. Initialisierungsphase des [unsatzon\_models]) mit dem MAXPOND-Grid muss jeweils gleiche Werte für den gesamten See aufweisen. Andernfalls wird das Modell mit einer entsprechenden Fehlermeldung die Initialisierung unterbrechen.
- Prüfung, ob mehr als ein See pro Teileinzugsgebiet definiert worden ist. Ist dies der Fall, so stoppt das Modell den Initialisierungsprozess mit einer entsprechenden Fehlermeldung.
- Berechnung der Wasserstands-Volumen-Beziehungen auf Basis von Lookup-tables: Dieses Vorgehen wurde als geeignet angesehen, um die Rechenzeiten und -kosten (CPU, memory, etc.) zu minimieren. Schliesslich ist das Updating der Wasserstände eines Sees unter Berücksichtigung aller Zu- und Abflüsse (inklusive Niederschlag, Verdunstung, etc.) eine nichttriviale Aufgabe. Die inverse Berechnung des Wasserstandes für ein gegebenes Volumen kann sich als extrem rechenintensiv darstellen. Aus diesem Grunde wird von WaSiM-ETH während der Initialisierung eine Lookup-table erstellt, die mit drei Grundschriftweiten arbeitet:

- die obersten 2 Meter des Sees werden in Schritten zu je 5 cm unterteilt,
- die nächsten 10 Meter nutzen 20 cm Schrittweiten und
- die restlichen Meter bis zum Seegrund werden in 50 cm Einheiten aufgeteilt.

Für einen normalen See dürfte danach der Standardbereich der Unterteilung bei 20 cm liegen (für Seetiefen zwischen 2 m und 10 m). Im Ausuferungs- bzw. Überflutungsfall dürften hingegen 20 cm Schritte zu grob sein, um die nun grössere Dynamik des Anwachsens und Schrumpfens der Seeoberfläche geeignet zu erfassen. Hier wird daher mit 5 cm Schrittweiten gearbeitet.

Auf Basis der berechneten Schrittweiten wird nun für jeden Höhenbereich ein Seevolumen bestimmt. Das Ergebnis wird in Form einer Tabelle abgelegt (vgl. Abbildung 1) und kann entweder für die Berechnung des Volumens für einen gegebenen Wasserstand oder aber für den umgekehrten Fall genutzt werden. Beide Funktionen sind im Seen-Modul nutzbar.

```
waterlevel-volume-table lake 1
Level[m a.s.l.] Volume[m^3]
380.56 3.4825e+008
380.51 3.47337e+008
380.46 3.46425e+008
380.41 3.45513e+008
380.36 3.446e+008
380.31 3.43688e+008
... (for the next 1.5 m in 0.05 m steps)
378.86 3.1845e+008
378.81 3.17625e+008
378.76 3.168e+008
378.71 3.15975e+008
378.66 3.1515e+008
378.61 3.14325e+008
378.56 3.135e+008
378.36 3.102e+008
378.16 3.069e+008
377.96 3.036e+008
377.76 3.003e+008
377.56 2.97e+008
... (for the next 8m in 0.2 m steps)
369.56 1.65e+008
369.36 1.617e+008
369.16 1.584e+008
368.96 1.551e+008
368.76 1.518e+008
368.56 1.485e+008
368.06 1.4025e+008
367.56 1.32e+008
367.06 1.2375e+008
... (down to the deepest cell in 0.5 m steps)
360.56 1.65e+007
360.06 8.25e+006
```

Abbildung 1: Beispiel für den Inhalt einer erzeugten Wasserstands-Volumen-Tabelle

Während der Initialisierungsphase wird für jeden See eine separate Datei zur Wasserstands-Volumen-Beziehung in das aktuelle Arbeitsverzeichnis geschrieben. Die erzeugten Dateinamen haben folgende Form:

W\_V\_Table\_<nn>.dat (mit nn = Grid-Code des Sees; z.B. W\_V\_Table\_01.dat)

Die Initialisierung der Seewasserstände und des Seewasservolumens kann auf zweierlei Wegen erfolgen:

1. Einlesen vorhandener Grids (z.B. aus vorangegangenen Modellläufen): Hierzu muss in der WaSiM-Kontrolldatei der globale readgrid-Parameter oder der readgrid-Parameter im [lake\_model] aktiviert sein. Der Initialwert für das Seewasservolumen wird anhand der erzeugten W-V-Tabelle und des eingelesenen Seewasserstandes berechnet (letzterer wird vom Modell von der ersten gefundenen Zelle des aktuellen Sees abgegriffen).
  2. Die Option „readgrids“ ist deaktiviert: Die Initialisierung wird in dem Fall über die erzeugte W-V-Tabelle und den in den Routing-Descriptions (für die SP-Elemente) vorgegebenen Initialwert zum Seewasservolumen vorgenommen.
- Anlegen der Ausgabedatei für die statistische Auswertung der Seewasserbilanzen (siehe auch Kapitel 1.5). Damit ist der letzte Schritt im Initialisierungsprozess des Seenmoduls abgeschlossen.

