

Integration von Bemessungsniederschlägen in LARSIM

Dr.-Ing. Kai Gerlinger

HYDRON Ingenieurgesellschaft für Umwelt und Wasserwirtschaft

Juni 2020

Ermittlung von Bemessungsabflüssen

Grundlage: T-jährliche Niederschläge liefern bei
mittlerem Gebietsverhalten T-jährliche Abflüsse

Vorgehensweise:

1. T-jährliche Niederschläge aus Niederschlagsstatistik
2. Gebietsabminderung bei großen Einzugsgebieten
3. Zeitlicher Verlauf des Niederschlagsereignisses
4. Berechnung der Abflussbildung
 - Abflussbeiwert zur Ermittlung der Abflussbildung
 - Ganglinie des Effektivniederschlags
5. Berechnung der Abflusskonzentration
6. Berechnung der Wellenverformung
7. Wahl (Abschätzung) des Basisabflusses
8. Ermittlung des Gesamtabflusses
9. Festlegung der maßgebenden Ganglinie entsprechend der Aufgabenstellung
10. Prüfung der Plausibilität der Berechnung

Bemessungsniederschläge

Bemessungsniederschläge:

Im Rahmen der hydrologischen Planungsgrundlagen werden vor allem für die Ermittlung von Bemessungsabflüssen als Eingangsgrößen Bemessungsniederschläge benötigt. Für die Bemessungsniederschläge stehen verschiedene Datenquellen zur Verfügung:

Datengrundlage	Beschreibung	Wiederkehrzeiten [a]
KOSTRA-DWD 2010R	Regionalisierung von Starkniederschlägen	1, 2, 5, 10, 20, 50, 100
REWANUS	Dargebot aus Niederschlag & Schnee	0,5, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100
PEN-LAWA 2010	Extremwerte des Niederschlags	1.000, 10.000
MGN	Maximal mögliche Gebietsniederschläge	-

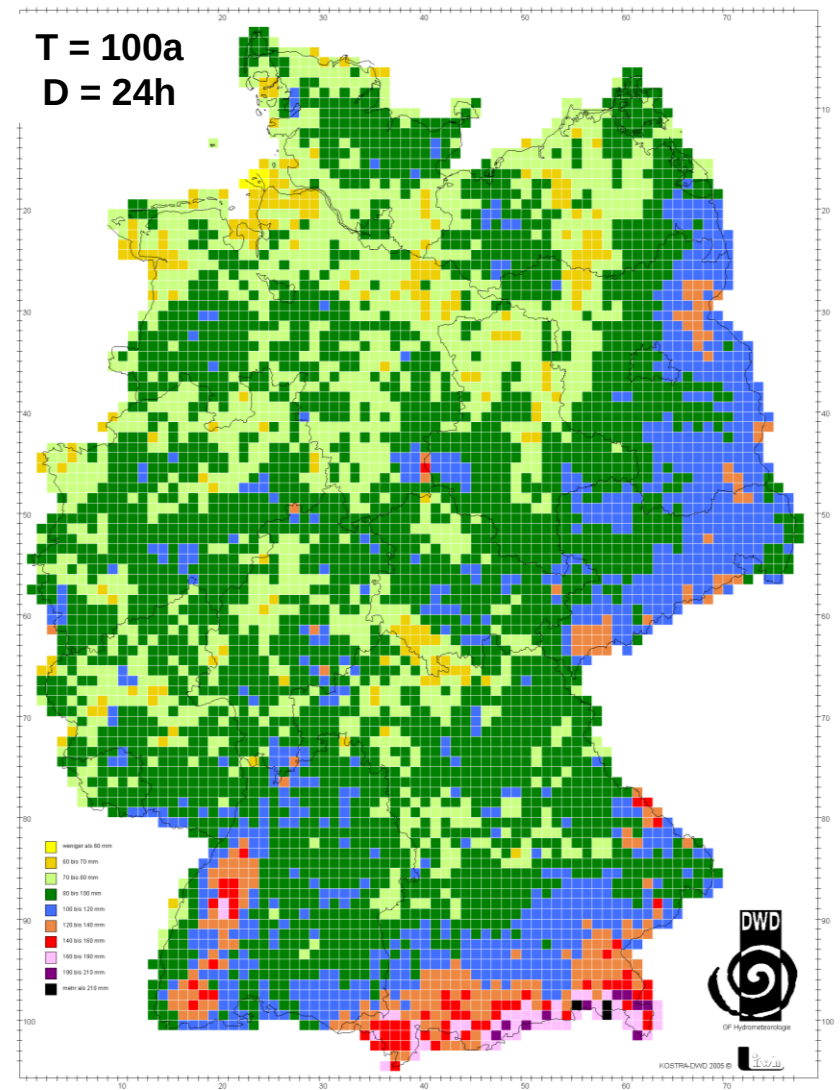
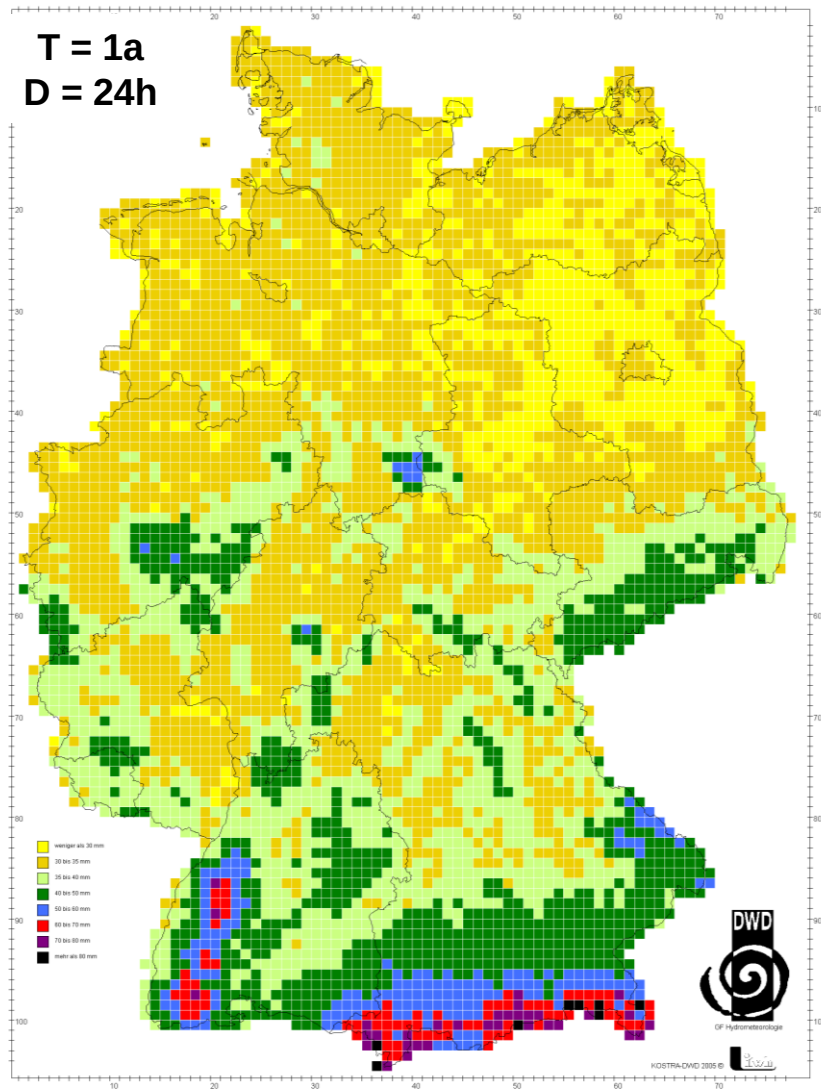
BLfU 2018

