

Bestimmung des Effektivniederschlags mit LARSIM-NA

Dr.-Ing. Kai Gerlinger

HYDRON Ingenieurgesellschaft für Umwelt und Wasserwirtschaft

Juni 2020

Bestimmung des Effektivniederschlags

Der Gesamtabflussbeiwert Ψ (PSI) quantifiziert den Anteil der Niederschlagshöhe, der zum Direktabfluss führt (Effektivniederschlag N_{eff}):

$$\Psi = \frac{\text{Abflusshöhe}}{\text{Niederschlagshöhe}} = \frac{N_{\text{eff}}}{N}$$

Der Effektivniederschlag ist der Gebietsniederschlag abzüglich von Verlusten (beispielsweise durch Interzeption, eine eventuell vorhandene Schneedecke oder die Füllung von Hohlräumen an der Oberfläche) und abzüglich dem Basisabfluss. Folgende Faktoren begünstigen einen hohen Gesamtabfluss:

- hohes Gefälle, steiles Relief
- hoher Grad an Versiegelung
- intensive landwirtschaftliche Nutzung
- geringer Waldanteil
- geologische Besonderheiten (dichter Untergrund)
- langanhaltende Niederschlagsereignisse (Vorsättigung des Bodens, Auffüllung von kleinräumigen Strukturen (Mulden, Furchen, Ackerraine, etc.), gefüllte Kanalnetze, vollständig benetzte Vegetation)

Text aus: BLfU 2018

Bestimmung des Effektivniederschlags

Bei der Berechnung der Abflussbildung werden der Anteil und der zeitliche Verlauf des abflusswirksamen Niederschlages bestimmt. Grundsätzlich sind dabei zwei Modellvorstellungen zu unterscheiden:

- **Prozentuales Abflussbeiwertprinzip (Sättigungsflächenprinzip):** ein prozentualer Anteil des Niederschlages gelangt zum Abfluss bzw. nur ein prozentualer Anteil des Einzugsgebietes trägt zum Abfluss bei. Diese Verfahren werden in der Regel immer angewandt, wenn die Versickerung nicht maßgebend für die Verluste ist, also bei wenig durchlässigen Böden oder Deckschichten.
- **Verlustratenprinzip (Versickerungsansatz):** Niederschlag versickert nur bis zu einer gewissen Rate und der Niederschlagsanteil oberhalb dieser Rate gelangt zum Abfluss. Dieses Verfahren kann in Einzugsgebieten angewandt werden, bei denen die Versickerung der dominante Anteil der „Verluste“ ist, also bei Böden mit hoher Versickerungsleistung wie sandigen bis kiesigen Böden ohne versickerungsbehindernde Deckschichten oder bei Schotterböden.

Je gleichmäßiger der zeitliche Verlauf des Niederschlages oder je höher der abflusswirksame Anteil des Niederschlages ist, umso weniger unterscheiden sich die nach beiden Methoden ermittelten Effektivniederschlagsganglinien. Beim Blockregen führen beide Ansätze bei den zeitinvarianten Verfahren zu gleichen und bei den zeitvarianten Verfahren zu vergleichbaren Effektivniederschlagsganglinien. In der Regel wird das Abflussbeiwertprinzip angewendet.

Text aus: BLfU 2018

Manuelle/automatische Ermittlung

Manuelle Ermittlung der Abflussbeiwerte:

Die Ermittlung der mittleren Abflussbeiwerte pro Pegel kann während der Modellkalibrierung anhand der manuellen Veränderung des Werte für PSI in der Datei <tape35> und anschließenden Testsimulationen durchgeführt werden. Dabei sollten mehrere Hochwasserereignisse analysiert werden. Für jedes Hochwasserereignis wird der Abflussbeiwert ermittelt, bei dem die beste Übereinstimmung zwischen simulierter und gemessener Ganglinie auftritt. Die Abflussbeiwerte der einzelnen Ereignisse können dann z.B. gemittelt werden, um den repräsentativen Abflussbeiwert für alle zukünftigen Simulationen im <tape35> festzulegen.

Manuelle/automatische Ermittlung

Automatische Ermittlung der Abflussbeiwerte:

LARSIM bietet im Niederschlag-Abfluss-Modus Optionen zur automatischen Parameteroptimierung an.

Die Optimierung der Parameter erfolgt für Pegelkontrollbereiche mit dem nach Marquardt modifiziertem Gauß-Newton-Verfahren. Als Zielgröße der Optimierung wird die Deviation plus dem Schwerpunktvektorbetrag für den berechneten Abfluss innerhalb eines vorgegebenen Deviationszeitraumes ausgewertet.

Das Ergebnis der Parameteroptimierung wird pro Pegel in die Logdatei <tape11> mit der Überschrift „ERGEBNISSE DER VARIATION FUER PEGEL“ sowie Angabe von Pegelname und Teilgebietsnummer ausgegeben. Vorab wird ggf. ein Hinweis (Info) ausgegeben, wenn die Optimierung beendet wurde, ohne das ein Optimum gefunden wurde. In einem solchen Fall sollte das Ergebnis der Optimierung überprüft werden, auch wenn das Ergebnis der Optimierung trotz dieses Hinweises meistens stimmig ist.

Manuelle/automatische Ermittlung

Automatische Ermittlung der Abflussbeiwerte:

Über die Parameter DEVIATIONSBEGINN und DEVIATIONSENDE im <tape10> wird der Zeitraum definiert, in dem Abweichungsmaße (Differenz der Schwerpunktsvektoren der Ganglinien, Differenz der Abflussspitzen, die Deviation, die Abweichungsquadratsumme und eine gewichtete Abweichungsquadratsumme) berechnet werden. Wird eine Parameteroptimierung durchgeführt erfolgt diese für den durch die Parameter DEVIATIONSBEGINN und DEVIATIONSENDE definierten Zeitraum.

Manuelle/automatische Ermittlung

Ermittlung der Abflussbeiwerte:

Bei der Ermittlung des Effektivniederschlages bzw. des Direktabflussanteiles und damit des Gesamtabflussbeiwertes ist stets deren Ereignisabhängigkeit zu berücksichtigen.

Anhaltswerte liefern regionale Vergleiche oder regionalisierte Verfahren. Bei der Festlegung des Gesamtabflussbeiwertes ist darauf zu achten, dass dieser in der Regel bei zunehmender Niederschlagssumme zunimmt. Dies ist bei den zeitvarianten Verfahren berücksichtigt; bei den üblicherweise angewandten Abflussbeiwertverfahren mit Schätzung des Gesamtabflussbeiwertes durch regionale Vergleiche jedoch nicht.

Vergleichsrechnungen in verschiedenen Einzugsgebieten haben gezeigt, dass bei einer Änderung der Auftretenswahrscheinlichkeit von N und Q um eine Zehnerpotenz sich der Gesamtabflussbeiwert auch um etwa 10 % ändert (Beispiel: Beträgt der Gesamtabflussbeiwert beim Bemessungsereignis HQ10 $\Psi = 0,5$, ist für die Berechnung von HQ100 eine Erhöhung um 10 %, also $\Psi = 0,55$ empfehlenswert.).

Bei der Füllenberechnung und damit bei der Berechnung mit längeren Niederschlagsdauerstufen und höheren Niederschlagssummen ist ebenfalls von erhöhten Abflussbeiwerten auszugehen.

Verfahren zur Effektivniederschlags-Berechnung

Verfahren zur Berechnung des Effektivniederschlags in LARSIM-NA:

- Abflussbeiwert-Verfahren
- Phi-Index-Verfahren
- Abflussbeiwert-Funktion
- SCS-Verfahren (Soil Conservation Service 1985)
- Verfahren nach Lutz (Lutz 1984)
- *Verfahren nach Horton (Horton 1937)*
- *Verfahren nach Koehler (Koehler 1971)*

Abflussbeiwert-Verfahren

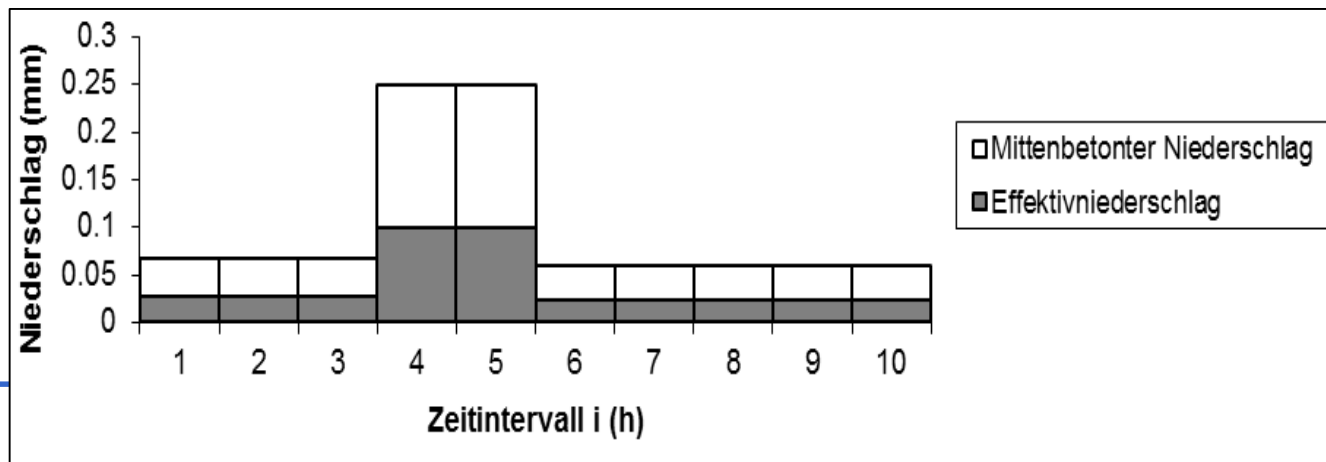
Abflussbeiwert-Verfahren:

Die einfachste und meist angewandte prozentuale Methode ist der zeitlich nicht variable (zeitinvariante) konstante Abflussbeiwert. In jedem Niederschlagsintervall ist der gleiche prozentuale Anteil abflusswirksam (abflusswirksamer Niederschlag oder Effektivniederschlag).

Formel für den konstanten Abflussbeiwert:

$$N_{\text{eff}} = N \cdot \text{PSI}$$

N_{eff}	[mm]	abflusswirksamer Niederschlag (Effektivniederschlag)
N	[mm]	Gebietsniederschlag
PSI	[-]	Abflussbeiwert



BLfU 2018

Abflussbeiwert-Verfahren

Abflussbeiwert-Verfahren:

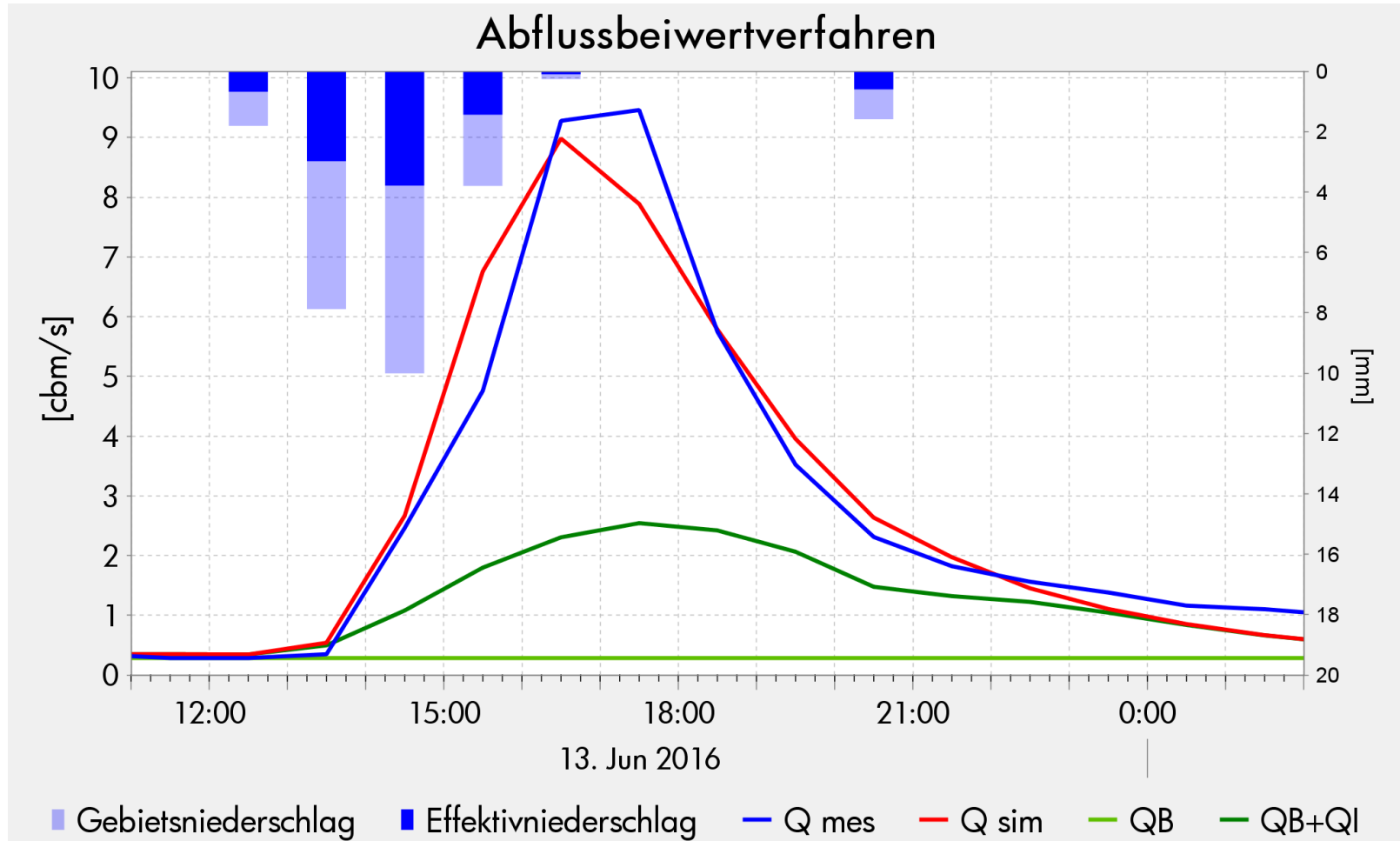
Die einfachste und meist angewandte prozentuale Methode ist der zeitlich nicht variable (zeitinvariante) konstante Abflussbeiwert. In jedem Niederschlagsintervall ist der gleiche prozentuale Anteil abflusswirksam (abflusswirksamer Niederschlag oder Effektivniederschlag).