Während der **Simulation** wird entsprechend für jeden Zeitschritt das folgende Abarbeitungsschema durchlaufen (vgl. auch Kapitel 1.3):

- *Verdunstungsmodul*: Berechnung der potenziellen Evaporation für Seezellen unter Verwendung der Default-Parameter für Wasseroberflächen (vgl. Kapitel 1.6). Nicht-Seezellen oder „trocken gefallene“ Seezellen greifen hingegen auf das Parameter-Set der Landnutzungstabelle zurück.
- *Interzeptionsmodul*: Nullsetzen der potenziellen Interzeptionsverdunstung und Boden- evaporation für Seezellen mit Wasser.
- *Schneemodul*: Verhinderung der Schneeakkumulation für Seezellen mit Wasser.
- *Modul der ungesättigten Bodenzone*: Deaktivierung von Interflow, Drainage, Grundwasserexfiltration, Reinfiltration sowie Makroporeninfiltration (nur für als See deklarierte Zellen). Für die verbleibenden Prozesse ist die Handhabung wie bisher.
- *Routing-Modul*: komplexer Abarbeitungsprozess für Seezellen:
  - Grundwasserflüsse (Infiltration in oder Exfiltration aus der obersten Bodenschicht) werden als Mittelwert über alle Seezellen geschätzt.
  - Niederschlag wird über den gesamten See gemittelt.
  - Verdunstungsverluste werden ebenfalls über den gesamten See gemittelt.
  - Wasser, welches auf Seezellen generiert worden ist, die oberhalb vom aktuellen Seewasserspiegel liegen, wird dem aktiven Seekörper zugeordnet. Dieses Wasser wird zusammen mit dem Wasservolumen aller aktiven Seezellen so auf dem See umverteilt, dass am Ende der Prozedur alle Seezellen mit Wasser einen identischen Seewasserspiegel besitzen. Die Seezellen, welche oberhalb vom aktuellen Seewasserspiegel liegen, sind nach Abgabe ihres aus Grundwasser-Exfiltration

oder Niederschlag stammenden Wassers „trocken“. Auftretende Verdunstungsverluste von diesen Zellen werden noch für die Bilanzierung des Seewasservolumens genutzt.

- Nachdem das Seewasservolumen für den betrachteten Zeitschritt bekannt ist, kann die aktuelle Ausdehnung der Seeoberfläche berechnet werden. Dazu werden alle aktiven Pond-Zellen eines Sees aufsummiert.
- Nun startet die Bilanzierung der Wassermassen: In einem ersten Schritt werden vom aktuellen Seewasservolumen allfällige Wasseranteile für Bewässerung und Ableitungen subtrahiert. *Beachte*: Wurden mehrere Seen oder Speicher im Zielgebiet definiert, so wird nur aus dem zuunterst gelegenen See oder Speicher Bewässerungswasser entnommen oder Ableitungswasser abgeführt.
- Anschliessend werden etwaige Änderungen im Seewasservolumen anhand der folgenden Gleichung berechnet:

$$\Delta V = Q_{GW} - EP - Q_{irrig} - Q_{abstr} + P$$

mit	$\Delta V$	Volumenänderung [m <sup>3</sup> ]: positive Werte sind Nettozuwächse, negative Werte hingegen Nettoverluste
	$Q_{GW}$	Bilanz der Grundwasserflüsse [m <sup>3</sup> ]
	$EP$	Evaporation von der Seeoberfläche [m <sup>3</sup> ]
	$Q_{irrig}$	Entnahme von Bewässerungswasser [m <sup>3</sup> ]
	$Q_{abstr}$	Ableitung(en) von Wasser in andere Teilgebiete oder nach extern [m <sup>3</sup> ]
	$P$	Niederschlag [m <sup>3</sup> ]

- Nun wird eine Fehlerabschätzung vorgenommen: Noch ist „altes Wasser“ aus dem vorangegangenen Zeitschritt im Routing-Modul verfügbar. Dieses kann mit dem neuen Wasservolumen verglichen werden. Im Idealfall würde diese Differenz mit der weiter oben beschriebenen Volumenänderung ( $\Delta V$ ) übereinstimmen. Allerdings werden im Normalfall Rundungsfehler und numerische Genauigkeitsverluste (z.B. bedingt durch die Verwendung der Lookup-table mit linearer Interpolation zwischen den Stützpunkten) dazu führen, dass der berechnete Fehlerwert nicht Null sein wird.