KOSTRA

Bemessungsniederschläge KOSTRA:

Die KOSTRA-Daten (koordinierte Starkregenauswertung) des DWDs basieren auf einer statistische Auswertung von gemessenen Starkregen. Mithilfe eines extremwertstatistischen Verfahrens wurden Niederschlagshöhen verschiedener Dauerstufen bis zum Wiederkehrintervall von 100 Jahren extrapoliert und mithilfe einer Regionalisierung flächendeckend für Deutschland bereitgestellt.

KOSTRA



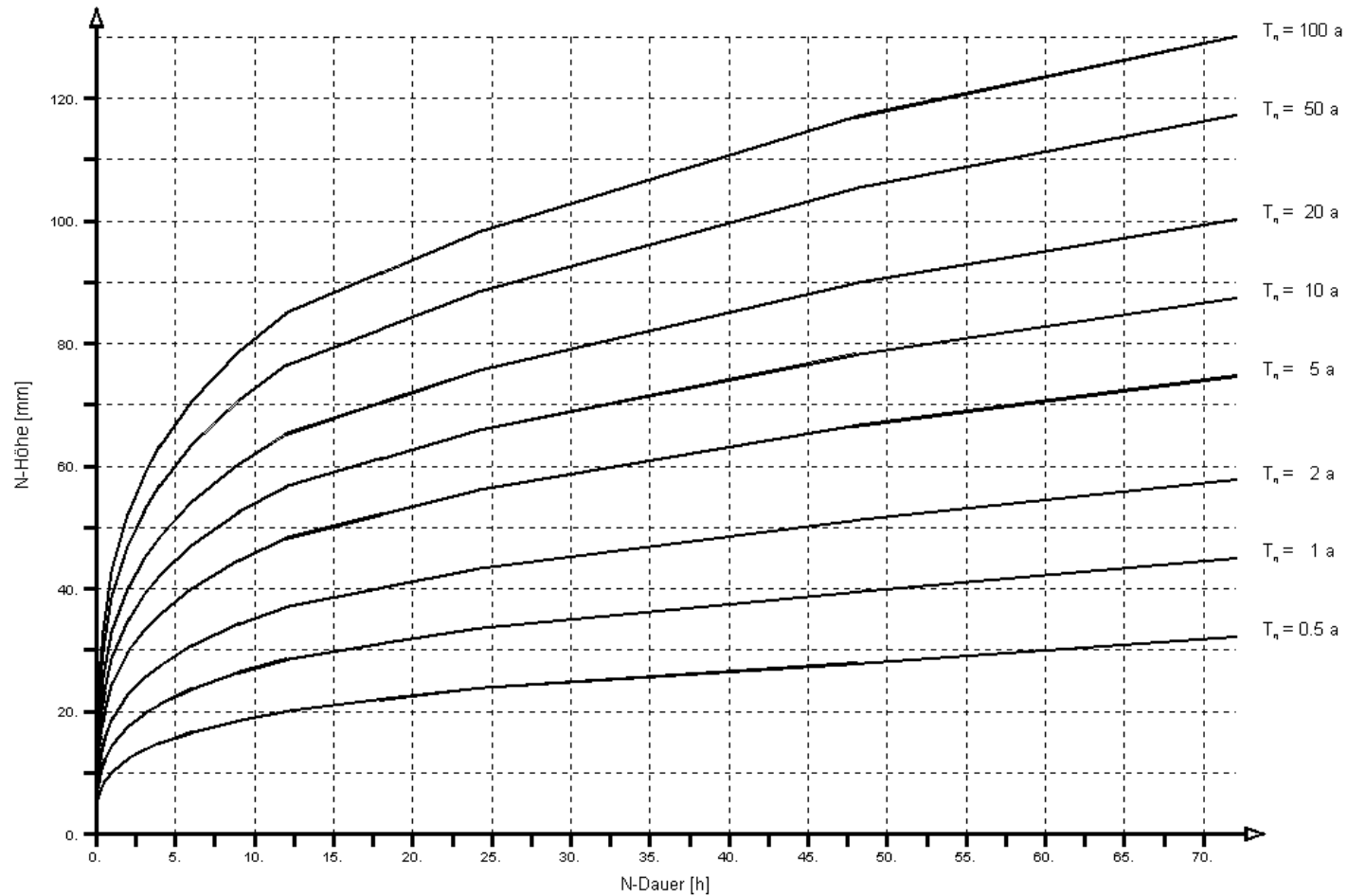
Ihringer 2019

hringer 2019



		I		I		I		I		I		I		I		I		I		I		
I	Tn in a	I		I		I		I		I		I		I		I		I		I		
I		0.5		1.0		2.0		5.0		10.0		20.0		50.0		100.0						
I		I		I		I		I		I		I		I		I		I		I		
I	TD	I	hN	RN	I	hN	RN	I	hN	RN	I	hN	RN	I	hN	RN	I	hN	RN	I	hN	RN
I		I			I			I			I			I			I			I		
I	5 min	I	4.9	164.4	I	6.5	218.0	I	8.1	271.7	I	10.3	342.6	I	11.9	396.2	I	13.5	449.8	I	15.6	520.7
I	10 min	I	6.1	101.9	I	8.2	136.1	I	10.2	170.3	I	12.9	215.5	I	15.0	249.6	I	17.0	283.8	I	19.7	329.0
I	15 min	I	6.9	77.1	I	9.3	103.3	I	11.7	129.6	I	14.8	164.3	I	17.1	190.6	I	19.5	216.8	I	22.6	251.5
I	30 min	I	8.6	47.8	I	11.6	64.5	I	14.6	81.2	I	18.6	103.4	I	21.6	120.1	I	24.6	136.8	I	28.6	158.9
I	60 min	I	10.7	29.6	I	14.5	40.3	I	18.3	50.9	I	23.4	65.0	I	27.2	75.7	I	31.1	86.4	I	36.2	100.4
I		I			I			I			I			I			I			I		
I	2 h	I	12.7	17.6	I	17.2	24.0	I	21.8	30.3	I	27.9	38.7	I	32.5	45.1	I	37.0	51.4	I	43.1	59.8
I	3 h	I	14.0	13.0	I	19.1	17.7	I	24.2	22.4	I	30.9	28.6	I	36.0	33.3	I	41.0	38.0	I	47.7	44.2