Option in LARSIM-NA: PSI GEGEBEN

Vorgabe des PSI-Werts in der Datei <tape35> (Spalte PSI)

Abflussbeiwert-Verfahren

Abflussbeiwert-Verfahren:



Pegel Dingolshausen/Volkach ($A_{\text{EZG}} = 16 \text{ km}^2$ (Modellgebiet Mittlerer Main))

Abflussbeiwert-Verfahren

Optimierung der Abflussbeiwerte für das Abflussbeiwert-Verfahren:

Zusätzlich zur Option PSI GEGEBEN ist im <tape10> die Option PSI-OPTIMIERUNG zu setzen.

Über den Parameter ZUL. BEREICH PSI kann die zulässige Unter- und Obergrenze für den Parameter Abflussbeiwert und somit für die Optimierung des Abflussbeiwertes festgelegt werden.

Der optimierte Abflussbeiwert wird in das <tape11> geschrieben sowie in die Datei <psi.xml>.

PHI-Index-Verfahren

PHI-Index-Verfahren (oder Φ -Index-Verfahren):

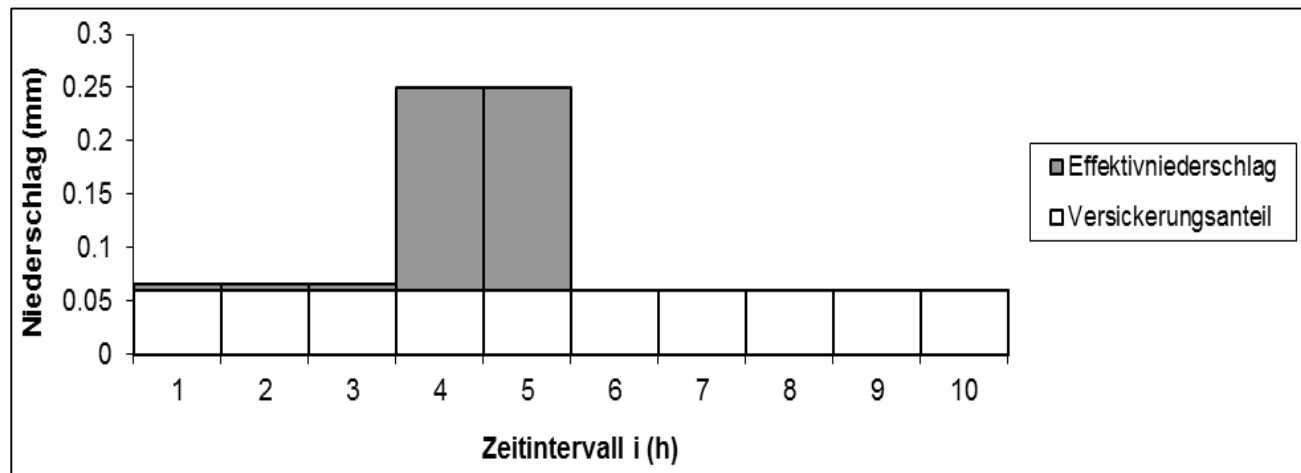
Annahme einer zeitlich nicht variable (zeitinvariante) konstanten Verlustrate (unrealistisch).

Formel für die konstante Verlustrate:

$$N_{\text{eff}} = N - \text{PHI} \quad \text{wenn } N > \text{PHI}$$

$$N_{\text{eff}} = 0 \quad \text{wenn } N \leq \text{PHI}$$

PHI [mm] Konstante Verluste *Phi*



BLfU 2018

PHI-Index-Verfahren

PHI-Index-Verfahren (oder Φ -Index-Verfahren):

Annahme einer zeitlich nicht variable (zeitinvariante) konstanten Verlustrate (unrealistisch).

Formel für die konstante Verlustrate:

$$N_{\text{eff}} = N - \text{PHI} \quad \text{wenn } N > \text{PHI}$$

$$N_{\text{eff}} = 0 \quad \text{wenn } N \leq \text{PHI}$$

PHI [mm] Konstante Verluste Phi

Die Bestimmung der Verlustrate kann iterativ über den Abflussbeiwert erfolgen. Bei zeitlich variablem Niederschlagsverlauf kann die Verlustrate iterativ so eingestellt werden, dass das Verhältnis der Effektivniederschlagssumme N_{eff} zur Gebietsniederschlagssumme N dem Abflussbeiwert Ψ_m entspricht:

$$\frac{N_{\text{eff}}}{N_{\text{geb}}} = \Psi_m$$

PHI-Index-Verfahren

PHI-Index-Verfahren (oder Φ -Index-Verfahren):

Annahme einer zeitlich nicht variable (zeitinvariante) konstanten Verlustrate (unrealistisch).

Option in LARSIM-NA: PHI GEGEBEN

Vorgabe des PHI-Werts in der Datei <tape35> (Spalte PHI)

Die Bestimmung der Verlustrate kann iterativ über den Abflussbeiwert erfolgen. Bei zeitlich variablem Niederschlagsverlauf kann die Verlustrate iterativ so eingestellt werden, dass das Verhältnis der Effektivniederschlagssumme N_{eff} zur Gebietsniederschlagssumme N dem Abflussbeiwert Ψ_m entspricht.

Option in LARSIM-NA: PHI AUS PSI

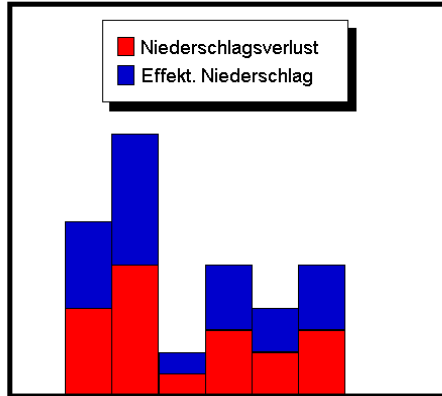
Die aktuellen Verlustraten in den Teilgebieten werden aus eingelesenen Abflussbeiwerten in der Datei <tape35> iterativ ermittelt. Vorgabe des PSI-Werts in der Datei <tape35> (Spalte PSI).

Verfahren zur Effektivniederschlags-Bestimmung

konstanter Prozentansatz

ohne Anfangsverlust

Intensität [mm/h]



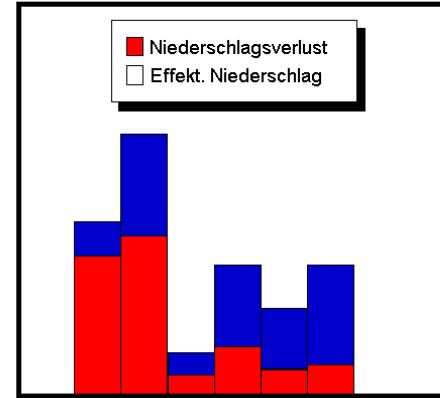
Zeit t

$$I_{\text{eff},i} = \psi \cdot I_i$$

exponentieller Prozentansatz

ohne Anfangsverlust

Intensität [mm/h]



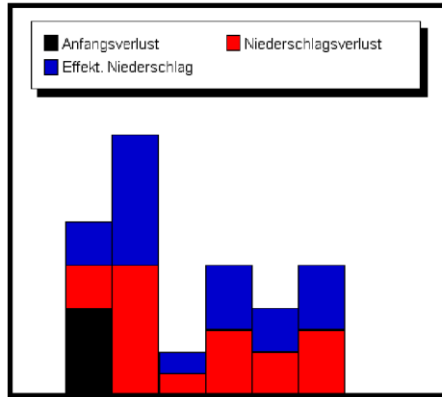
Zeit t

$$\begin{aligned} \varphi_i &= \varphi_e + (\varphi_a - \varphi_e) \cdot e^{-a \cdot t} \\ I_{\text{eff},i} &= (1 - \varphi_i) \cdot I_i \end{aligned}$$

konstanter Prozentansatz

mit Anfangsverlust

Intensität [mm/h]



Zeit t

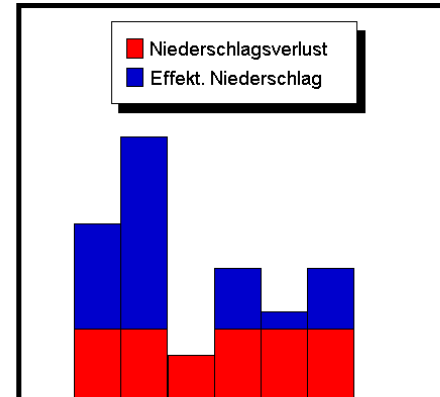
$$I_{\text{eff},i} = \psi' \cdot I_i$$

$$\psi' = \psi \cdot N/(N - A_v)$$

Φ-INDEX

ohne Anfangsverlust

Intensität [mm/h]



Zeit t

$$I_{\text{eff},i} = \begin{cases} 0 & \text{für } I_i \leq \Phi \\ I_i - \Phi & \text{für } I_i > \Phi \end{cases}$$

Verfahren zur Effektivniederschlags-Bestimmung

Verfahren zur Berechnung des Effektivniederschlags in LARSIM-NA:

- Abflussbeiwert-Verfahren → Zeitlich konstante Abflussbeiwerte
- Phi-Index-Verfahren → Zeitlich konstante Verlustrate
- Abflussbeiwert-Funktion → Zeitlich variable Abflussbeiwerte
- SCS-Verfahren (Soil Conservation Service 1985) → Zeitlich variable Abflussbeiwerte
- Verfahren nach Lutz (Lutz 1984) → Zeitlich variable Abflussbeiwerte
- *Verfahren nach Horton (Horton 1937)* → *Zeitlich variable Abflussbeiwerte*
- *Verfahren nach Koehler (Koehler 1971)* → *Zeitlich variable Verlustraten*

Abflussbeiwert-Funktion

Abflussbeiwert-Funktion:

Die vorangegangenen Verfahren berücksichtigen keine Änderungen der Verluste in Abhängigkeit vom aktuellen hydrologischen Geschehen. In Niedrigwasserperioden oder bei länger andauernden Hochwassern sind solche Änderungen jedoch von größerer Bedeutung. Daher kann mit Hilfe der Abflussbeiwertfunktion der abflusswirksame Niederschlag in Abhängigkeit vom Abfluss aus dem langsamen Speicher im vorangegangenen Zeitschritt ermittelt werden.

Abflussbeiwert-Funktion

Abflussbeiwert-Funktion:

Im ersten Berechnungszeitschritt gilt die Gleichung des Abflussbeiwert-Verfahrens. Ab dem zweiten Berechnungszeitschritt gilt:

$$N_{\text{eff}} = N \cdot \text{PSII}$$

$$\text{PSII} = \text{PSIMIN} + \text{PSI} \cdot \text{BAF} \cdot \left(\frac{100 \cdot Q1_{t-1}}{3.6 \cdot F_{\text{TGB}} \cdot t_a} \right)^{\text{CAF}}$$

$$\text{PSII} = \text{Maximum}\{\text{PSIMIN}, \text{Minimum}\{\text{PSIMAX}, \text{PSII}\}\}$$

<i>PSII</i>	<i>[-]</i>	<i>Variabler Abflussbeiwert der Abflussbeiwert-Funktion</i>
<i>PSIMIN</i>	<i>[-]</i>	<i>Minimaler Abflussbeiwert der Abflussbeiwert-Funktion</i>
<i>PSIMAX</i>	<i>[-]</i>	<i>Maximaler Abflussbeiwert der Abflussbeiwert-Funktion</i>
<i>BAF</i>	<i>[-]</i>	<i>Multiplikationsfaktor für die Abflussbeiwert-Funktion</i>
<i>CAF</i>	<i>[-]</i>	<i>Exponent für die Abflussbeiwert-Funktion</i>
<i>F_{TGB}</i>	<i>[km²]</i>	<i>Fläche des Teilgebiets</i>
<i>t_a</i>	<i>[h]</i>	<i>Dauer eines Berechnungszeitschritts</i>
<i>Q1</i>	<i>[mm]</i>	<i>Abfluss aus dem langsamen Speicher</i>

Abflussbeiwert-Funktion

Abflussbeiwert-Funktion:

Neben der Option ABFLUSSBEIWERTFUNKTION ist im <tape10> der Parameter ABFLUSSBEIWERTFUNK. festzulegen. Dadurch werden die bei der Berechnung der Abflussbeiwert-Funktion benötigten Parameter eingelesen.

Die Bedeutung der vier Parameterwerte sind:

1. Wert = minimaler Abflussbeiwert der Funktion
2. Wert = maximaler Abflussbeiwert der Funktion
3. Wert = Multiplikationsgröße für die Abflussbeiwertfunktion (BAF)
4. Wert = Exponent der Abflussbeiwertfunktion (CAF).