Generell deutet ein Anwachsen des Fehlerwertes auf inkorrekte Bilanzierungen hin.

$$E = V_{act} - V_{old} - \Delta V$$

mit	$E$	Fehlerschätzung [m <sup>3</sup> ]
	$V_{act}$	aktueller Volumenwert berechnet im Modul der ungesättigten Bodenzone [m <sup>3</sup> ]
	$V_{old}$	„altes“ Wasservolumen aus dem vorangegangenen Zeitschritt im Routing-Modul [m <sup>3</sup> ]
	$\Delta V$	Volumenänderung entsprechend vorheriger Gleichung [m <sup>3</sup> ]

- Es folgt die Berechnung der Tracer-Durchmischung (Zufluss und Seewasserinhalt) sowie der Änderung der Tracer-Konzentration infolge Evaporation und radioaktivem Zerfall.

- Nach der Tracer-Berechnung werden die in der Steuerdatei definierten Ableitungsregeln für Seen oder Speicher abgearbeitet. Dabei ist zu beachten, dass Zuflüsse von Zustromgebieten und/oder anderen Speichern oder Seen berücksichtigt werden.
- Nach der Verminderung des Seevolumens durch die Seeausflüsse wird das neu berechnete Wasservolumen auf die Seezellen aufgeteilt und die aktuelle Lage des Seewasserspiegels bestimmt.
- Abschliessend werden alle Berechnungsergebnisse zur Seewasserbilanz in einer Statistikdatei abgelegt. Die Ergebnisse sind jeweils in [mm] (bezogen auf die Seeoberfläche), [m<sup>3</sup>] und [m<sup>3</sup>/s] verfügbar.

## 1.5 Details zu den Seewasserbilanzen

Der Name der Statistikdatei mit den Wasserbilanzen wird für jeden See im Abschnitt [routing\_model] der Steuerdatei definiert (mit SP als Speicher):

Beispiel:

```
TG 1 (AE=1697.000, ARel=1.0)
  from OL 13 (kh=0.1, kv=0.4, Bh=41.9, Bv=167.4, Th= 4.19, Mh=25.0, Mv=10.0,
I=0.0010, L=18535.5, AE=1592.000)
  and SP 1 ( file=$outpath//Lake__01.//$code//$year , V0 = 3.05E08, C0 = 1.6  0.1
0 0 0 0 0 0 0 )
  and AL 4 (modus = extern_with_rule $outpath//ableitung4.dat)
```

Der Dateiname könnte sich im gezeigten Beispiel wie folgt auflösen:

d:\data\output\Lake\_01.s84

Tabelle 1: Einträge in die Ausgabedatei zu den Seewasserbilanzen

Spalteneintrag	Beschreibung
YY	Jahr
MM	Monat
DD	Tag
HH	Stunde
W[m]	Wasserstand über den Seegrund [m]
A[m2]	Seefläche [m <sup>2</sup> ]
V[m3]	Seewasservolumen [m <sup>3</sup> ]
Qin[m3]	Zufluss von oberliegenden Teilgebieten oder anderen Seen [m <sup>3</sup> ]
Qin[mm]	Zufluss von oberliegenden Teilgebieten oder anderen Seen [mm]
Qin[m3s]	Zufluss von oberliegenden Teilgebieten oder anderen Seen [m <sup>3</sup> /s]
Qout[m3]	Seeausfluss entsprechend Ableitungsregeln [m <sup>3</sup> ]
Qout[mm]	Seeausfluss entsprechend Ableitungsregeln [mm]
Qout[m3s]	Seeausfluss entsprechend Ableitungsregeln [m <sup>3</sup> /s]
Irrig[m3]	Menge des vom See entnommenen Bewässerungswassers [m <sup>3</sup> ]
Irrig[mm]	Menge des vom See entnommenen Bewässerungswassers [mm]
Irrig[m3s]	Menge des vom See entnommenen Bewässerungswassers [m <sup>3</sup> /s]
QGW[m3]	Bilanz aus Grundwasserzu- und -abfluss [m <sup>3</sup> ]
QGW[mm]	Bilanz aus Grundwasserzu- und -abfluss [mm]