I	4 h	I	15.0	10.5	I	20.5	14.2	I	26.0	18.0	I	33.2	23.1	I	38.7	26.8	I	44.1	30.6	I	51.3	35.7
I	6 h	I	16.6	7.7	I	22.7	10.5	I	28.8	13.3	I	36.8	17.0	I	42.8	19.8	I	48.9	22.6	I	56.9	26.3
I	9 h	I	18.4	5.7	I	25.1	7.8	I	31.8	9.8	I	40.7	12.6	I	47.4	14.6	I	54.1	16.7	I	63.0	19.5
I	12 h	I	19.8	4.6	I	27.0	6.3	I	34.2	7.9	I	43.8	10.1	I	51.0	11.8	I	58.2	13.5	I	67.8	15.7
I		I			I			I			I			I			I			I		
I	18 h	I	22.0	3.4	I	29.8	4.6	I	37.5	5.8	I	47.8	7.4	I	55.6	8.6	I	63.4	9.8	I	73.7	11.4
I	24 h	I	24.1	2.8	I	32.5	3.8	I	40.9	4.7	I	51.9	6.0	I	60.2	7.0	I	68.6	7.9	I	79.6	9.2
I	48 h	I	28.1	1.6	I	37.5	2.2	I	46.9	2.7	I	59.3	3.4	I	68.8	4.0	I	78.2	4.5	I	90.6	5.2
I	72 h	I	35.2	1.4	I	45.0	1.7	I	54.8	2.1	I	67.7	2.6	I	77.5	3.0	I	87.3	3.4	I	100.2	3.9
I		I			I			I			I			I			I			I		

Niederschlagsstatistik für: Niederschlagsstation

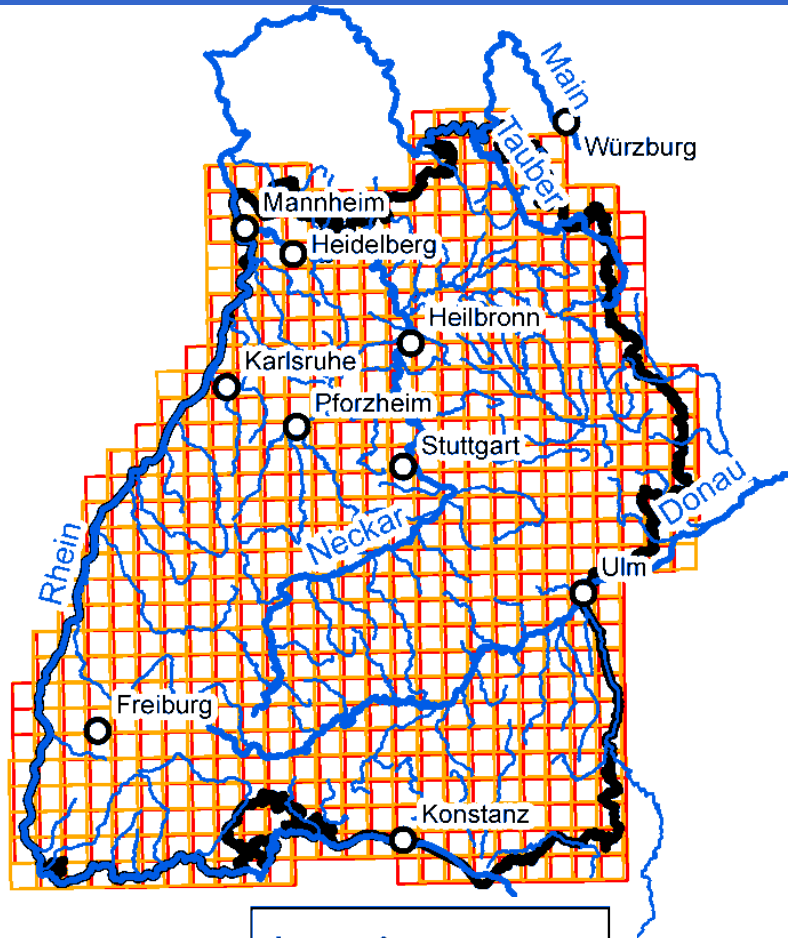


Bemessungsniederschläge KOSTRA:

Das Kartenwerk KOSTRA-DWD 2010R ist deutschlandweit als Rasterdatensatz mit einer Zellgröße von ca. 67 km² (8,15 km x 8,20 km) verfügbar und basiert auf Auswertungen der Jahre 1951 - 2010. Die Niederschlagsdauerstufen ≥ 24 Stunden stützen sich auf eine rasterbasierte (1 Quadratkilometer Zellgröße) Regionalisierung (REGNIE-Verfahren) von täglichen Niederschlagshöhen und stehen als lückenlose, homogene Zeitreihen zur Verfügung.

Das KOSTRA-DWD 2010R-Kartenwerk bildet die derzeit gültige Grundlage zur Ermittlung von Bemessungsabflüssen aus Regenereignissen bis HQ100.