Beispiel:

ABFLUSSBEIWERTFUNKT. 0.05 1.5 1.0 0.40

Abflussbeiwert-Funktion

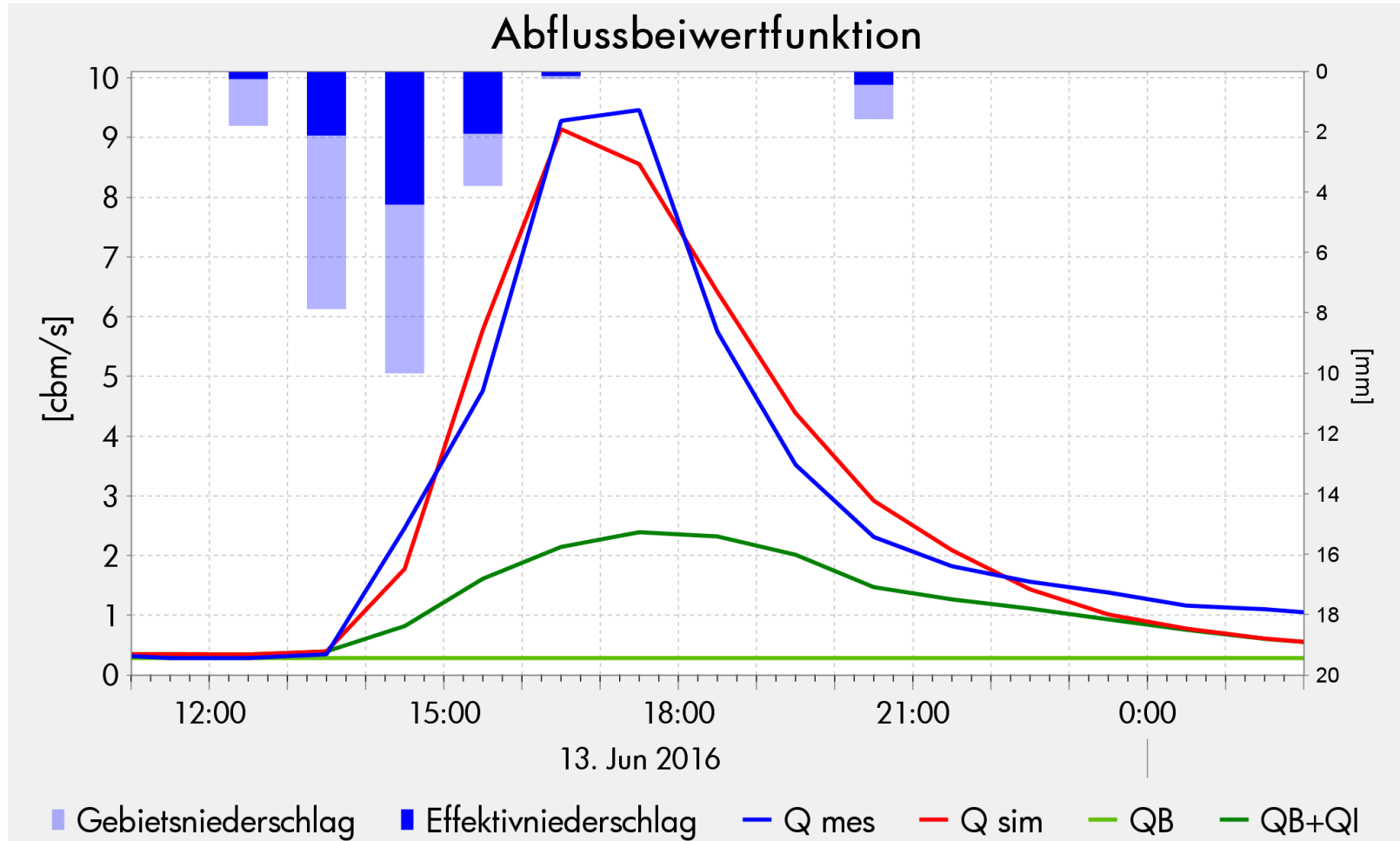
Optimierung der Abflussbeiwerte für das Abflussbeiwert-Verfahren:

Zusätzlich zur Option ABFLUSSBEIWERTFUNKTION ist im <tape10> die Option PSI-OPTIMIERUNG zu setzen. Dadurch wird der Wert für den Parameter BAF der Abflussbeiwert-Funktion optimiert.

Der optimierte Wert für den Wert BAF wird in das <tape11> geschrieben sowie in die Datei <psi.xml> (zusammen mit dem mittleren und maximalen Abflussbeiwert).

Abflussbeiwert-Funktion

Abflussbeiwert-Funktion:



Pegel Dingolshausen/Volkach

Bestimmung des Effektivniederschlags

SCS-Verfahren:

Das SCS-Verfahren wurde ursprünglich für die Vereinigten Staaten vom US Soil Conservation Service (1985) entwickelt. In LARSIM steht sowohl eine Variante zur Berechnung eines zeitlich konstanten Abflussbeiwerts für das gesamte Ereignis als auch eine Variante mit zeitlich variierendem Abflussbeiwert zur Verfügung.

Bei Berechnung des Effektivniederschlags mit zeitlich konstantem Abflussbeiwert wird dieser als Funktion der Niederschlagssumme im Ereigniszeitraum, des gebietsspezifischen CN-Werts („Curve-Number“) und eines Anfangsverlustes bestimmt. Der CN-Wert ist dabei ein Maß für das Wasserspeichervermögen des Bodens und ergibt sich aus dem jeweiligen hydrologischen Bodentyp, der Landnutzung und des Bodenfeuchtezustands. Für den Anfangsverlust wird standardmäßig ein Wert von 0,2 (20 %) des Gebietsniederschlags angenommen. Alternativ kann der prozentuale Anfangsverlust jedoch auch gebietsspezifisch explizit vorgegeben werden

SCS-Verfahren

SCS-Verfahren:

Der zeitlich konstante Abflussbeiwert wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$PSI = \frac{25,4}{N_{sum}} \cdot \frac{\left(\frac{N_{sum}}{25,4} - 1000 \cdot \frac{I_a}{CN} + 10 \cdot I_a\right)^2}{\frac{N_{sum}}{25,4} + 1000 \cdot \frac{1 - I_a}{CN} - 10 \cdot (1 - I_a)}$$

N_{sum} [mm] Niederschlagssumme im Ereignis

I_a [] Anfangsverlust

CN [] CN-Wert

Der Effektivniederschlag ergibt sich wie beim Abflussbeiwert-Verfahren aus:

$$N_{eff} = N \cdot PSI$$

SCS-Verfahren

SCS-Verfahren:

Zur Berechnung des SCS-Verfahrens mit zeitinvariantem Abflussbeiwert ist die Option PSI AUS CN-WERT in Verbindung mit der Option PSI GEGEBEN zu aktivieren. Der für das Ereignis zeitlich konstante Abflussbeiwert wird dabei als Funktion der Niederschlagssumme im Ereigniszeitraum und des gebietsspezifischen CN-Werts bestimmt. Der CN-Wert ist ein Maß für das Wasserspeichervermögen des Bodens und ergibt sich prinzipiell aus dem jeweiligen hydrologischem Bodentyp, der Bodennutzung und der Bodenfeuchteklasse.

Zudem berücksichtigt das CN-Wert-Verfahren einen Anfangsverlust I_a , für den standardmäßig ein Wert von 0,2 (20%) angenommen wird. Alternativ kann der Anfangsverlust als gebietsspezifischer Parameter SCS_IA in der Parameterdatei <tape35> vorgesehen werden. Dem Parameter SCS_IA sind dabei Werte ≥ 0 und ≤ 1 zuzuweisen.

Der CN-Wert wird standardmäßig als gebietsspezifischer Parameter CN in der Datei <tape35> mit Werten ≥ 0 und ≤ 100 definiert.

SCS-Verfahren:

Alternativ besteht die Möglichkeit, anstelle der expliziten Vorgabe von CN-Werten im <tape35> diese programmintern anhand der Angaben zur Landnutzung (LN) und dem hydrologischen Bodentyp (Bodentyp) aus der Gebietsdatei <utgb.dat> abzuleiten.

Voraussetzung für die programminterne Ermittlung der CN-Werte ist damit die Option GEBIETSDATEN. Zudem darf dazu der gebietsspezifische Parameter CN nicht in der Datei <tape35> enthalten sein.

Die programminterne Ableitung der CN-Werte erfolgt mithilfe der Lookup-Tabelle. BF in der obigen Tabelle steht für den Bodenfeuchtezustand laut Einzelparаметer BODENFEUCHTE BF. Ist dieser nicht explizit als Einzelparаметer in der Datei <tape10> definiert, gilt der Default-Wert BF = 2.

	BF = 1				BF = 2				BF = 3			
Landnutzung	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
Siedlung	44	59	66	72	54	72	79	84	66	83	89	92
Siedlung, dicht	74	81	84	87	79	87	90	93	84	92	95	96
Siedlung, locker	40	55	64	70	50	69	78	83	64	82	89	92
versiegelt	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Acker	44	57	69	75	64	76	84	88	81	89	93	95
Weinbau	50	63	73	78	70	80	87	90	85	91	95	96
Obstbau	12	35	50	59	25	55	70	77	44	74	85	89
unbewachs. Boden	59	72	80	86	77	86	91	94	89	94	97	98
Gletscher	59	72	80	86	77	86	91	94	89	94	97	98
Gruenland, inten.	30	49	61	69	49	69	79	84	69	84	91	93
Feuchtfleachen	15	38	51	60	30	58	71	78	50	76	86	90
Gruenland, exten.	15	38	51	60	30	58	71	78	50	76	86	90
Brachfleachen	15	38	51	60	30	58	71	78	50	76	86	90
Feuchtfleachen	15	38	51	60	30	58	71	78	50	76	86	90
locker baumbest.	12	35	50	59	25	55	70	77	44	74	85	89
Nadelwald	12	32	42	49	26	52	62	69	45	71	79	84
Laubwald	12	32	42	49	26	52	62	69	45	71	79	84
Mischwald	12	32	42	49	26	52	62	69	45	71	79	84
Wasser	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Siedlungsfleachen	74	81	84	87	79	87	90	93	84	92	95	96
Siedlungsfreifl.	40	55	64	70	50	69	78	83	64	82	89	92
Industrie	74	81	84	87	79	87	90	93	84	92	95	96
Verkehr	74	81	84	87	79	87	90	93	84	92	95	96

SCS-Verfahren

SCS-Verfahren:

Die Berechnung des Effektivniederschlags nach dem SCS-Verfahren mit zeitlich variablem Abflussbeiwert unterscheidet sich nur dahingehend, dass der Abflussbeiwert hier für jeden Zeitschritt als Funktion des bisherigen Niederschlagsverlaufs bestimmt wird

Der zeitlich variante Abflussbeiwert wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$N_{\text{eff,sum},t} = 25,4 \cdot \frac{\left(\frac{N_{\text{sum},t}}{25,4} - 1000 \cdot \frac{I_a}{CN} + 10 \cdot I_a \right)^2}{\frac{N_{\text{sum},t}}{25,4} + 1000 \cdot \frac{1 - I_a}{CN} - 10 \cdot (1 - I_a)}$$

$$N_{\text{eff},t} = N_{\text{eff,sum},t} - N_{\text{eff,sum},t-1}$$

$N_{\text{eff,sum},t}$	[mm]	Effektivniederschlagssumme im Ereignis bis zum Zeitschritt t
$N_{\text{sum},t}$	[mm]	Niederschlagssumme im Ereignis bis zum Zeitschritt t
$N_{\text{eff},t}$	[mm]	Effektivniederschlag zum Zeitschritt t
I_a	[]	Anfangsverlust
CN	[]	CN-Wert

SCS-Verfahren

SCS-Verfahren:

Zur Nutzung des CN-Wert-Verfahrens mit zeitvariantem Abflussbeiwert ist zusätzlich zur Option PSI GEGEBEN und PSI AUS CN-WERT die Option PSI-VERLAUF NACH SCS zu aktivieren.

Die Ermittlung des CN-Werts und des Anfangsverlusts erfolgt analog zum Verfahren der Option PSI AUS CN-WERT.

SCS-Verfahren

Optimierung der Abflussbeiwerte für das SCS-Verfahren:

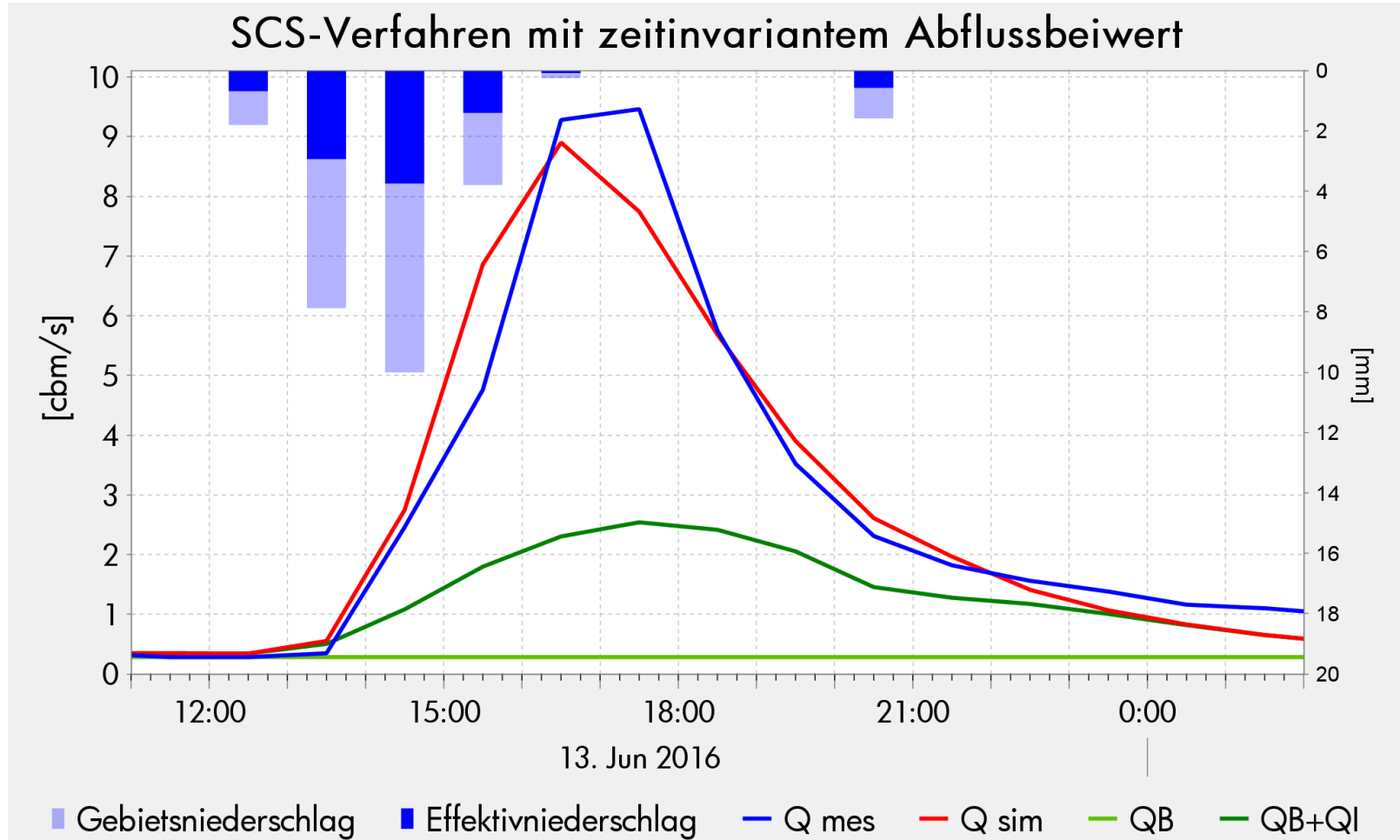
Zusätzlich zur Option PSI GEGEBEN und PSI AUS CN-WERT (und ggf. PSI-VERLAUF NACH SCS) ist im <tape10> die Option SCS_IA-VARIATION zu setzen. Dadurch wird der Wert für den Anfangsverlust optimiert.