Spalteneintrag	Beschreibung
QGW[m3s]	Bilanz aus Grundwasserzu- und -abfluss [m <sup>3</sup> /s]
ETR[m3]	Verluste durch Seewasserverdunstung [m <sup>3</sup> ]
ETR[mm]	Verluste durch Seewasserverdunstung [mm]
ETR[m3s]	Verluste durch Seewasserverdunstung [m <sup>3</sup> /s]
PREC[m3]	Niederschlagseintrag in den See [m <sup>3</sup> ]
PREC[mm]	Niederschlagseintrag in den See [mm]
PREC[m3s]	Niederschlagseintrag in den See [m <sup>3</sup> /s]
dV[m3]	Volumenänderung des Sees während des letzten Zeitschritts [m <sup>3</sup> ]
dV[mm]	Volumenänderung des Sees während des letzten Zeitschritts [mm]
dV[m3s]	Volumenänderung des Sees während des letzten Zeitschritts [m <sup>3</sup> /s]
Abstr[m3]	Ableitungen aus dem See (intern und extern) [m <sup>3</sup> ]
Abstr[mm]	Ableitungen aus dem See (intern und extern) [mm]
Abstr[m3s]	Ableitungen aus dem See (intern und extern) [m <sup>3</sup> /s]
Err[m3]	Volumenfehler infolge numerischer Ungenauigkeiten [m <sup>3</sup> ]
Err[mm]	Volumenfehler infolge numerischer Ungenauigkeiten [mm]
Err[m3s]	Volumenfehler infolge numerischer Ungenauigkeiten [m <sup>3</sup> /s]
<tracer symbol 1>	Tracer-Konzentration für Tracer <1>
<tracer symbol 2>	Tracer-Konzentration für Tracer <2>
..	
<tracer symbol n>	Tracer-Konzentration für Tracer <n>

Die Bilanzendatei wird während der Simulation wie alle anderen Ergebnisdateien intern gepuffert. Zwischenergebnisse lassen sich durch Drücken von Ctrl+C und Code-Eingabe 2 ausgegeben.

## 1.6 Parametrisierung des Seenmoduls in der Steuerdatei

Das erweiterte Seenmodul wird in der Steuerdatei durch einen eigenen Abschnitt repräsentiert. Er enthält wichtige Parameter für die Initialisierung des DHMs und die Evaporation von freien Wasserflächen (vgl. auch Kapitel 1.3).

```
[lake_model]
1           # 0=ignore this module, 1 = run the module
2           # method for recalculating DHM,
# 1 = do not change the DHM, it already reflects the ground of the lakes
# 2 = use max_pond_grid to calculate DHM corrections
0.10 # Albedo_OpenWater (will be used only, when the pond is filled with
# water when calculating potential evaporation -> otherwise,
# the normal landuse for this cell is referenced for this parameter)
0.3 # z0_OpenWater (usage as above)
$readgrids
```

Für eine ausgedehnte freie Wasseroberfläche ist der Oberflächenwiderstand  $r_{sc} = 0$ . Mit diesem Spezialfall lässt sich aus der Penman-Monteith-Gleichung die Verdunstung einer freien Wasserfläche bestimmen (Dyck & Peschke, 1995). Der Aufbau von [lake\_model] zeigt an, dass für die modifizierte Penman-Monteith-Gleichung lediglich die Parameter Albedo und Rauigkeitslänge  $z_0$  vorzugeben sind. Letzterer Parameter wird zusammen mit der Windgeschwindigkeit für die Berechnung des aerodynamischen Widerstandes  $r_a$  benötigt (siehe auch Schulla & Jasper, 2007), welcher sich wiederum recht sensitiv auf die Höhe der ermittelten Gewässerverdunstung auswirkt. Entsprechend kommt dem „Turbu-

lenzparameter“  $z_0$  eine steuernde Funktion in Bezug auf die Verdunstungshöhe zu. Er sollte im Rahmen einer Modellanwendung kalibriert werden. Bisherige Anwendungen ermittelten für  $z_0$  einen Wertebereich zwischen 0.2 m bis 0.6 m.