KOSTRA



Legende

- Städte
- Hauptflüsse
- ausgewählte Gewässer
- Baden-Württemberg
- Kostra 2000 - Zellen
- Kostra 2010 - Zellen

Änderung KOSTRA-2010R gegenüber KOSTRA2000:

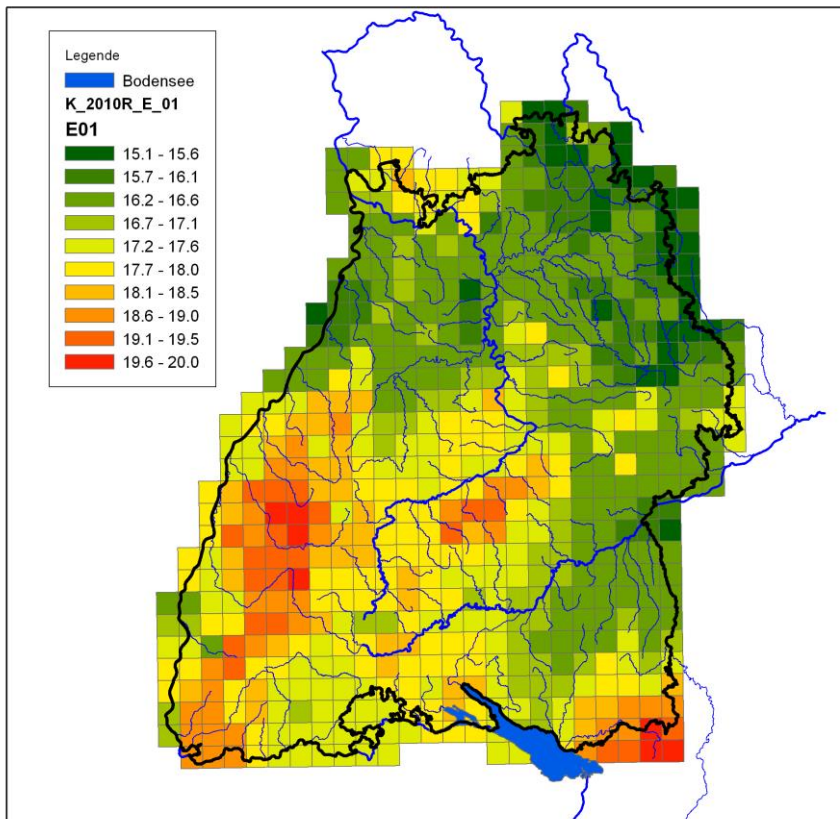
- Zellen sind etwas kleiner (ca. 66 km²)
- Lage der Zellen ist leicht verschoben (ca. 1.5 km)
- Stützstellen zur Ermittlung der Gesamtstatistik wurde geändert;
Stützstellen für Dauerstufen D=12h und D=48h entfallen
- Interpolation erfolgt zwischen den Dauerstufen D=1h und D=24h sowie D=24h und D=72h
- Spannweite DN (untere/obere Grenze) ist an den Stützstellen kleiner
- keine getrennte Angaben für Sommer- und Winter-Halbjaar
- Die Daten von PEN-LAWA 2010 und REWANUS basieren auf dem Raster des KOSTRA 2000 Kartenwerks, sodass die Spalten- und Zeilennummern im aktuellen Kartenwerk von KOSTRA-2010R leicht abweichen können.

