

Infiltration aus Flüssen bzw. Exfiltration aus dem Grundwasser in Flüsse:

Exfiltration aus dem Grundwasser wird nur für jene Gridzellen berechnet, welche durch Einträge in den Flussbreiten-, Flusstiefen- und Kolmationsgrids (Leakage-Faktoren) gekennzeichnet sind. Für die Berechnung der Infiltration aus Flüssen in das Grundwasser muss ausserdem ein Eintrag in einem sogenannten Link-Grid vorhanden sein, welcher die Nummer des Oberliegigers darstellt, der sein Wasser in die Flussstrecke fliessen lässt. Das bedeutet, dass Infiltration nur an solchen Flussabschnitten berechnet wird, die im Modell als Routingstrecken berechnet werden, Exfiltration dagegen in jeder Zelle berechnet werden kann, die in den genannten Grids als Fliessgewässer markiert sind. Diesem Vorgehen liegt die Annahme zugrunde, dass bei hinreichend klein gewählten Teilgebieten in den Entstehungsgebieten des Abflusses in der Regel ein hydraulisches Gefälle vom Grundwasser zum Fluss besteht, wogegen dieses Gefälle sich nur in ausgeprägten Stromtälern umkehren kann, wenn von oberhalb grosse Abflussmengen in die Flussstrecke strömen. Die Flussbreiten und Tiefen sowie die Markierungen der Routingstrecken erfolgen im Preprocessing mit dem Programm TANALYS, es können selbstverständlich auch andere Methoden genutzt oder Messdaten verwendet werden. Exfiltration und Infiltration werden über relativ einfache Beziehung berechnet.

Exfiltration (Basisabfluss), Berechnung erfolgt in zwei Schritten:

a) Berechnung der Exfiltration aufgrund des hydraulischen Gradienten und der Kolmation der Gewässersohle (Exfiltrations- oder Kolmationswiderstand)

$$q_{\text{exf},\text{pot}} = l_k \cdot \Delta H \cdot b_{rb} / cs \quad (90)$$

mit	$q_{\text{exf},\text{pot}}$	maximal mögliche Exfiltration (Basisabfluss) aufgrund des Gradienten [m/s]
	l_k	Leakage-Faktor (Kolmationswiderstand) [s ⁻¹]
	ΔH	positive Differenz zwischen Grundwasserspiegellage und Flusssohle $\Delta H = h_{GW} - h_{rb}$ (h_{GW} : Grundwasserspiegellage [m ü.M.], h_{rb} : Flusssohle [m ü.M.]
	b_{rb}	Breite der Flusssohle [m]
	cs	Gridzellen-Kantenlänge [m]

b) Aufteilen von $q_{\text{exf},\text{pot}}$ auf die betroffenen Diskretisierungsschichten: Aus jeder der betroffenen Schichten kann nur solange Wasser auslaufen, bis eine definierte Saugspannung, hier 3.45 m, erreicht ist:

$$q_{\text{exf},m} = (\Theta_m - \Theta_{\psi=3,45\text{m}}) \cdot \Delta z_e / \Delta t \quad \text{für} \quad \text{int}((h_{\text{geo},0} - h_{GW}) / \Delta z) \leq m \leq \text{int}((h_{\text{geo},0} - h_{rb}) / \Delta z) \quad (91)$$

mit	$q_{\text{exf},m}$	maximal möglicher Anteil an der Exfiltration aus der Schicht m [m/s]
	m	Schichtindex, von der obersten vom Grundwasser berührten Schicht bis zur Schicht, in der die Gewässersohle liegt [-]
	Θ_m	Wassergehalt in Schicht m (i.d.R. Sättigung) [-]
	$\Theta_{\psi=3,45\text{m}}$	Wassergehalt bei Saugspannung $\psi = 3.45$ m [-]
	$h_{\text{geo},0}$	Geländehöhe [m ü.M.]
	h_{GW}	Grundwasserspiegel [m ü.M.]
	h_{rb}	Höhe der Flusssohle [m ü.M.]
	Δz	Schichtdicke [m]
	Δz_e	effektive Schichtdicke: Liegt die Schicht vollständig zwischen der Grundwasser- oberfläche und der Flusssohle, so ist $\Delta z_e = \Delta z$, der Schichtdicke, befindet sich der Grundwasserspiegel in der Schicht m , so ist $\Delta z_e = h_{GW} - h_{\text{geo},m}$, befindet sich die Flusssohle in der Schicht m , so gilt $\Delta z_e = h_{\text{geo},m-1} - h_{rb}$, befinden sich sowohl der Grundwasserspiegel als auch die Flusssohle in der Schicht m , so gilt $\Delta z_e = h_{GW} - h_{rb} = \Delta H$