Dazu ist der Einzelparameter ZUL. BEREICH SCS_IA mit dem minimal sowie maximal zulässigen Wert für den zu optimierenden Modellparameter I_a vorzugeben. Zulässige Werte liegen zwischen ≥ 0.0 und ≤ 1.0 , wobei der 2. Wert größer als der 1. Wert sein muss.

Der optimierte Wert für den Wert des Anfangsverlust I_a wird in das <tape11> geschrieben sowie in die Datei <psi.xl>.

SCS-Verfahren

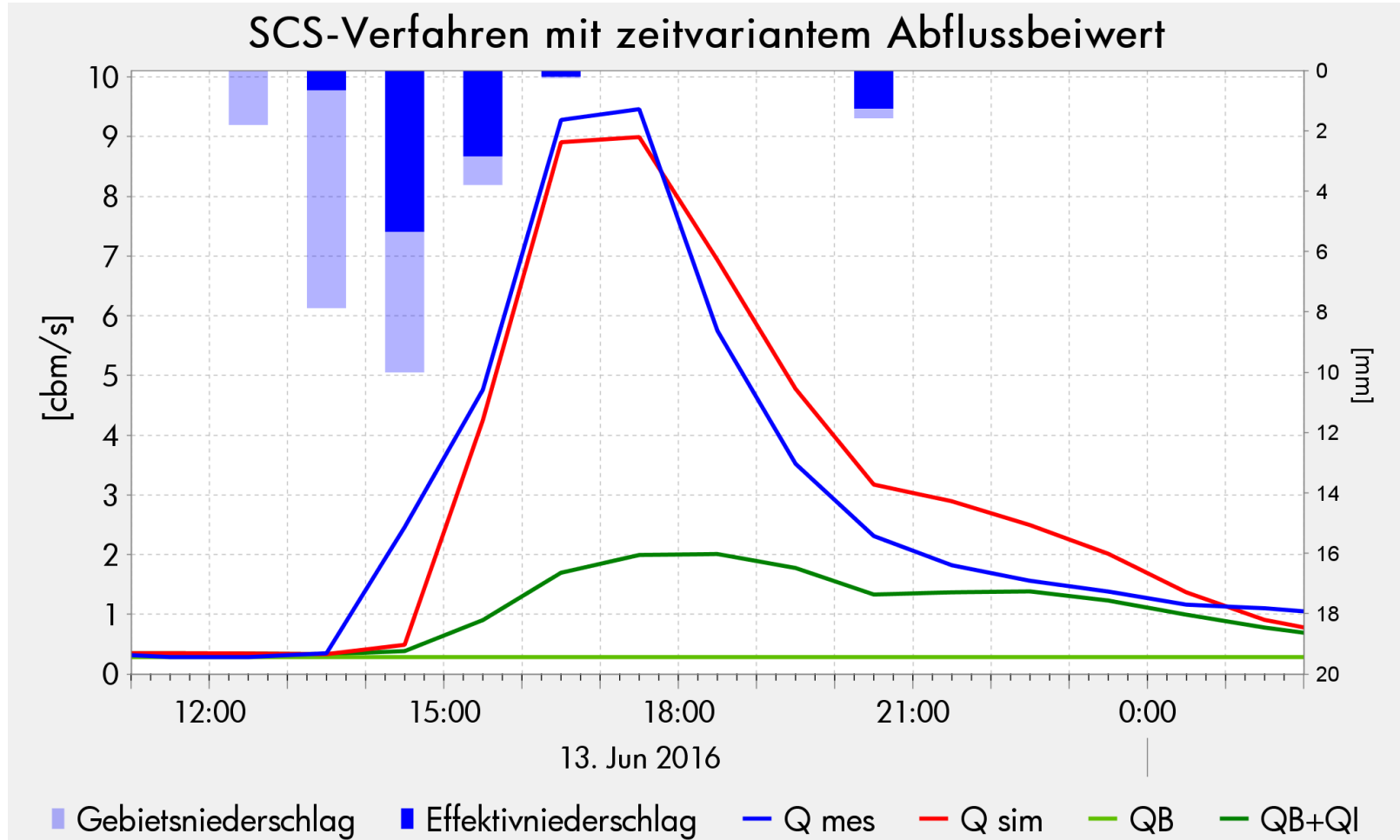
SCS-Verfahren:



Pegel Dingolshausen/Volkach

SCS-Verfahren

SCS-Verfahren:



Pegel Dingolshausen/Volkach

Lutz-Verfahren

Lutz-Verfahren:

Das Verfahren nach Lutz (1984) dient der Ermittlung des Abflussbeiwerts. Ebenso wie das oben beschriebene SCS-Verfahren kann auch das Lutz-Verfahren in LARSIM wahlweise mit einem im Ereignis zeitlich konstanten oder einem zeitlich variablen Abflussbeiwert berechnet werden.

Beim Lutz-Verfahren mit zeitlich konstantem Abflussbeiwert wird dieser als Funktion der Niederschlagssumme im Ereigniszeitraum sowie verschiedenen gebietsspezifischen Einflussgrößen bestimmt. Dabei wird die Abflusshöhe von versiegelten und unversiegelten Gebieten getrennt betrachtet.

Lutz-Verfahren

Lutz-Verfahren:

$$PSI = \frac{(h_{A,u} + h_{A,s})}{N_{\text{sum}}}$$

$$h_{A,s} = (N_{\text{sum}} - A_{v,s}) \cdot PSI_s \cdot \frac{V_A}{100} \cdot \frac{A_b}{100}$$

$h_{A,s}$	[mm]	Abfluss von versiegelter Fläche
$h_{A,u}$	[mm]	Abfluss von unversiegelter Fläche
$A_{v,s}$	[mm]	Anfangsverlust versiegelte Fläche (konstant = 1.0)
$A_{v,u}$	[mm]	Anfangsverlust unversiegelte Fläche
V_A	[%]	Versiegelungsgrad
A_b	[%]	bebauter Flächenanteil
PSI_s	[]	Abflussbeiwert für versiegelte Flächen (konstant = 1.0)

Lutz-Verfahren

Lutz-Verfahren:

$$h_{A,u} = \left((N_{\text{sum}} - A_{v,u}) \cdot c + \frac{c}{a} \cdot (e^{-a \cdot (N_{\text{sum}} - A_v)} - 1) \right) \cdot \left(1 - \frac{V_A}{100} \cdot \frac{A_b}{100} \right)$$

$$a = c1 \cdot e^{\frac{-c2}{WZ}} \cdot e^{\frac{-c3}{q_B}} \cdot e^{-c4 \cdot D}$$

$h_{A,u}$	[mm]	Abfluss von unversiegelter Fläche
$A_{v,u}$	[mm]	Anfangsverlust unversiegelte Fläche
c	[]	maximaler Endabflussbeiwert

Lutz-Verfahren

Lutz-Verfahren:

Bodentyp		A	B	C	D
Landnutzung		maximale Abflussbeiwerte c [-] (Endabflussbeiwert)			
Waldgebiet		0,17	0,48	0,62	0,70
Ödland		0,71	0,83	0,89	0,93
Reihenkultur:	Hackfrüchte Weinbau, u.a.	0,62	0,75	0,84	0,88
Getreideanbau:	Weizen Roggen, u.a.	0,54	0,70	0,80	0,85
Leguminosen:	Kleefeld Luzerne Ackerfrüchte	0,51	0,68	0,79	0,84
Weideland		0,34	0,60	0,74	0,80
Dauerwiese		0,10	0,46	0,63	0,72
Haine	Obstanlagen	0,17	0,48	0,66	0,77
		Anfangsverlust A _v [mm]			
landwirtschaftliche Flächen		7,0	4,0	2,0	1,5
bewaldete Flächen		8,0	5,0	3,0	2,5
versiegelte Flächen		1,0			
Beschreibung des Bodentyps:					
A: Schotter, Kies, Sand (kleinster Abfluss)					
B: Feinsand, Löss, leicht tonige Sande					
C: bindige Böden mit Sand, Mischböden: lehmiger Mehlsand, sandiger Lehm, tonig-lehmiger Sand					
D: Ton, Lehm, dichter Fels, stauender Untergrund (größter Abfluss)					

Lutz-Verfahren

Lutz-Verfahren:

$$h_{A,u} = \left((N_{\text{sum}} - A_{v,u}) \cdot c + \frac{c}{a} \cdot (e^{-a \cdot (N_{\text{sum}} - A_v)} - 1) \right) \cdot \left(1 - \frac{V_A}{100} \cdot \frac{A_b}{100} \right)$$

$$a = c1 \cdot e^{\frac{-c2}{WZ}} \cdot e^{\frac{-c3}{q_B}} \cdot e^{-c4 \cdot D}$$

$h_{A,u}$	[mm]	Abfluss von unversiegelter Fläche
$A_{v,u}$	[mm]	Anfangsverlust unversiegelte Fläche
c	[]	maximaler Endabflussbeiwert
a	[1/mm]	Proportionalitätsfaktor
$c1$	[]	gebietsspezifischer Faktor
$c2$	[]	Faktor für den Einfluss der Jahreszeit
$c3$	[]	Faktor für den Einfluss der Bodenfeuchte (i.d.R. konstant = 2.0)
$c4$	[]	Faktor für den Einfluss der Niederschlagsdauer (i.d.R. konstant = 0.0)
q_B	[l/(s/km ²)]	Basisabflussspende
D	[h]	Niederschlagsdauer (nicht relevant, da $c4 = 0.0$)
WZ	[]	Wochenzahl

Lutz-Verfahren

Lutz-Verfahren:

Bodentyp		A	B	C	D
Landnutzung		maximale Abflussbeiwerte c [-] (Endabflussbeiwert)			
Waldgebiet		0,17	0,48	0,62	0,70
Ödland		0,71	0,83	0,89	0,93
Reihenkultur:	Hackfrüchte Weinbau, u.a.	0,62	0,75	0,84	0,88
Getreideanbau:	Weizen Roggen, u.a.	0,54	0,70	0,80	0,85
Leguminosen:	Kleefeld Luzerne Ackerfrüchte	0,51	0,68	0,79	0,84
Weideland		0,34	0,60	0,74	0,80
Dauerwiese		0,10	0,46	0,63	0,72
Haine	Obstanlagen	0,17	0,48	0,66	0,77
		Anfangsverlust A _v [mm]			
landwirtschaftliche Flächen		7,0	4,0	2,0	1,5
bewaldete Flächen		8,0	5,0	3,0	2,5
versiegelte Flächen		1,0			
Beschreibung des Bodentyps:					
A: Schotter, Kies, Sand (kleinster Abfluss)					
B: Feinsand, Löss, leicht tonige Sande					
C: bindige Böden mit Sand, Mischböden: lehmiger Mehlsand, sandiger Lehm, tonig-lehmiger Sand					
D: Ton, Lehm, dichter Fels, stauender Untergrund (größter Abfluss)					

Zuordnung der Wochenzahl WZ für die Monat des Jahres

Monat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Wochenzahl	23	21	18	15	11	8	5	8	11	15	18	21

Default-Werte für die Parameter c1 bis c4

c1	0,02	c3	2
c2	2 (Nadelwald/Wiesen) bis 4,62 (landwirtschaftl. Nutzung)	c4	0

Hydrologische Wochenzahl WZ:

31.	Kalenderwoche:	WZ = 1 (Ende Juli/Anfang August)
30./32.	"	WZ = 2
29./33.	"	WZ = 3 (Mitte Juli und Mitte August)
:	:	:
7./3.	"	WZ = 25
4.-6.	"	WZ = 26 (Januar/Februar)

WZ : **Wochenzahl:** (WZ = 1 für 31. Woche, WZ = 2 für 32. und 30. Woche usw., d.h.:
WZ = 32 - W für W < 31
WZ = W - 30 für W ≥ 31 mit W = Woche

Ihringer 2019

Muth et al. 2001

Lutz-Verfahren

Lutz-Verfahren:

gegeben: Niederschlagsereignis: $N = 60 \text{ mm}$
 gesucht: Effektivniederschlag (Lutz-Verfahren)

für EZG mit
 Bodenklasse C

Nutzungen: Wald 25 %
 Weideland 40 %
 Getreide: 35 %

Endabflussbeiwert c :
 nach Lutz-Tabelle für Bodenklasse C:

Wald $c = 0,62$
 Weideland $c = 0,74$
 Getreide $c = 0,80$
 Flächenmittel $c = 0,73$

Anfangsverlust A_V :

landw. Fläche $A_V = 2,0 \text{ mm}$
 Wald $A_V = 3,0 \text{ mm}$
 Flächenmittel $A_V = 2,25 \text{ mm}$

Parameter:

$C_1 = 0,02$ $C_2 = 3,0$
 $C_3 = 2,0$ $C_4 = 0,0$

Basisabfluss: $q_B = 10 \text{ l/s/km}^2$
 Jahreszeit: Februar $\Rightarrow WZ = 21$

Abflussbeiwert: $\psi = 0,223$

gesucht: zeitlicher Verlauf für
 konstanten Abflussbeiwert ($I_{\text{eff},1}$)

korrigierter Abflussbeiwert (wegen A_V):

$$\psi' = \psi \cdot N / (N - A_V) \\ = 0,223 \cdot 60 / (60 - 2,25) = 0,232$$

Gebietsrückhalt: $R = 46,6 \text{ mm}$

eff. Niederschlag: $N_{\text{eff}} = 13,4 \text{ mm}$

Zeit	I	AV	I_red	I_eff,1
1	12	2.25	9.75	2.26
2	20	0	20	4.64
3	6	0	6	1.39
4	10	0	10	2.32
5	4	0	4	0.93
6	8	0	8	1.86
Summe	60	2.25	57.75	13.4

Lutz-Verfahren

Lutz-Verfahren:

Analog zum SCS-Verfahren unterscheidet sich auch beim Lutz-Verfahren die Berechnung des Effektivniederschlags mit zeitlich variablem Abflussbeiwert mit der Berechnung mit zeitlich konstantem Abflussbeiwert nur dahingehend, dass der zeitlich variable Abflussbeiwert für jeden Zeitschritt als Funktion des bisherigen Niederschlagsverlaufs bestimmt wird.