Ihringer 2019

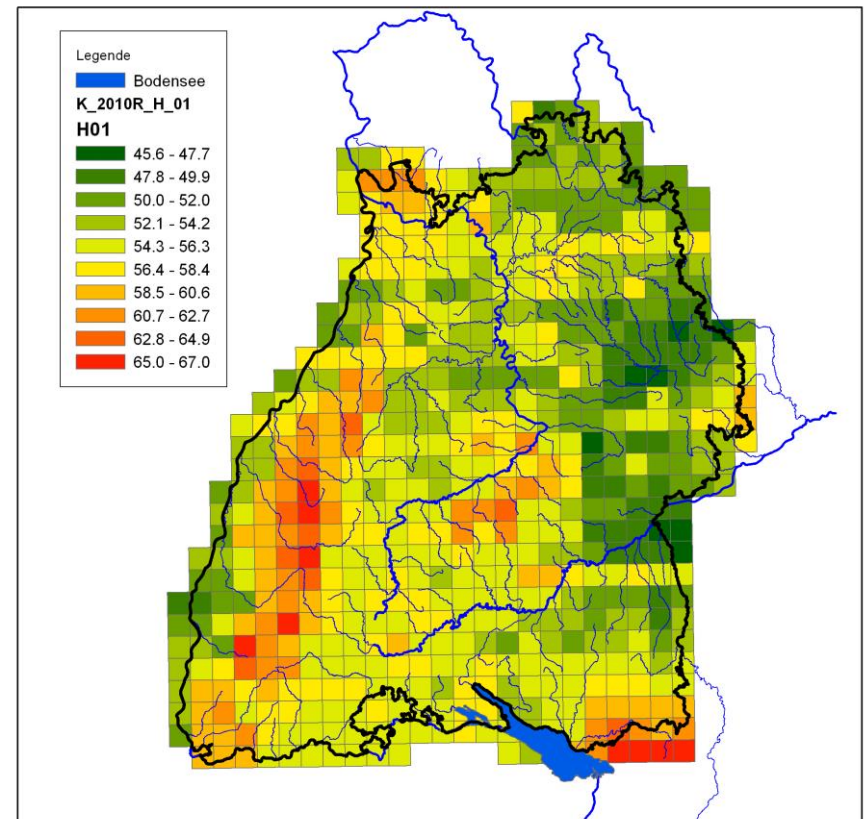
KOSTRA-DWD 2010R

Kartenbeispiele: jeweils 10 äquidistante Klassen

T=1 a, D=1h



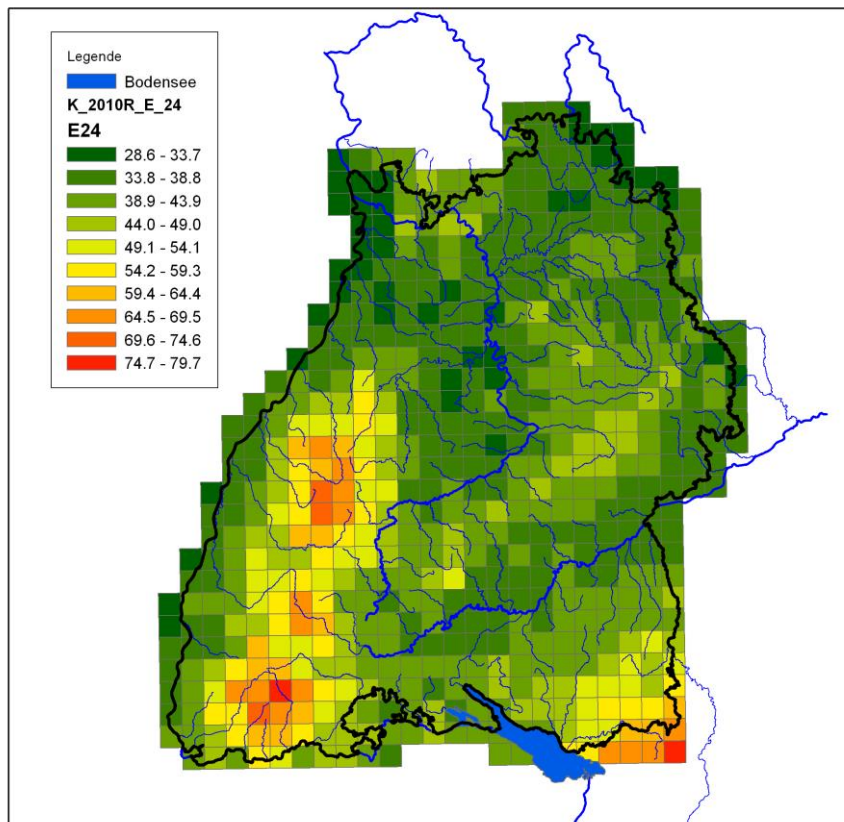
T=100 a, D= 1h



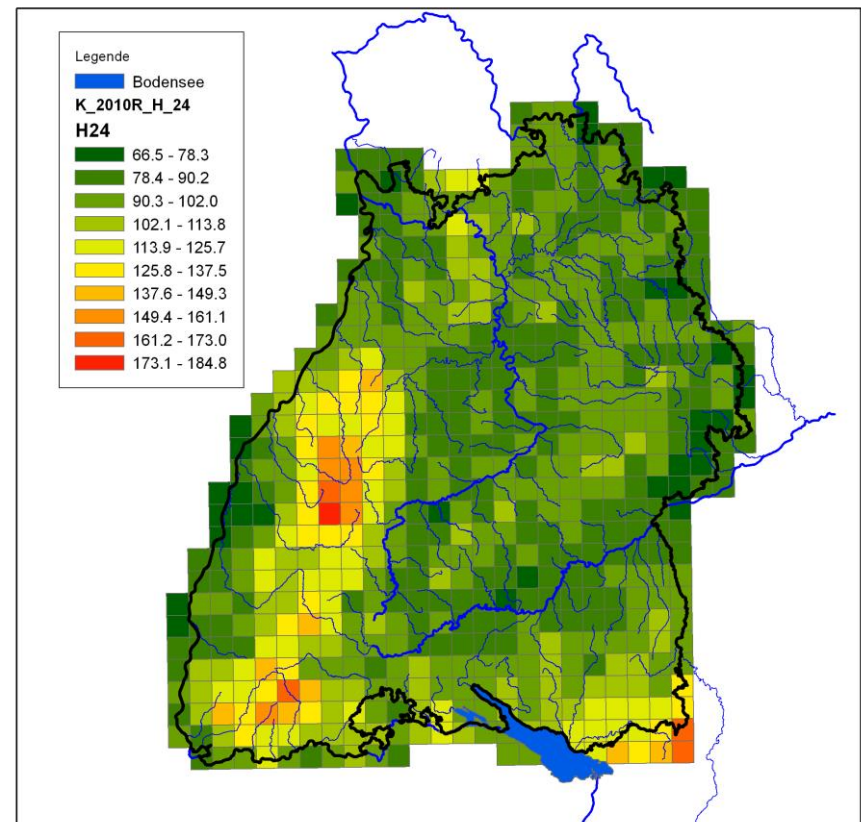
KOSTRA-DWD 2010R

Kartenbeispiele: jeweils 10 äquidistante Klassen

T=1a, D=24 h



T=100 a, D=24h



Bemessungsniederschläge REWANUS:

Der aktuelle KOSTRA-2010R Datensatz berücksichtigt nur den Niederschlag eines singulären Ereignisses. Die Schneedeckenbildung im Winter speichert jedoch lokal Niederschläge vergangener Ereignisse. Trifft der Abbau der Schneedecke mit einem (flüssigen) Niederschlag zusammen, so kann die zum Abfluss führende Summe die Niederschlagshöhe der winterlichen KOSTRA-Werte übertreffen. Der Datensatz von REWANUS (Regionalisierung der Extremwerte der Wasserabgabe aus Niederschlag und Schneedecke) umfasst dagegen das Dargebot aus Schneeschmelze und Niederschlag.

Der REWANUS-Datensatz steht als Rasterdaten (analog dem KOSTRA-Raster) für die hydrologischen Winterhalbjahre (November-April) zur Verfügung. Er umfasst 11 Dauerstufen von 12 - 240 Stunden des Niederschlagsdargebots aus Regen und Schneeschmelze von 8 Wiederkehrintervallen zwischen 0,5 und 100 Jahren

Für die Ermittlung von Kenngrößen an Standorten, bei denen der Schnee einen relevanten Einfluss auf das Abflussgeschehen ausübt, sollten die REWANUS-Daten vergleichend zu den KOSTRA-Werten verwendet werden. Vor allem sind dies Gebiete der (Mittel-)Gebirge über 400 m ü. NN. Dort können die REWANUS-Werte die winterlichen KOSTRA-Werte um 20 - 80 Prozent übersteigen und in Kombination mit erhöhter Abflussbereitschaft im Winter die mit sommerlichen Extremwerten berechneten Bemessungsabflüsse übersteigen.

