

1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Das Oberflächenabflussmodell von Keser und die Grenzwertmethode. Die Abflussbildung im Vergleich.



Dipl.-Ing. Rudolf Herzog

Rehm Software GmbH
Großtobeler Straße 41, 88276 Berg/Ravensburg
+49 (0) 751-5602020
email: herzog@rehm.de



Software GmbH

Im Zusammenhang mit dem Nachweis von Entwässerungssystemen kommen häufig sehr detaillierte und anspruchsvolle Modelle zum Einsatz. Neben der Auswahl geeigneter Niederschlagsereignisse kommt dem Oberflächenabflussmodell dabei eine besondere Bedeutung zu. Im Kommentar des ATV-DVWK-Arbeitsblattes A118 wird auf das Oberflächenabflussmodell von *Keser* hingewiesen. In der Praxis kommt auch ein Modell zur Anwendung, das als *Grenzwertmethode* bezeichnet wird.

Die Oberflächenabflussberechnung lässt sich in zwei Bereiche, die Abflussbildung und Abflusskonzentration, einteilen. Während die Abflusskonzentration z.B. mit der linearen Speicherkaskade modelliert wird und den zeitlichen Verlauf des Abflusses liefert, wird bei der Abflussbildung die Niederschlagsmenge ermittelt, die nach Abzug von Verlusten abflussrelevant ist (Effektivniederschlag).

Hier soll allerdings nur die Abflussbildung näher betrachtet werden. Ihr kommt im Vergleich zur Abflusskonzentration die größere Bedeutung zu. Sie ist von dem Befestigungsgrad, dem Gebietsgefälle, der Niederschlagsmenge und der Vorregensituation sowie der Bodenart, dem Bewuchs und der Bodenfeuchte abhängig. Die Bestimmung dieser Größen ist aufwändig und führt aus verschiedenen Gründen nicht selten zu Vereinfachungen.

Die für die Berechnung notwendige Software bietet einige Parameter zur Steuerung der Abflussbildung an. Die Praxis zeigt, dass mit der Verwendung von so genannten Standardwerten die Möglichkeiten der

1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Das Oberflächenabflussmodell von Keser und die Grenzwertmethode. Die Abflussbildung im Vergleich.

Modelle oft nur unzureichend genutzt und teilweise unzutreffende Ergebnisse erzielt werden.

Will man die Vorteile nutzen, bedarf es einer näheren Betrachtung der einzelnen Modelle. Hier die wesentlichen Punkte:

1. Abflussbildung nach Keser

KESER: 1980 von DFG geförderte Untersuchung in Hildesheim zur Bestimmung der hydrologischen Parameter, Basis waren zeitgleiche Abfluss- und Niederschlagsmessungen mit dem Ziel der Entwicklung von Modellansätzen, Bestimmung von Dauerverlusten.

Abflussbildung gilt für städtische Einzugsgebiete (EZG) und Befestigungsgrade >20%

Benetzungsverlust wird als Schwellwert am Anfang eines Regens vorweg abgezogen (Prinzip: nicht gefallener Regen).

Muldenverluste werden nach der Grenzwertmethode berechnet.

$$A = N - V \quad (\text{Abfluss} = \text{Niederschlag} - \text{Verluste})$$

mit $V = a \cdot N^b$

mit $a = 0,8 + 0,18 \cdot e^{-0,63 \cdot I^*}$

und $b = 1,11 - 0,53 \cdot BFG$

N = Niederschlag (mm)

BFG = Befestigungsgrad (dezimal)

1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Das Oberflächenabflussmodell von Keser und die Grenzwertmethode. Die Abflussbildung im Vergleich.

$$I^* = \frac{I_s \cdot A_s + I_g \cdot A_{w,h}}{A_s + A_{w,h}} \text{ ‰}$$

I_s	=	Straßengefälle (Berechnung aus Differenz der Deckelhöhen, jedoch $\geq 2,5 \text{ ‰}$ kleinste zul. Straßenquerneigung)
A_s	=	Straßenfläche (ha)
I_g	=	Gebietsgefälle aus Falllinie(%)
$A_{w,h}$	=	sonstige befestigte Fläche (ha) (Flächen, die wegen Ihrer Oberflächenbeschaffenheit (z. B. Pflaster) oder aufgrund Ihrer Querneigung ($< 2.5\%$) nicht zu den Straßenflächen zählen.

Der Sonderfall, dass nur Dachflächen vorhanden sind, wird von Keser nicht erfasst. In diesem Fall kann $I^* = I_g$ (Dachneigung in %) gesetzt werden.