Lutz-Verfahren

Lutz-Verfahren:

Zur Anwendung des Lutz-Verfahrens können bzw. müssen folgende gebietsspezifische Parameter in der Datei <tape35> definiert werden:

- Lutz_c: Maximaler Endabflussbeiwert c [-] mit Wertebereich ≥ 0.1 und ≤ 1.0 (obligatorisch, sofern nicht Option LUTZ-PARAMETER ABLEITEN aktiv ist)
- Lutz_c1fak: Faktor zur Multiplikation des Parameters c1 [-] mit Wertebereich ≥ 0 und ≤ 100 und Default-Wert 1.0 (optional)
- Lutz_WZ: Wochenzahl WZ mit Wertebereich ≥ 1 und ≤ 26 und Default-Wert 10 (optional)
- QBSP: Basisabflussspende [$\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$] mit Wertebereich ≥ 0 (Werte werden ignoriert, wenn Option BASISABFLUSS GEMESSEN oder BASISABFLUSS MINIMAL aktiv ist)

Folgende in das Lutz-Verfahren eingehende Parameter können direkt für die Landnutzungs-Boden-Kompartimente in der Datei <utgb.dat> definiert werden (optional):

- Lutz_c1: Parameter c1 [-] mit Default-Wert 1.0 (bei Definition von Lutz_c1fak in <tape35> bzw. 0.02 (wenn Lutz_c1fak nicht definiert ist)
- Vgrad: Versiegelungsgrad vA [%] mit Wertebereich ≥ 0.0 und ≤ 100.0 und Default-Wert 0.0 (wenn nicht explizit angegeben und keine Landnutzungsangaben vorliegen, siehe unten)

Lutz-Verfahren:

Wird der Versiegelungsgrad (Vgrad) nicht explizit für alle Landnutzungs-Boden-Kompartimente in der <utgb.dat> vorgegeben, dann wird er programmintern aus den Angaben zur Landnutzung in der <utgb.dat> abgeleitet. Falls keine Angaben zur Landnutzung (LN) in der <utgb.dat> vorliegen, dann wird in allen Teilgebieten ein Versiegelungsgrad von 0% für das Lutz-Verfahren angenommen.

Folgende Parameter können mittels der Option LUTZ-PARAMETER ABLEITEN aus Angaben zur Landnutzung (LN) und dem hydrologischen Bodentyp (Bodentyp) in der Gebietsdatei <utgb.dat> abgeleitet werden (optional):

- Maximaler Endabflussbeiwert c [-] (sofern nicht der Parameter Lutz_c im <tape35> definiert ist)
- Parameter $c2$ [-] mit Default-Wert 3.0
- Anfangsverlust für unversiegelte Flächen $A_{v,u}$ [mm] mit Default-Wert 4.0

Lutz-Verfahren

Lutz-Verfahren: Lookup-Tabelle in LARSIM

Bodentyp		A	B	C	D
Landnutzung		maximale Abflussbeiwerte c [-] (Endabflussbeiwert)			
Waldgebiet		0,17	0,48	0,62	0,70
Ödland		0,71	0,83	0,89	0,93
Reihenkultur:	Hackfrüchte Weinbau, u.a.	0,62	0,75	0,84	0,88
Getreideanbau:	Weizen Roggen, u.a.	0,54	0,70	0,80	0,85
Leguminosen:	Kleefeld Luzerne Ackerfrüchte	0,51	0,68	0,79	0,84
Weideland		0,34	0,60	0,74	0,80
Dauerwiese		0,10	0,46	0,63	0,72
Haine	Obstanlagen	0,17	0,48	0,66	0,77
		Anfangsverlust A _v [mm]			
landwirtschaftliche Flächen		7,0	4,0	2,0	1,5
bewaldete Flächen		8,0	5,0	3,0	2,5
versiegelte Flächen		1,0			
Beschreibung des Bodentyps:					
A:		Schotter, Kies, Sand (kleinster Abfluss)			
B:		Feinsand, Löss, leicht tonige Sande			
C:		bindige Böden mit Sand, Mischböden: lehmiger Mehlsand, sandiger Lehm, tonig-lehmiger Sand			
D:		Ton, Lehm, dichter Fels, stauender Untergrund (größter Abfluss)			



	Endabflussbeiwert c				Parameter c2	Anfangsverlust A_v			
Landnutzung	A	B	C	D	A/B/C/D	A	B	C	D
Siedlung	0.43	0.65	0.76	0.81	2.0	5.1	3.2	1.9	1.5
Siedlung, dicht	0.74	0.84	0.89	0.91	2.0	2.9	2.0	1.4	1.3
Siedlung, locker	0.38	0.63	0.74	0.80	2.0	5.4	3.3	1.9	1.6
versiegelt	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Acker	0.54	0.70	0.80	0.85	4.6	7.0	4.0	2.0	1.5
Weinbau	0.62	0.75	0.84	0.88	4.6	7.0	4.0	2.0	1.5
Obstbau	0.17	0.48	0.66	0.77	4.6	8.0	5.0	3.0	2.5
unbewachs. Boden	0.71	0.83	0.89	0.93	0.0	7.0	4.0	2.0	1.5
Gletscher	0.71	0.83	0.89	0.93	0.0	7.0	4.0	2.0	1.5
Gruenland, inten.	0.34	0.60	0.74	0.80	2.0	7.0	4.0	2.0	1.5
Feuchtfleichen	0.10	0.46	0.63	0.72	2.0	7.0	4.0	2.0	1.5
Gruenland, exten.	0.10	0.46	0.63	0.72	2.0	7.0	4.0	2.0	1.5
Brachfleichen	0.10	0.46	0.63	0.72	2.0	7.0	4.0	2.0	1.5
locker baumbest.	0.17	0.48	0.66	0.77	4.6	8.0	5.0	3.0	2.5
Nadelwald	0.17	0.48	0.62	0.70	2.0	8.0	5.0	3.0	2.5
Laubwald	0.17	0.48	0.62	0.70	4.6	8.0	5.0	3.0	2.5
Wasser	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Mischwald	0.17	0.48	0.62	0.70	2.0	8.0	5.0	3.0	2.5
Siedlungsfleichen	0.74	0.84	0.89	0.91	2.0	2.9	2.0	1.4	1.3
Siedlungsfreifl.	0.38	0.63	0.74	0.80	2.0	5.4	3.3	1.9	1.6
Industrie	0.74	0.84	0.89	0.91	2.0	2.9	2.0	1.4	1.3
Verkehr	0.74	0.84	0.89	0.91	2.0	2.9	2.0	1.4	1.3

Lutz-Verfahren

Optimierung der Abflussbeiwerte für das Lutz-Verfahren:

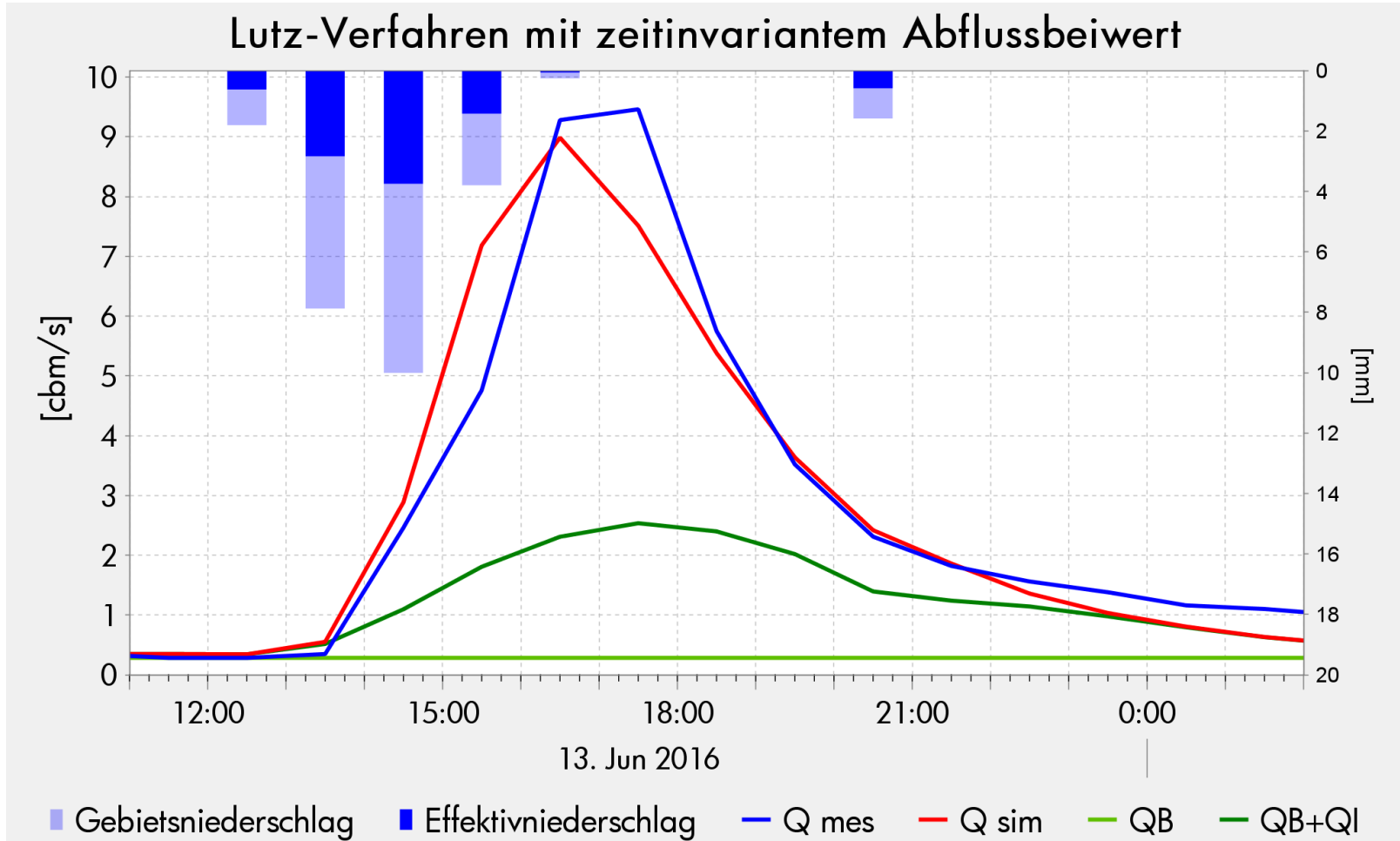
Zusätzlich zur Option PSI GEGEBEN und PSI NACH LUTZ (und ggf. PSI-VERLAUF NACH LUTZ) ist im <tape10> die Option LUTZ_C1-VARIATION zu setzen. Dadurch wird der Wert für den Anfangsverlust optimiert.

Dazu ist der Einzelparameter ZUL. BEREICH LUTZ_C1 mit dem minimal sowie maximal zulässigen Wert für den gebietsspezifischen Parameter Lutz_c1Fak (Faktor zur Anpassung von c1) vorzugeben. Dabei muss der 2. Wert größer als der 1. Wert sein.

Der optimierte Wert für den Wert des Parameters C1 wird in das <tape11> geschrieben sowie in die Datei <psi.xl>.

Lutz-Verfahren

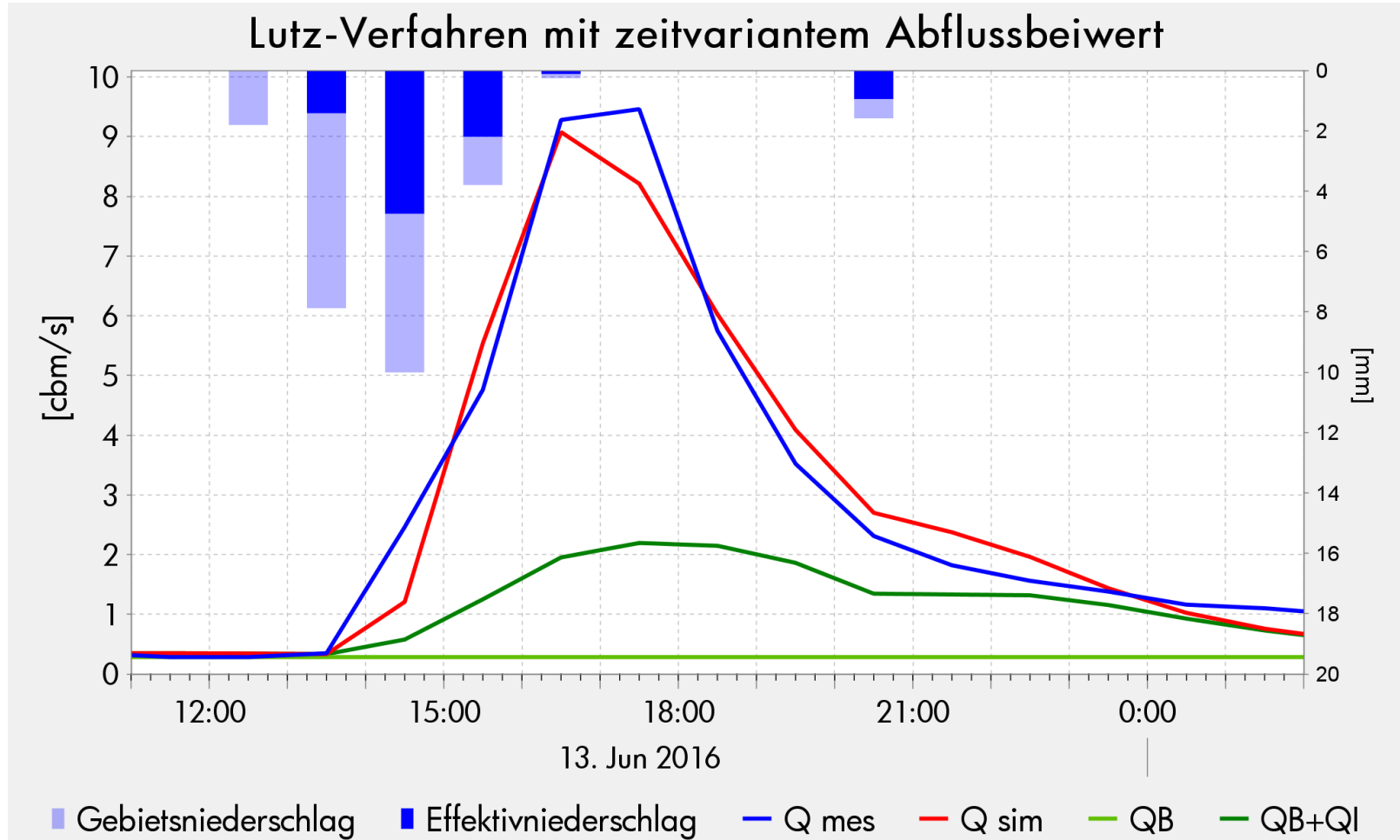
Lutz-Verfahren:



Pegel Dingolshausen/Volkach

Lutz-Verfahren

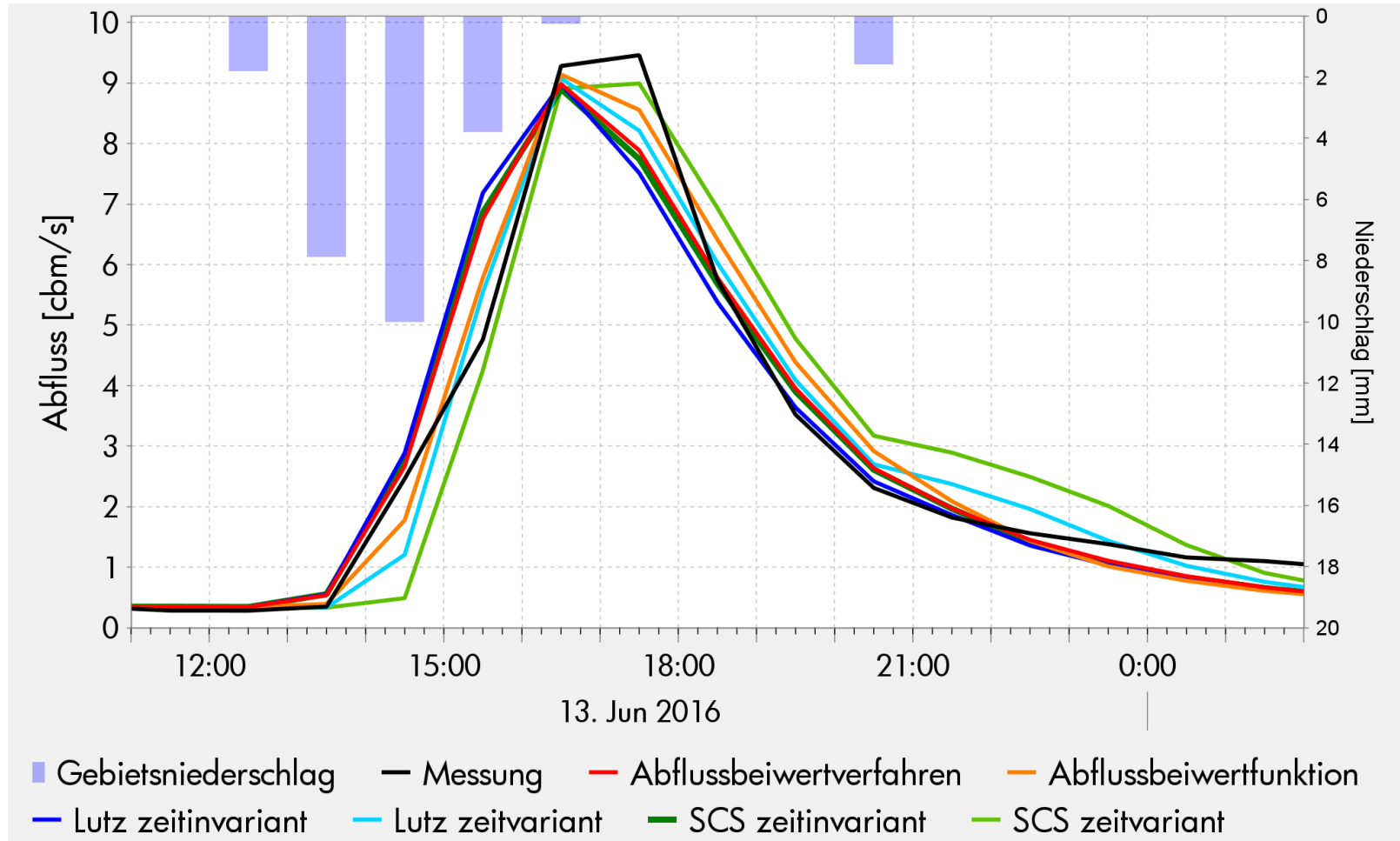
Lutz-Verfahren:



Pegel Dingolshausen/Volkach

Bestimmung des Effektivniederschlags

Gesamt-Übersicht:



Pegel Dingolshausen/Volkach

Statischer Infiltrationswert

Einbeziehung des statischen Infiltrations-Schwellenwerts:

Mithilfe des statischen Infiltrations-Schwellenwerts InfM kann in LARSIM unterteilgebiets-spezifisch in der <utgb.dat> eine maximale Infiltrationsrate (mm/h) vorgeben werden. InfM dient der Abtrennung von Infiltrationsüberschuss in Abhängigkeit der Niederschlagsintensität und eignet sich damit zur Ausweisung von Horton'schem Oberflächenabfluss.

Weiter besteht mithilfe des Einzelparameters VERSCHLAEMMUNG VF die Möglichkeit, ereignisspezifisch eine Verschlämmung für Ackerflächen zu berücksichtigen. Der Parameter wird in der Steuerdatei <tape10> definiert und wirkt als Multiplikator auf den InfM -Wert aller Unterteilgebiete mit Landnutzung Acker.

Neben der expliziten Vorgabe der InfM -Werte kann auch eine programminterne Ableitung der Werte für InfM anhand der Vorgaben zu Landnutzung (LN) und hydrologischem Bodentyp (Bodentyp) aus der <utgb.dat> erfolgen.

Liegen keine Angaben zu InfM in der <utgb.dat> vor, werden die Werte programmintern anhand folgender Tabelle ermittelt:

Landnutzung	Bodentyp A	Bodentyp B	Bodentyp C	Bodentyp D
Acker	97.7	52.2	39.8	25.7
Wald	160.7	82.9	62.5	38.2
Sonstige	129.2	67.5	51.1	31.9

Statischer Infiltrationswert

Einbeziehung des statischen Infiltrations-Schwellenwerts:

Zur Kalibrierung der Abflussbildung kann der Parameter InfMFak sowohl im Wasserhaushalts- als auch im Niederschlag-Abfluss-Modus über die Eingabedatei <tape35> gebietsspezifisch vorgegeben werden.

InfMFak wirkt dabei als Multiplikator auf die zur Berechnung der Abflussbildung programmintern verwendeten Werte von InfM.

Im WHM-Modus werden auf diese Weise die unterteilgebietsspezifischen InfM-Werte modifiziert, im NA-Modus dagegen die für das Teilgebiet gemittelten InfM-Werte.

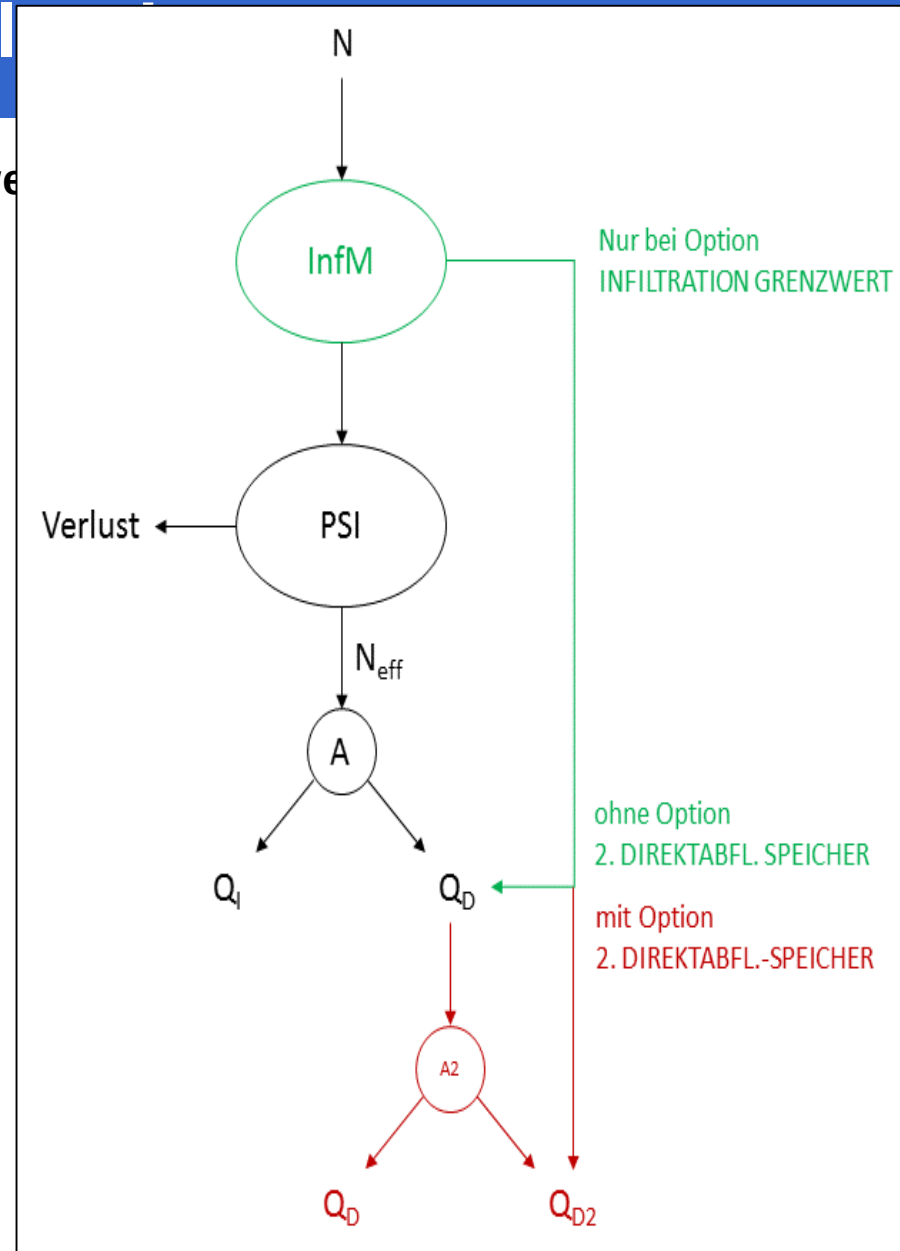
Einbeziehung des statischen Infiltrations-Schwe

Die Einbeziehung des statischen Infiltrations-schwellenwerts ist den Verfahren zur Ermittlung des effektiven Niederschlags vorgeschaltet.

Niederschlag mit einer Intensität größer InfM wird gleich dem schnellen Direktabfluss im Teilgebiet zugeschlagen.

Der verbleibende Anteil des Gebietsnieder-schlags geht in die Berechnung des weiteren Effektivniederschlags nach der jeweils gewählten Methode ein.

Der daraus ermittelte weitere Effektivnieder-schlag wird wie gewöhnlich über die Interflow-Index-Rate A auf Interflow und weiteren Direktabfluss aufgeteilt.

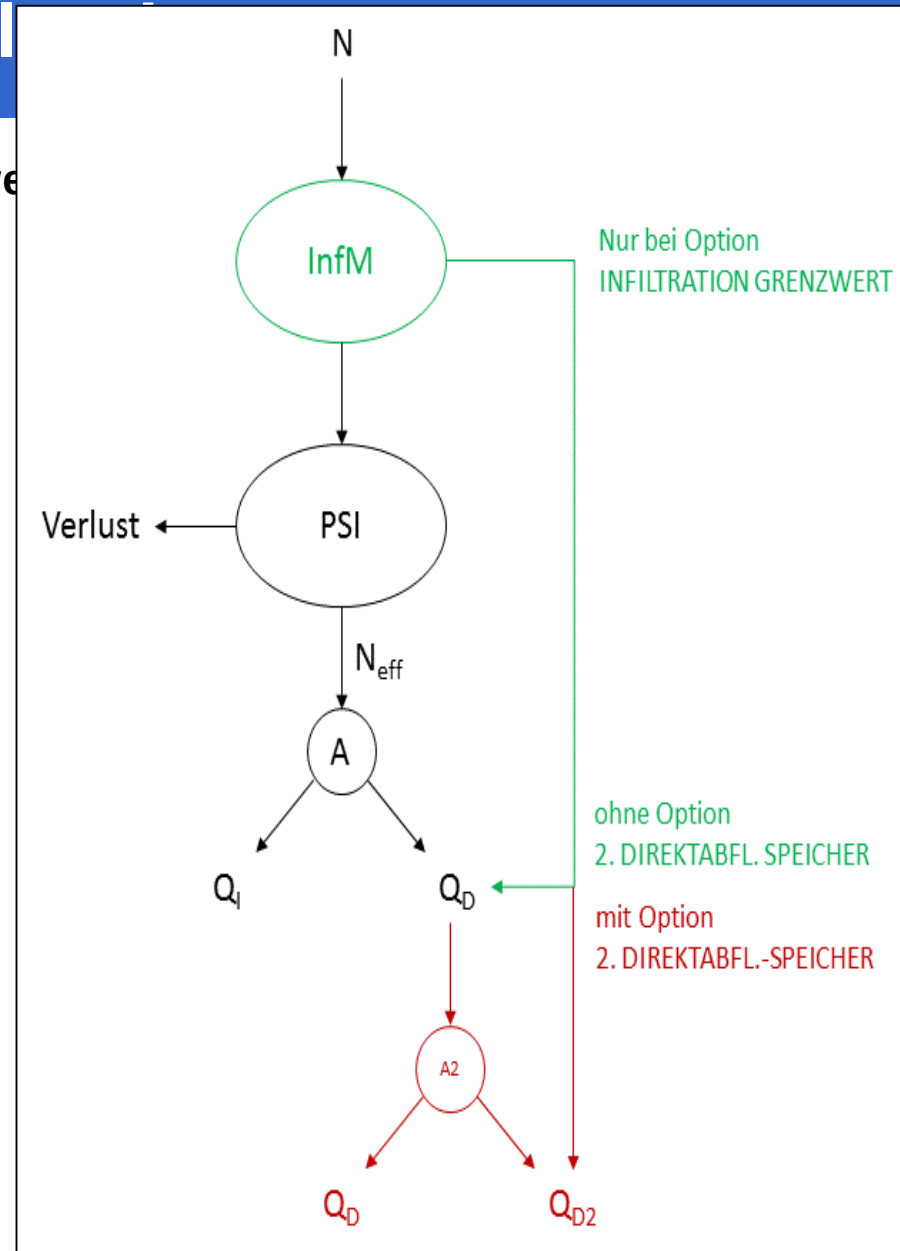


Einbeziehung des statischen Infiltrations-Schwe

Da die Berechnung von PSI ggf. erst nach der Abtrennung eines Anteils des Niederschlags über InfM erfolgt, können die von LARSIM ausgegebenen PSI-Werte zu gering sein.