PEN-LAWA

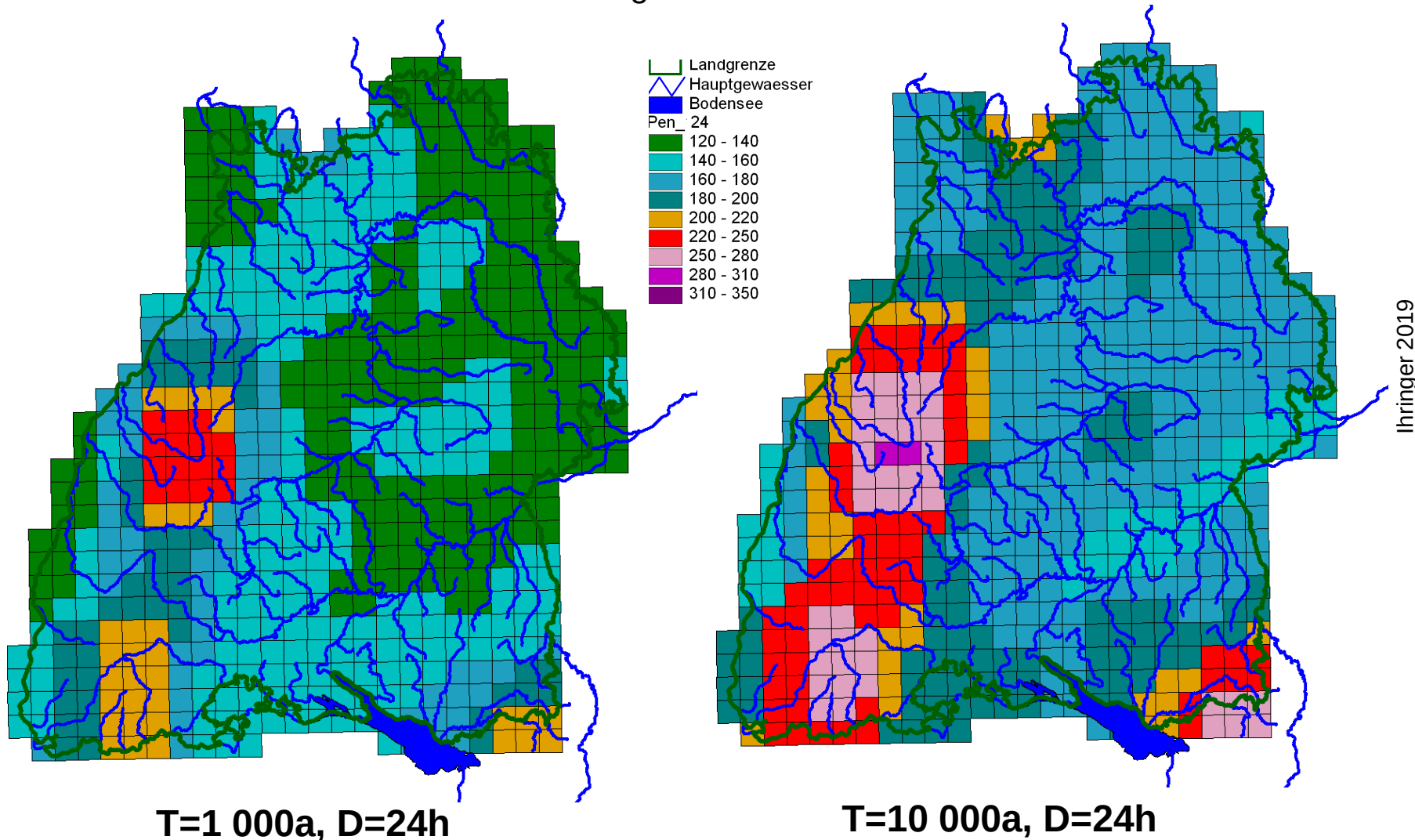
Bemessungsniederschläge PEN-LAWA:

PEN-LAWA (Praxisrelevante Extremwerte des Niederschlages in Deutschland) dient der Ermittlung von klassifizierten Extremwerten des Niederschlags für Deutschland und basiert im Wesentlichen auf den Daten von KOSTRA-DWD 2000 (Extrapolation der KOSTRA-Funktion). Der PEN-LAWA 2010 Datensatz umfasst acht Niederschlagsdauerstufen von 0,25 - 72 Stunden des Wiederkehrintervalls von 1.000 bzw. 10.000 Jahren.

Text aus: BLfU 2018

PEN-LAWA

Praxisrelevante Extremwerte des Niederschlags PEN

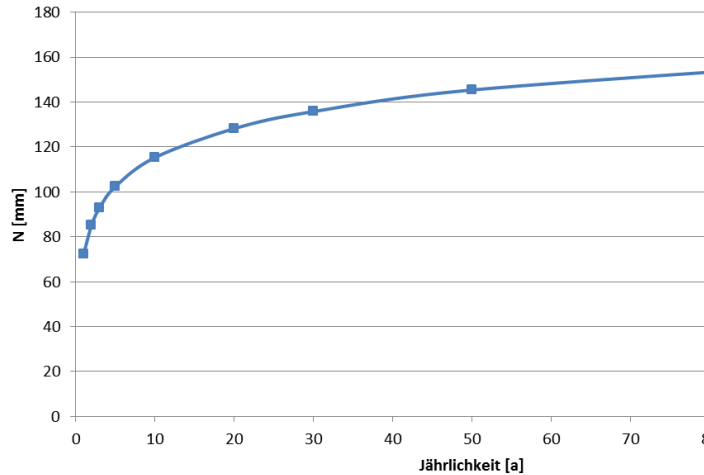


Ihringer 2019

Extrapolation der KOSTRA-Werte

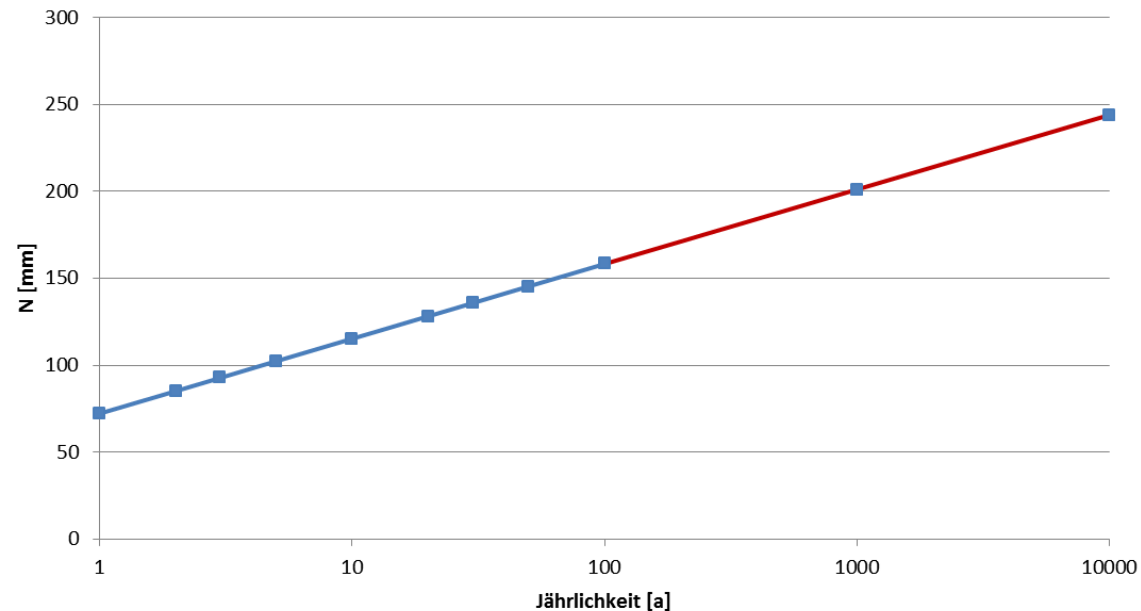
Ermittlung der 1.000- und 10.000-jährlichen Bemessungsniederschläge auf Basis von KOSTRA-2010R:

KOSTRA Zelle 17-098 (Dauerstufe 24h)



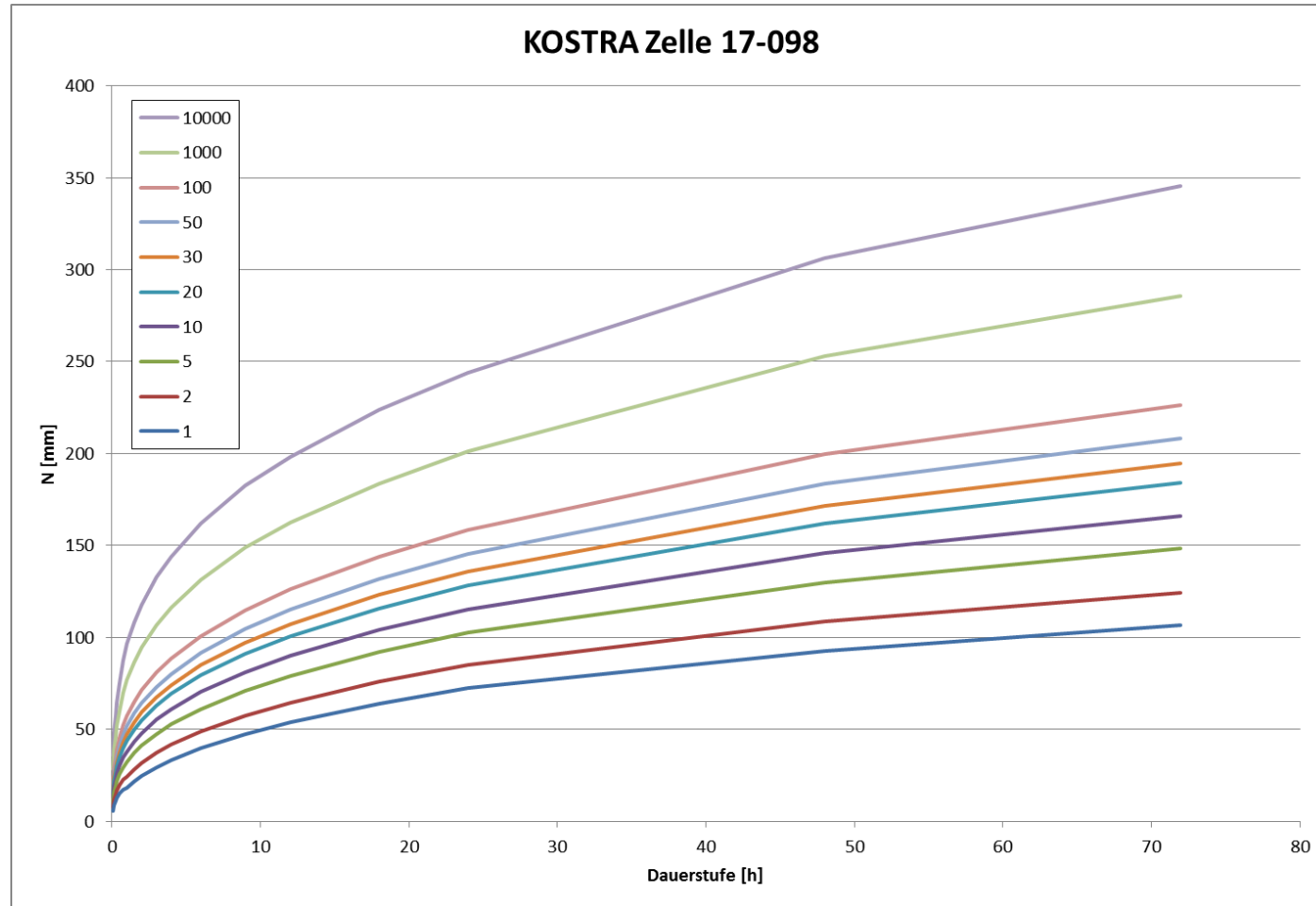
- Logarithmische Extrapolation:

KOSTRA Zelle 17-098 (Dauerstufe 24h)