Die Ersatzlösung bei EZG mit Befestigungsgrad $< 20\%$

Für Flächen mit einem Befestigungsgrad $< 20 \text{ ‰}$ ist der Einzelverlustansatz notwendig. Der Literatur entsprechend können z.B. folgende Verlustansätze eingesetzt werden:

Verdunstung	-	1,4 l/s·ha für die gesamte Fläche
Versickerung	-	$V_{se} \cdot (1 + 7 \cdot e^{-0,065t})$ mit $V_{se} = 17,5 \text{ l/s·ha}$ für die natürliche Fläche und t = betrachteter Zeitpunkt (Min)
Muldenverluste	-	2,0 mm für Geländeneigungsgruppe 1 1,5 mm für Geländeneigungsgruppe 2 1,0 mm für Geländeneigungsgruppe 3 0,5 mm für Geländeneigungsgruppe 4 für die natürliche Fläche
Verluste von Dachflächen	-	0,30 mm
Verluste von Straßenflächen	-	0,75 mm

Beim Einzelverlustansatz wird außerdem der Flächenanteil *sonstige befestigte Fläche* zu 25 % der natürlichen und zu 75 % der Straßenfläche zugeordnet.

1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Das Oberflächenabflussmodell von Keser und die Grenzwertmethode. Die Abflussbildung im Vergleich.

2. Abflussbildung nach der Grenzwertmethode

Die *Grenzwertmethode* wird ohne Einschränkung für alle Einzugsgebiete angewendet. Die einzelnen Verlustparameter können Sie in Form von Benetzungs- und Interzeptionsverluste, maximale Muldenverluste mit dem jeweiligen Anteil der abflusswirksamen Fläche sowie die Verdunstungsverluste vorgeben.

Im Gegensatz zu *Keser* wird hier zur Bestimmung der Verlustparameter die Angabe einer *Bodenart* erforderlich.

1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Das Oberflächenabflussmodell von Keser und die Grenzwertmethode. Die Abflussbildung im Vergleich.

Max. Benetzungsverlust (VB_{max}):

Benetzungsverluste werden als Schwellenwert behandelt und am Anfang eines Regens vorweg abgezogen. Dies gilt sowohl für undurchlässige Flächen als auch für durchlässige Flächen. Wird der Benetzungsverlust VB als Speicher betrachtet, so gilt:

$$VB_i = VB_{i-1} - \Delta N_i \quad \text{mit} \quad 0 \leq VB_i \leq VB_{max}$$

wobei ΔN_i die Niederschlagshöhe des Zeitschrittes i ist.

Der Parameter kann z.B. mit 0,5 mm für undurchlässige Flächen und 3,0 mm für durchlässige Flächen gewählt werden.

Max. Muldenverlust (VM_{max}):

Zu Beginn der Muldenauffüllphase wird unterstellt, dass schon ein bestimmter Flächenanteil abflusswirksam ist. Mit der Muldenfüllung nimmt der abflusswirksame Flächenanteil e-funktional zu bis nach kompletter Muldenfüllung ein Endabflusszustand erreicht wird.

Mulden werden während des Regens aufgefüllt. Der Muldenauffüllungsgrad kann wie folgt dargestellt werden:

$$\varepsilon_m = \frac{VM}{VM_{max}} \quad \text{für Zeitschritt } i \text{ gilt:} \quad \varepsilon_{m,i} = 1 - (1 - \varepsilon_{m,i-1}) \cdot e^{-c \cdot \Delta N_i}$$

wobei c ein von VM_{max} , $[\psi_0]$ und $[\psi_e]$ abhängiger Parameter ist.

Für undurchlässige Flächen ist die maximale Muldenauffüllung in Abhängigkeit der Geländeneigungsgruppe anzugeben. Für durchlässige Flächen wird nur ein Wert benötigt, der für alle Geländeneigungsgruppen gilt.

[Anteil der abflusswirksamen Flächen zu Beginn der Muldenauffüllung ψ_0]

Der Parameter ψ_0 (%) beschreibt den Anteil eines Flächenelementes, der zu Beginn der Muldenauffüllung Abfluss liefern kann.

[Anteil der abflusswirksamen Flächen am Ende der Muldenauffüllung ψ_e]

Mit der Muldenauffüllung nimmt der abflusswirksame Flächenanteil von ψ_0 ausgehend ständig zu, bis nach Abdeckung aller Muldenverluste der Endabflussbeiwert ψ_e (%) erreicht ist. Danach treten nur noch die Dauerverluste auf.