**Anmerkung:** Für die Verdunstung von freien Wasserflächen, die nicht im Seen-Grid definiert sind, wird auf den unveränderten (originalen) Penman-Monteith-Ansatz zurückgegriffen. Letzterer nutzt im Gegensatz zur modifizierten Variante das umfangreiche Parameter-Set der Landnutzungstabelle. Für jeden Landnutzungstyp, z.B. Gewässer, sind in dieser Tabelle verschiedene verdunstungswirksame Parameterwerte zu definieren. Eine mit dem Seenmodul vergleichbare Anpassung der Parametrisierung ist hier leider nur begrenzt möglich (z.B. kann  $r_{sc}$  in der [landuse\_table] nicht zu Null gesetzt werden). Die ungleiche Parametrisierung des Penman-Monteith-Ansatzes (Seenmodul vs. Landnutzungstabelle) führt zwangsläufig zu Unterschieden in den ermittelten Gewässerverdunstungen. Beim Vergleich der Verdunstungsmengen sollte auch beachtet werden, dass im Gegensatz zum Seenmodul die Verdunstungsberechnung nach Landnutzungstabelle Komponenten wie die Schneeverdunstung mit berücksichtigt. Auch dies erschwert einen direkten Vergleich zwischen beiden Gewässerverdunstungen (Seezellen vs. Nicht-Seezellen). Eine mögliche Wertebelegung für den Landnutzungstyp „Wasserflächen“ zeigt das folgende Beispiel.

```
[landuse_table]
1 # number of following land-use codes
1 water {method = VariableDayCount;
        RootDistr      = 1;
        TReduWet       = 1;
        LimitReduWet   = 1;
        HReduDry       = 150;
        IntercepCap     = 0;
        JulDays        = 365;
        Albedo         = 0.1;
        rsc            = 0.1;
        rs_interception = 0;
        rs_evaporation = 0;
        LAI            = 0;
        Z0             = 0.3;
        VCF            = 0;
        RootDepth      = 0;
        AltDep         = 0;}
```

In diesem Beispiel sind die Transpiration und Interzeptionsverdunstung deaktiviert. Die Verdunstungsberechnung berücksichtigt hier ausschliesslich Evaporation von der Boden- und Schneeoberfläche.

Soll das Seenmodul verwendet werden, so muss in der Steuerdatei neben der Aktivierung des [lake\_model] noch das Seen-Grid im Abschnitt [standard\_grids] eingelesen werden. Der sogenannte „fillcode“ ist dabei auf Null zu setzen. Der interne Name des Seen-Grids ist „lake\_codes“. Er muss der Steuerdatei als Identifikator übergeben werden.

```
[standard_grids]
37 # number of standard grids
$inpath//$lake_grid lake_codes 0 # grid with a unique code for each lake
```

Hinweis: Das Seenmodul ist nicht an Verwendung des Penman-Monteith-Ansatzes gekoppelt. Es kann auch im Verbund mit einem einfachen Verdunstungsansatz (z.B. Hamon oder Wendling) betrieben werden.

## 1.7 Input-Grids für das Seenmodul

Das Seenmodul erfordert lediglich die Bereitstellung eines neuen Grids, nämlich des Seen-Grids (beachte: das MAXPOND-Grid ist kein neues Grid, sondern das bereits aus früheren Versionen bekannte POND-Grid). Entsprechend den Ausführungen in den vorangegangenen Kapiteln enthält das Seen-Grid zusammenhängende Zellgruppen mit eindeutigen Codierungen für jeden See (Integer Codes > 0). Die folgende Abbildung zeigt ein entsprechendes Beispiel.