Wird ein Anteil des Niederschlags über InfM dem Direktabfluss zugeschlagen, wird dieser folglich nicht bei der Ermittlung des PSI-Werts für den verbleibenden Niederschlag berücksichtigt.

Dies ist bei allen Ausgaben für PSI (z.B. in der Datei <psi.xml> bei Option AUSGABE PSI AN PEGELN) zu berücksichtigen.



Statischer Infiltrationswert

Optimierung der maximalen Infiltrationsrate:

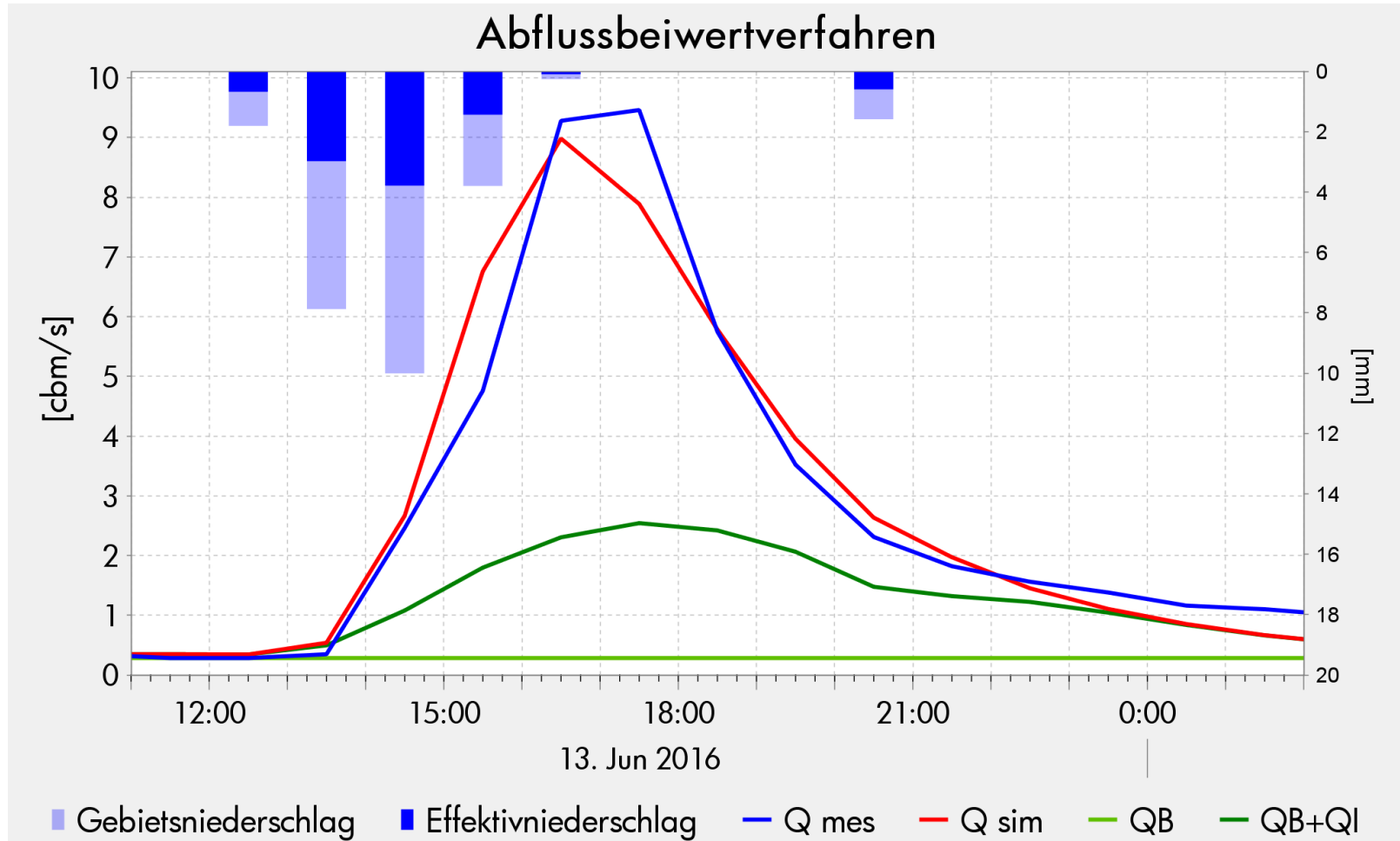
Bei Aktivierung der Option INFM-VARIATION in Verbindung mit der Option INFILTRATION GRENZWERT im NIEDERSCHLAG-ABFLUSS-MODUS wird der gebietsspezifische Parameter InfMFak (Faktor zur Anpassung der maximalen Infiltrationsrate) für die angeforderten Pegelkontrollbereiche nach dem Gauß-Newton-Verfahren mit der Modifikation von Marquardt optimiert. Als Zielgröße für die Optimierung wird die Deviation plus dem Schwerpunktvektorbetrag für den berechneten Abfluss innerhalb eines vorgegebenen Deviationszeitraumes ausgewertet.

Dazu ist der Einzelparameter ZUL. BEREICH INFM mit dem minimal sowie maximal zulässigen Wert für den zu optimierenden Modellparameter vorzugeben. Dabei muss der 2. Wert größer als der 1. Wert sein.

Eine gleichzeitige Optimierung des Abflussbeiwerts (bzw. der jeweiligen Parameter bei den anderen Optimierungsverfahren) und der maximalen Infiltrationsrate ist nicht möglich.

Statischer Infiltrationswert

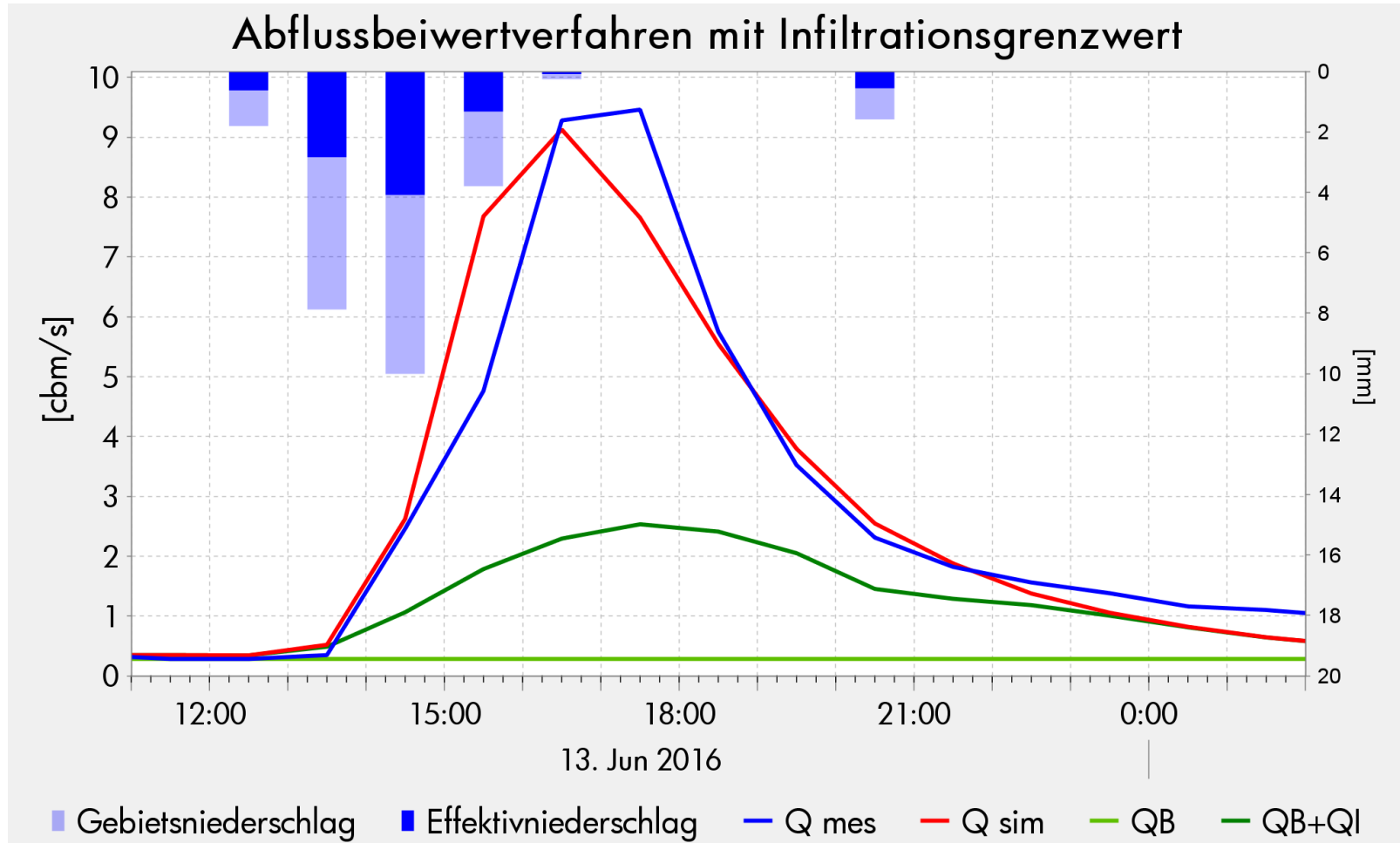
Abflussbeiwert-Verfahren ohne und mit Berücksichtigung des Infiltrationsschwellenwerts:



Pegel Dingolshausen/Volkach

Statischer Infiltrationswert

Abflussbeiwert-Verfahren ohne und mit Berücksichtigung des Infiltrationsschwellenwerts:

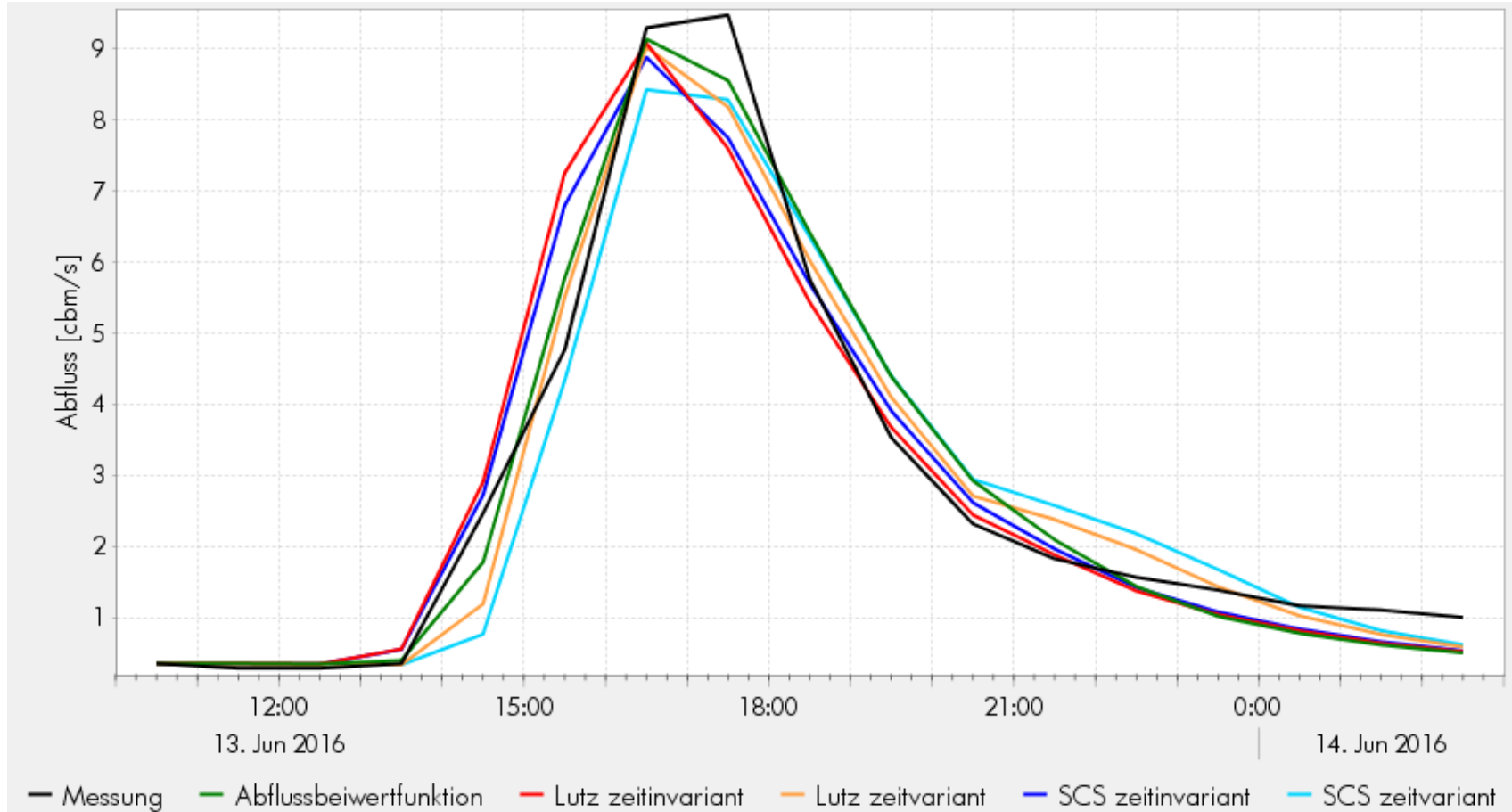


Pegel Dingolshausen/Volkach

Vergleiche zur Verfahrensauswahl

Auswahl des Verfahrens zur Bestimmung des Effektivniederschlags:

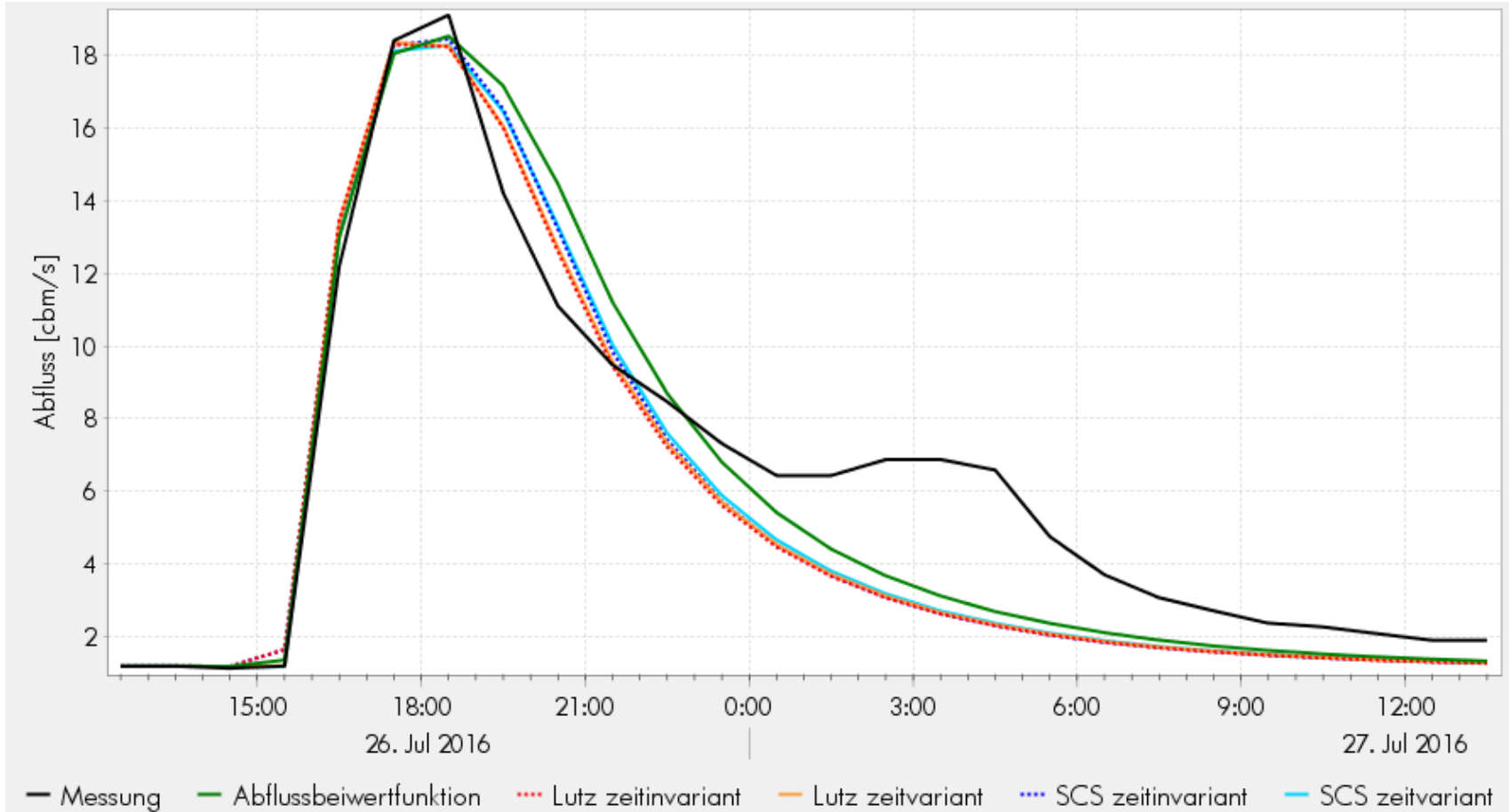
Pegel Dingolshausen/Volkach ($A_{EZG} = 16 \text{ km}^2$ (Modellgebiet Mittlerer Main))



Vergleiche zur Verfahrensauswahl

Auswahl des Verfahrens zur Bestimmung des Effektivniederschlags:

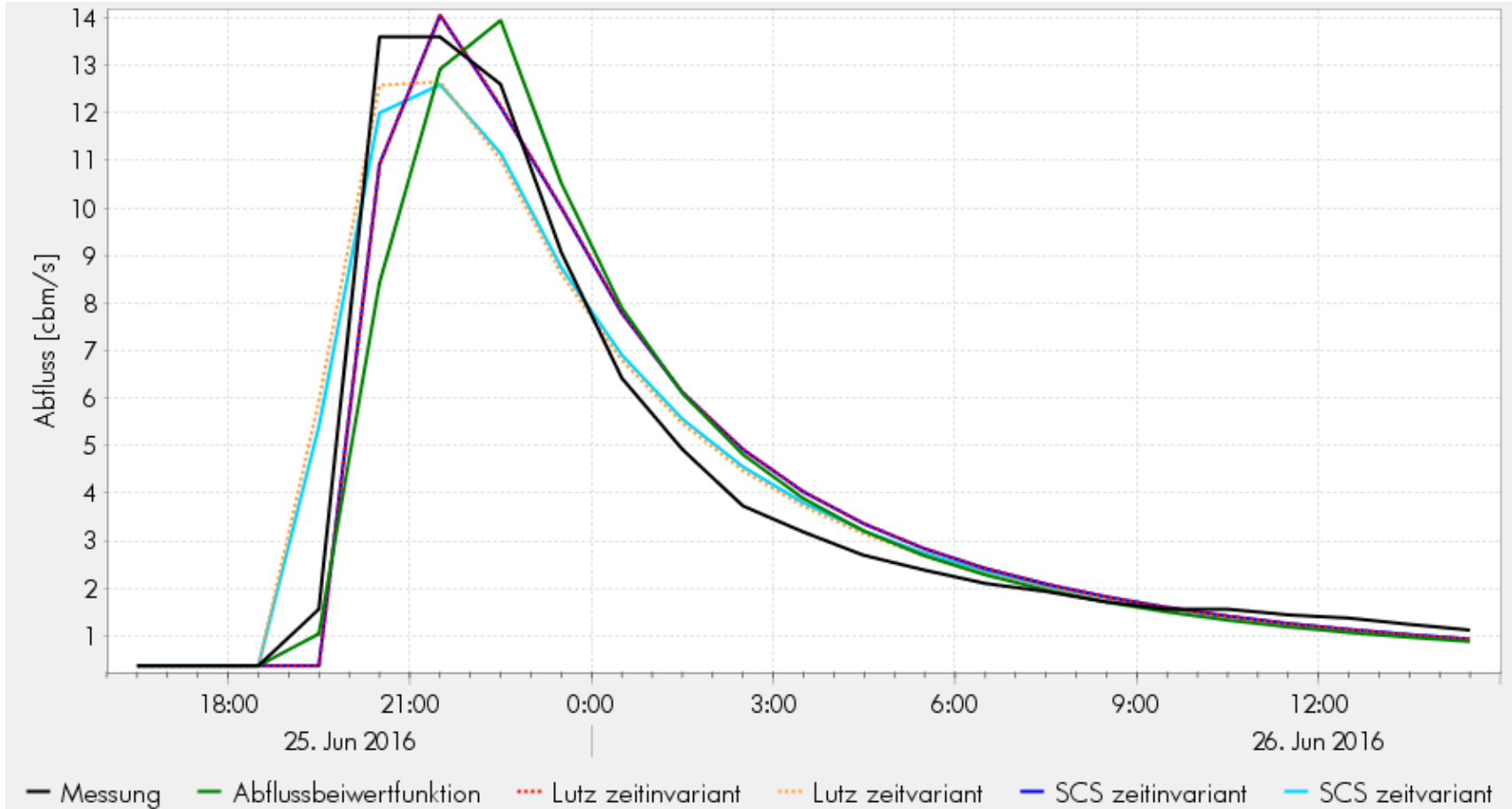
Pegel Engen/Illach ($A_{EZG} = 32 \text{ km}^2$ (Modellgebiet Lech))



Vergleiche zur Verfahrensauswahl

Auswahl des Verfahrens zur Bestimmung des Effektivniederschlags:

Pegel Hirschbach/Kleiner Regen ($A_{EZG} = 11 \text{ km}^2$ (Modellgebiet Regen))



Vergleiche zur Verfahrensauswahl

Auswahl des Verfahrens zur Bestimmung des Effektivniederschlags:

Grundsätzlich erscheint es zweckmäßig zur Berechnung des Effektivniederschlags Verfahren mit zeit-variantem Abflussbeiwert anzuwenden, um Anfangsverluste besser abbilden zu können.

Erfolgt der Anstieg eines Hochwasserereignisses modellseitig jedoch sichtlich mit Verspätung, könnte für einzelne Berechnungen auch zum selben Verfahren mit zeitinvariantem Abflussbeiwert gewechselt werden, da die verfahrensrelevanten Parameter ohne Weiteres übertragbar sind.

Vergleiche zur Verfahrensauswahl

Auswahl des Verfahrens zur Bestimmung des Effektivniederschlags:

SCS-Verfahren: Die Ableitung der CN-Werte für das SCS-Verfahren in Abhängigkeit von Landnutzung und hydrologischem Bodentyp scheint für die untersuchten Pegel weniger empfehlenswert für die Anwendung innerhalb von LARSIM zu sein.

Trotz Annahme eines Anfangsverlusts von Null fallen die ermittelten CN-Werte teilweise zu gering aus, um das reale Abflussvolumen adäquat wiederzugeben.

Eine Ursache für die zu gering ausfallenden CN-Werte ist möglicherweise die Berücksichtigung einer Interflow-Komponente in LARSIM, wodurch mit größerer Verzögerung Abfluss aus dem abflusswirksamen Niederschlag generiert wird und infolgedessen der CN-Wert laut Look-Up-Tabelle unterdimensioniert sein könnte.

Vergleiche zur Verfahrensauswahl

Auswahl des Verfahrens zur Bestimmung des Effektivniederschlags:

Lutz-Verfahren: Im Gegensatz zum SCS-Verfahren liefert das Lutz-Verfahren unter Verwendung der auf Basis von Landnutzung und hydrologischen Bodentyp ermittelten Parameter plausible Ergebnisse für die untersuchten Pegel bezogen auf das Abflussvolumen.

Auch unter Variation der Parametervorgabe bleiben die Ergebnisse konsistent und in den vorliegenden Testrechnungen erfolgt keine Limitierung des simulierten Abflussvolumens durch das Erreichen von Grenzwerten für den zu optimierenden ereignisspezifischen Parameter $c1Fak$.

Einzigster Nachteil ist der Optimierungsalgorithmus, der der Optimierung des Lutz-Parameters $c1Fak$ zu Grunde liegt. Die Optimierung der Parameter des Lutz- und SCS-Verfahrens erfolgt nach dem Gauß-Marquardt-Verfahren, welches teilweise für den Anwender aus nicht nachvollziehbaren Gründen abbricht, mit dem Hinweis, dass das Optimum nicht gefunden wurde.

Unter diesen Bedingungen ist der Anwender gezwungen, das Ergebnis der Optimierung grundsätzlich zu prüfen und in wenigen Fällen manuell anzupassen.

Vergleiche zur Verfahrensauswahl

Auswahl des Verfahrens zur Bestimmung des Effektivniederschlags:

Abflussbeiwert-Funktion: Die Abflussbeiwertfunktion bietet eine verlässlichere Optimierung, der ein anderer Algorithmus zugrunde liegt. Dieser wurde spezifisch für das Verfahren entwickelt und lässt sich daher nicht einfach auf das Lutz- oder SCS-Verfahren übertragen.

Allerdings spricht die geringere Simulationsqualität der mit der Abflussbeiwertfunktion berechneten Ganglinie für den Pegel Hirschbach (trotz Kalibrierung anhand dieses Verfahrens) nicht unbedingt für die Anwendung der Abflussbeiwertfunktion.

Möglicherweise ist die Abflussbeiwertfunktion, bei der der zeitliche Verlauf des Abflussbeiwerts durch den Verlauf des Interflow gesteuert wird, für die Simulation von Hochwasserereignissen in kleinen Einzugsgebieten wie dem des Pegels Hirschbach mit einer schnellen Abflussreaktion nur mit Einschränkung geeignet.

Vergleiche zur Verfahrensauswahl

Auswahl des Verfahrens zur Bestimmung des Effektivniederschlags:

Für die Aufstellung eines neuen NA-Modells wird auf Grundlage der Tests an drei Pegel das Lutz-Verfahren empfohlen. Hier wäre allerdings noch zu überprüfen, wie sich Lutz-Verfahren bspw. im Vergleich zur Abflussbeiwertfunktion bei größeren Einzugsgebieten und einer breiteren Spannweite von Abflussereignissen verhält.

Beim Lutz-Verfahren können die Parameter c , c_2 und A_v anhand der Angaben zur Landnutzung und hydrologischem Bodentyp programmintern ermittelt werden. Zusätzlich sollte die automatische Optimierung des Parameters c_{1Fak} anhand der Option LUTZ_C1-VARIATION genutzt werden.

Die eigentliche Kalibrierung des NA-Modells erfolgt dann wie gewöhnlich durch Anpassung der Parameter A , EQI , EQD sowie EKM , EKR und EKL . Dabei sollte insbesondere auf eine sinnvolle Wahl des Parameters A geachtet werden, um sowohl eine schnelle als auch eine langsame Direktabflusskomponente zu simulieren.

- BLfU (2018): Hydrologische Planungsgrundlagen. Loseblattsammlung. Version 4.0 (10/2018). Bayerisches Landesamt für Umwelt
- Clark, C. O. (1945): Storage and the Unit Hydrograph. Transactions of the ASCE, Vol. 110, 1419-1446.
- Horton, R. E. (1937): Determination of Infiltration Capacity for Large Drainage Basins. Transactions of the American Geophysical Union, Vol. 8, 371.
- Ihringer, J. (2019): Vorlesung Hydrologie – Niederschlags-Abfluss-Modell. Vorlesungsunterlagen, KIT, Institut für Wasser und Gewässerentwicklung
- Koehler, G. (1971): Ermittlung maßgebender Abflussdaten für kleinere Vorfluter mit Hilfe kurzzeitiger Naturmessungen. Mitteilungen des Institutes für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau. Technische Universität Hannover, Heft 23.
- Lutz, L. (1984): Berechnung von Hochwasserabflüssen unter Anwendung von Gebietskenngrößen. Dissertation, Universität Karlsruhe.
- Nash, J. E. (1959): Systematic Determination of Unit Hydrograph Parameters. Journal of Geophysical Research, Vol. 64, 118.
- Soil Conservation Service (1985): National Engineering Handbook. Section 4-Hydrology. US Department of Agriculture, Washington, DC.