1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Das Oberflächenabflussmodell von Keser und die Grenzwertmethode. Die Abflussbildung im Vergleich.

Verdunstungsverluste:

Werden wie beim Oberflächenabflussmodell nach Keser/ Einzelverlustansatz behandelt. Er wird gemäß Vorgabe pauschal bei der gesamten Einzugsgebietsfläche berücksichtigt und liegt über die gesamte Regendauer an.

Versickerungsverluste - Bodenart:

Die Bodenart dient nur zur Berechnung der Versickerung für durchlässige Flächen. Dabei wird der Horton-Ansatz verwendet:

$$f(t) = f_e + (f_0 - f_e) \cdot e^{-k \cdot t}$$

- mit $f(t)$ - Infiltrationsrate zur Zeit t (mm/min)
 f_0 - Anfangsinfiltrationsrate zur Zeit $t = 0$
 f_e - Endinfiltrationsrate zur Zeit $t = \infty$
 k - Rückgangskonstante (1/min)

Grundsätzlich können die Parameter des Horton-Ansatzes (f_0 , f_e , k , und k_D) frei gewählt werden. Für die praktische Handhabung und für vergleichbare Ergebnisse ist es jedoch

sinnvoll, einige Bodenklassen zu definieren, für die dann stets dieselben bzw. festgelegten Parameter gelten. Die Festlegung von z.B. 5 Bodenarten ist sinnvoll: Sand, Feinsand/lehmiger Sand, Sandiger Lehm/Löß, Lehm/Ton und voll durchlässiger Boden. Die entsprechenden Parameter, die bei der Berechnung verwendet werden, sind in folgender Tabelle zusammengefasst.

Bodenart	f_0 (mm/min)	f_e (mm/min)	k (1/min)	k_D (1/min)
Sand	1,8	0,162	0,09	0,0011
Feinsand/lehmiger Sand	1,0	0,102	0,06	0,0005
Sandiger Lehm/Löß	0,9	0,048	0,05	0,0003
Lehm/Ton	0,3	0,030	0,03	0,0001
Voll durchlässig	0,0	0,0	0,0	0,0

1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Das Oberflächenabflussmodell von Keser und die Grenzwertmethode. Die Abflussbildung im Vergleich.

Zusammenfassung:

Die grundlegenden Ansätze der beiden Modelle sind ähnlich. Der hauptsächliche Unterschied liegt darin, dass die *Grenzwertmethode* die Angabe einer Bodenart erfordert, die ihrerseits wieder Probleme verursachen kann. Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Bodenarten homogen anliegen. Die ersatzweise Vorgabe einer für alle Einzugsgebiete einheitlichen Bodenart hilft da nicht wirklich weiter. Es stellt sich vielmehr die Frage, ob der zusätzliche Aufwand eine signifikante Verbesserung des Ergebnisses zur Folge hat.

Der Vorteil der *Grenzwertmethode* liegt auf der Hand: Die Parameterwahl ermöglicht eine flexible Steuerung des Modells, in die Abflussbildung kann differenziert eingegriffen werden. Das NA-Geschehen kann weitgehend kalibriert werden. Es ist allerdings auch zu bedenken, dass die Flexibilität des Modells risikobehaftet ist – die Abflussbildung kann fast nach Belieben beeinflusst werden. Fazit: Flexibel in der Anwendung, bei NA-Messungen empfehlenswert. Im Allgemeinen geringere Abflussmengen als *Keser*.

Die *Blackbox* von *Keser* ist zwar nicht steuerbar, entzieht sich damit aber auch Wissensdefiziten und Manipulationseinflüssen. Über Parameter und deren Auswirkungen muss nicht spekuliert werden. Wenn mehrere Personen mit dem Modell von *Keser* arbeiten, ergeben sich im Gegensatz zur *Grenzwertmethode* zwangsweise dieselben Ergebnisse – gleiche geometrische Oberflächendaten vorausgesetzt. Außerdem kommt *Keser* ohne die Bodenart aus. Fazit: Vorteile bei BFG >20%, einfache Handhabung, geringer Aufwand. Gegenüber der *Grenzwertmethode* (mittlere Verhältnisse) jedoch etwas höhere Abflüsse.