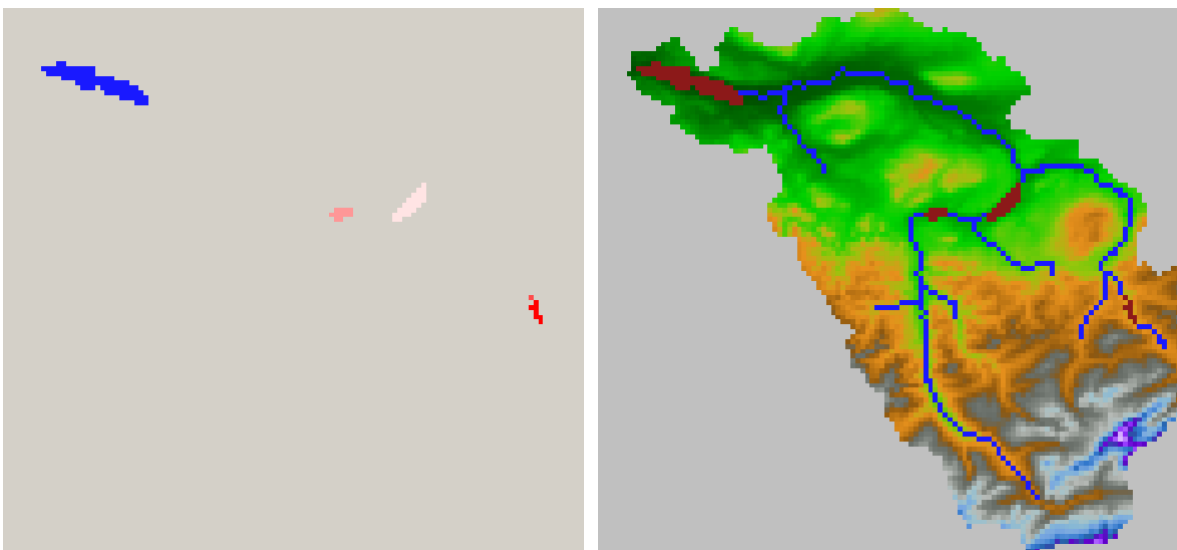


Abbildung 2: Links: Seen-Grid als fiktives Beispiel für das Thur-Einzugsgebiet in der Nordost-Schweiz. Rechts: Überlagerung von Seen-Grid und DHM (nur zur Illustration!)

Das MAXPOND-Grid stellt das zweite vom Seenmodul benötigte Grid dar. Es enthält die maximalen Wassertiefen für alle Seezellen (in Metern). Bei der Bereitstellung des MAXPOND-Grid ist darauf zu achten, dass der zellbezogene Summenwert aus DHM und korrespondierenden MAXPOND-Grid für jeden See in etwa gleich ist (zulässige Abweichung +/- 0.5 cm).

Im Gegensatz zum Seen-Grid muss das MAXPOND-Grid für das gesamte Modellgebiet gültige Werte enthalten. Die mit Null codierten Nicht-Seezellen werden allerdings vom Seenmodul ignoriert und nur vom Modul der ungesättigten Bodenzone benutzt. Das MAXPOND-Grid sollte die Wassertiefen für den höchstmöglichen Wasserspiegel beinhalten und ebenso wie das Seen-Grid auch etwaige Überflutungszonen berücksichtigen.

## 1.8 Topmodel-Variante vom Seenmodul

Die bisherigen Ausführungen zum Seenmodul fokussierten vornehmlich auf die Richards-Version von WaSiM-ETH, da nur diese Modellversion dem Anwender erlaubt, komplexe Seewasserbilanzen unter Berücksichtigung aller wesentlichen Zu- und Abflüsse (auch Grundwasserzu- und -abströme) zu berechnen. Das in der Topmodel-Version implementierte Seenmodul knüpft an die Funktionsvielfalt des Richards-Seenmoduls an. Es verzichtet aber auf die Berücksichtigung von unterirdischen Wasserflüssen, sondern konzentriert sich bei der Berechnung der Seewasserbilanzen auf die oberirdischen Zu- und Abflüsse inklusive Niederschlag und Verdunstungsentnahme. Die Topmodel-Variante des Seenmoduls zeigt gegenüber dem Richards-Seenmodul folgende wesentliche Unterschiede:

- Anstelle des MAXPOND-Grids wird im Topmodel-Mode das sogenannte „pondgridtopmodel“ verwendet:

```
$set $pondgridtopmodel = pond//$grid//.$suffix
```

Im Abschnitt [variable\_grids] werden für dieses Pond-Grid die Ausgabeoptionen gesetzt:

```
[variable_grids]
16                # number of variable grids
$outpath//$pondgridtopmodel ponding_storage_top 0 0
$writegrid
$readgrids        # 0 if ponds should be initialized in the
                  # routing model by the volume-water-level
                  # relation, 1 if actual pond content should
                  # be read in from existing pond grid
...
```

Mit Hilfe der generierten Grid-Ausgaben lassen sich in geeigneter Weise die Ergebnisse der Modellrechnung kontrollieren (z.B. durch Visualisierung der Grids). Andererseits eignen sich die Grid-Ausgaben auch für die Initialisierung von (nachfolgenden) Modell-Runs. [Die beiden Zahlen hinter „ponding\_storage\_top“ bedeuten: 1. Wert: Code, der anzeigt, ob nodata-Werte automatisch durch den "nearest neighbor" ersetzt werden sollen (0 = nein, 1 = ja); 2. Wert: Defaultwert, falls das Grid nicht eingelesen, sondern intern erzeugt wird.]

- Grundwasser- und Bodenwasserflüsse werden nicht berücksichtigt.