Ist die Menge $q_{\text{exf},m}$ kleiner als $q_{\text{exf},\text{pot}}$, so wird Wasser aus der darunterliegenden Schicht entnommen, falls diese noch (mindestens teilweise) über der Flusssohle liegt. Ist $q_{\text{exf},\text{pot}}$ kleiner als $q_{\text{exf},m}$, so wird aus

der Schicht m nur $q_{exf,pot}$ entnommen und die Entnahme beendet. Die Anteile der Exfiltration aus den einzelnen Schichten werden addiert:

$$q_{exf} = \sum_m q_{exf,m} \quad (92)$$

mit q_{exf} tatsächlich exfiltrierte Wassermenge

Infiltration: Analog zur Berechnung der Exfiltration erfolgt die Berechnung der Infiltration nach Gleichung (90). Auch hier erfolgt die Berechnung in zwei Schritten:

a) potentielle Infiltration aufgrund der Gradienten und der Kolmation:

$$q_{inf,pot} = l_k \cdot \Delta H \cdot b_{rb} / cs \quad (93)$$

mit $q_{inf,pot}$ maximal mögliche Infiltration aufgrund des Gradienten [m/s]
 l_k Leakage-Faktor (Kolmationswiderstand) [s⁻¹]
 ΔH positive Differenz zwischen Flusssohle und Grundwasserspiegellage
 $\Delta H = h_{rb} - h_{GW}$; wenn der Grundwasserspiegel unter der Flusssohle liegt, dann gilt: $\Delta H = h_{rb} - hh_n$, wobei hh_n die hydraulische Höhe in der Schicht ist, in welcher die Flusssohle liegt
 b_{rb} Breite der Flusssohle [m]
 cs Gridzellen-Kantenlänge [m]

b) Analog zu Gleichung (91) wird die potentielle Infiltration beginnend mit der Schicht, in der die Flusssohle liegt, nach unten zum Grundwasser in die freien Porenräume "gefüllt". Dabei ist die auffüllbare Porosität die Differenz zwischen dem Sättigungswassergehalt und dem im aktuellen Iterationsschritt geltenden Wassergehalt. In diesem Fall werden die Darcy-Gesetze vernachlässigt, d.h., es kann mehr infiltrieren, als die gesättigte Leitfähigkeit zulässt. Zur Begrenzung der Infiltration muss der Leakage-Faktor genutzt werden.

$$q_{inf,m} = (\Theta_{sat} - \overline{\Theta}_{m,iter}) \Delta z / \Delta t \quad (94)$$

mit $q_{inf,m}$ maximal mögliche Infiltration in die Schicht m aufgrund der auffüllbaren Porosität [m/s]
 $\overline{\Theta}_{m,iter}$ in der Schicht m im aktuellen Iterationsschritt geltender Wassergehalt [-]

Wie bei der Aufteilung der Exfiltration auf einzelne Schichten, so wird auch bei der Aufteilung der Infiltration auf die einzelnen Schichten fortlaufend eine Summe aller bereits "ungergebrachten" Anteile mitgeführt.

$$q_{inf} = \sum_m q_{inf,m} \quad (95)$$

mit q_{inf} Menge des in den bisher berechneten Schichten infiltrierten Wassers [m/s]

Ist diese Summe q_{inf} nach dem Auffüllen nach unten noch kleiner als die potentielle Infiltration $q_{inf,pot}$, so werden noch von unten nach oben die Schichten aufgefüllt, die (mindestens teilweise) unterhalb des Fluss-Wasserstandes liegen. Reicht das nicht aus, um die potentielle Infiltration unterzubringen, so wird die Infiltration q_{inf} auf die bis dahin berechnete Summe $\Sigma q_{inf,m}$ beschränkt. Die gesamte Infiltrationsmenge wird in einer Tabelle für jede Routingstrecke gespeichert. In dieser Tabelle ist auch der im Abfluss-Routing berechnete Abfluss für jede Routingstrecke enthalten. Nach dem Berechnen der Infiltration wird diese Abflussmenge um die Infiltration in der aktuellen Gridzelle reduziert. Ist die in Gleichung (93) berechnete Infiltration grösser, als die Abflussmenge im Fluss, dann wird die Infiltrationsmenge auf diese Abflussmenge begrenzt, der Fluss trocknet dann aus.