Das Programmpaket HYKAS der Fa. Rehm Software ermöglicht u.a. den Nachweis von Kanalnetzen und bietet in diesem Zusammenhang beide Modellansätze zur Auswahl an. Der Programmanwender kann damit eine am Datenbestand bzw. an den Vorgaben des Auftraggebers ausgerichtete Modellauswahl treffen.

Die realitätsnahe Ermittlung der Oberflächenabflüsse ist kompliziert. Weitere Unwegsamkeiten warten nach der Abflussbildung bei der Abflusskonzentration auf: Es ist z.B. die Festlegung der Fließlänge auf der Oberfläche erforderlich... Es ist noch ein weiter Weg bis zur Kläranlage.

1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Das Oberflächenabflussmodell von Keser und die Grenzwertmethode. Die Abflussbildung im Vergleich.

Anhang:

Beispiel: Streuung der Ergebnisse bei der Abflussbildung [m3]:

Gebietsdaten: Ages. 1 ha, Ad 0,25 ha, As = 0,125 ha, Sonstige 0,08 ha, Ig=1%

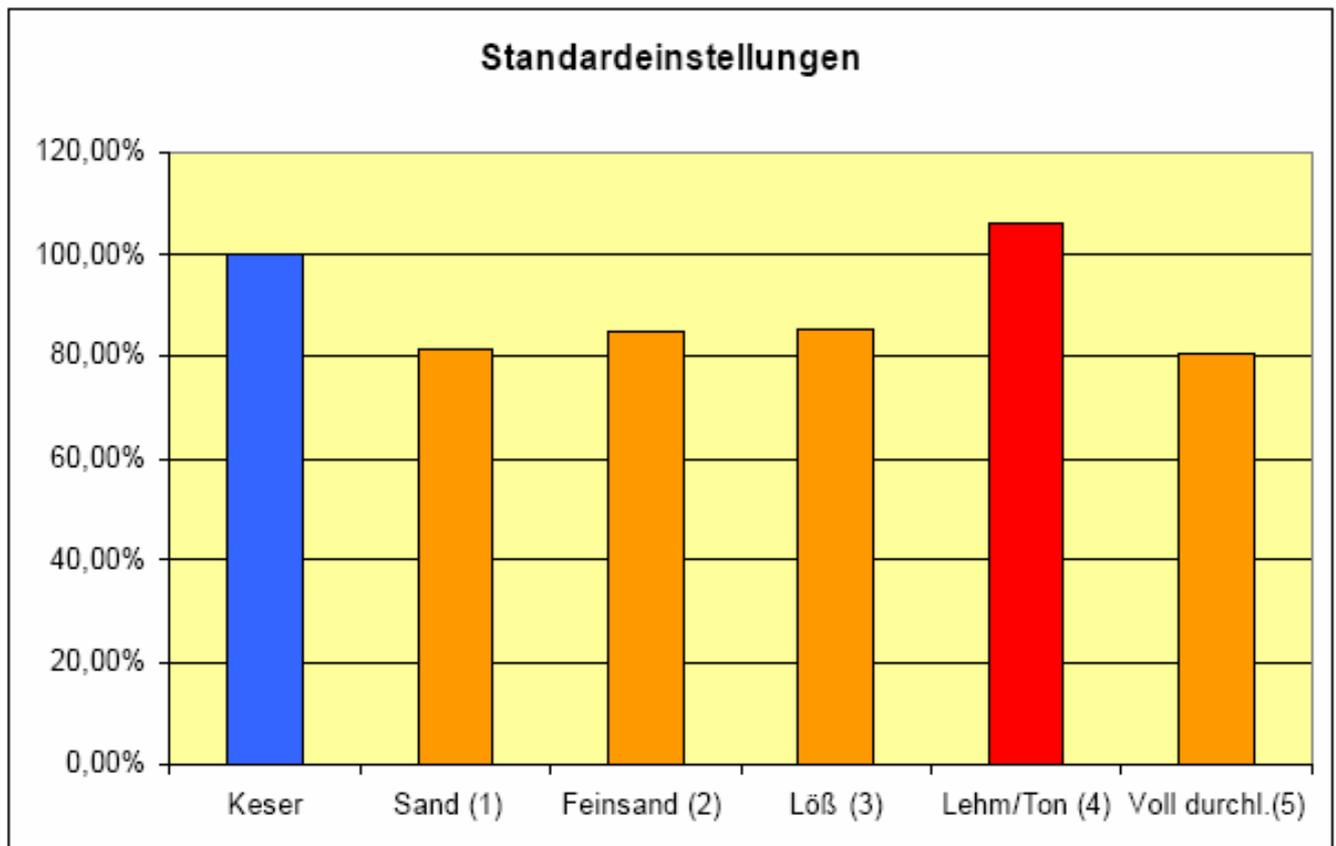


Abb.1: Abflussbildung nach der *Grenzwertmethode* im Vergleich zu *Keser* mit empfohlenen Vorgaben – nach Bodenarten aufgeschlüsselt.

1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Das Oberflächenabflussmodell von Keser und die Grenzwertmethode. Die Abflussbildung im Vergleich.

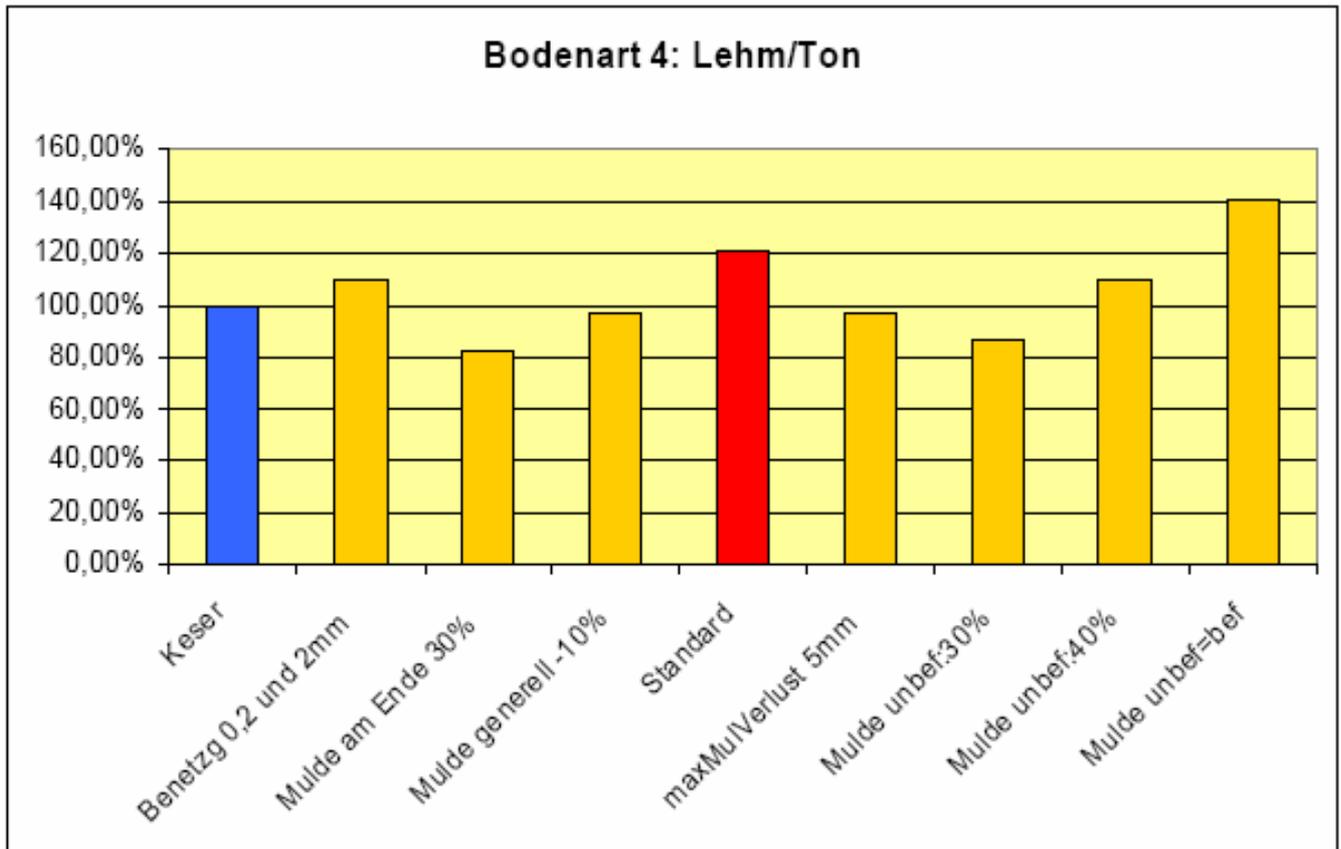


Abb.2: Abflussbildung nach der Grenzwertmethode im Vergleich zu Keser mit empfohlenen Vorgaben (Bodenart 4 mit jeweils einem veränderten Modellparameter).