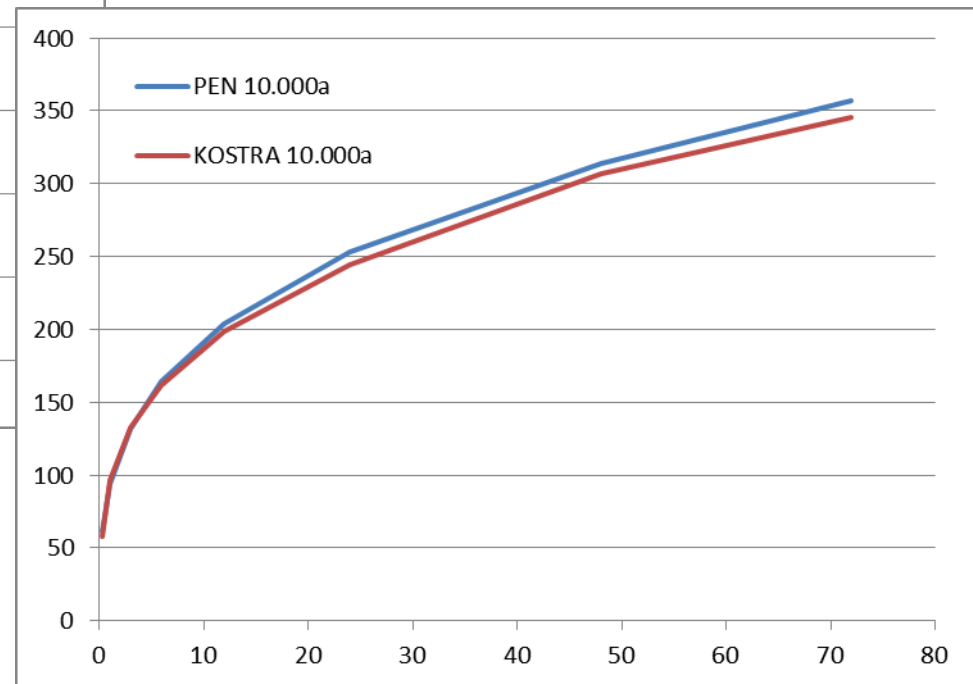
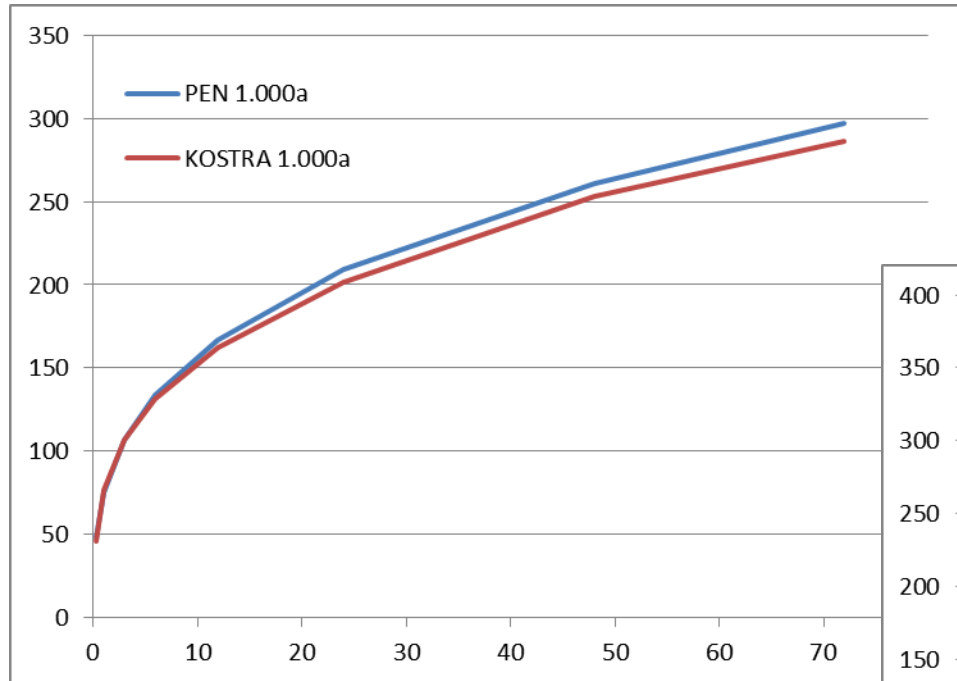
Extrapolation der KOSTRA-Werte

Ermittlung der 1.000- und 10.000-jährlichen Bemessungsniederschläge auf Basis von KOSTRA-2010R:



Extrapolation der KOSTRA-Werte

Ermittlung der 1.000- und 10.000-jährlichen Bemessungsniederschläge auf Basis von KOSTRA-2010R:



Bemessungsniederschläge MGN:

Die aktuell verwendeten Maximierten Gebietsniederschläge (MGN) basieren auf der 1998 veröffentlichten „Regionalisierung maximierter Gebietsniederschlagshöhen in der Bundesrepublik Deutschland“ des DWDs in der DVWK-Mitteilung, Heft 29 (1998). Die MGN sind Schätzungen des wahrscheinlich maximal möglichen Niederschlags für definierte Gebietsgrößen sowie verschiedene Jahreszeiten. Ihnen liegen physikalisch-klimatologisch maximierte Niederschläge punktueller Messungen zugrunde, die darauf folgend regionalisiert und auf unterschiedlich große Einzugsgebiete bezogen wurden.

Text aus: BLfU 2018

Gebietsminderung

Gebietsabminderung bei großen Einzugsgebieten:

Die Niederschlagsstatistik bezieht sich in der Regel auf punktuell aufgenommene Daten (Niederschlagsstationen) und ist strenggenommen nur für diesen Punkt gültig. Aus diesem Grund ist diese Punktschätzung bei der Übertragung auf andere Gebiete abzumindern.

Für Einzugsgebiete bis zu einer Fläche von 100 km² empfiehlt die DVWK (DVWK-Schriften 124 Teil 1) auf eine Abminderung zu verzichten.

Für die Berechnung einer Abflussspitze in Einzugsgebieten größer als 100 km² ist der Punktniederschlag der maßgebenden Niederschlagsdauer um den Faktor 0,9 abzumindern (DVWK-Regel 113). Für die Anwendung von langen Niederschlagsdauern, z. B. für die Berechnung eines Rückhaltebeckens ist der Faktor geringfügig größer

Niederschlagsverlauf

Niederschlagsverlauf nach DVWK:

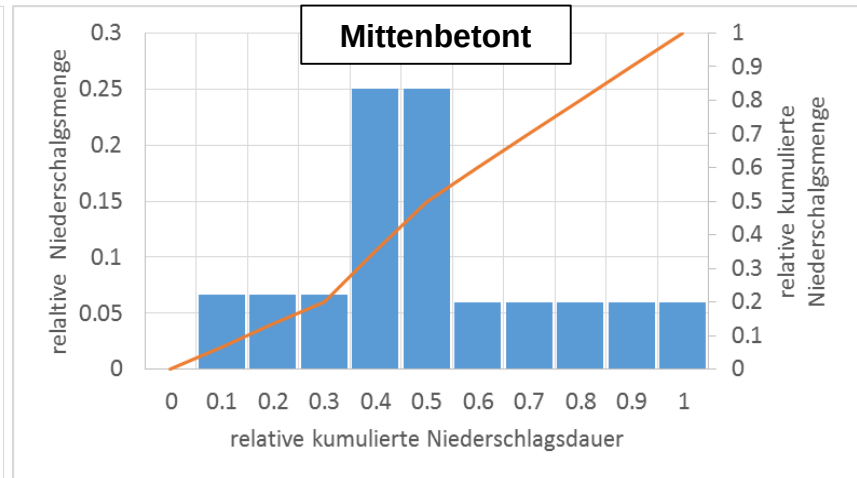
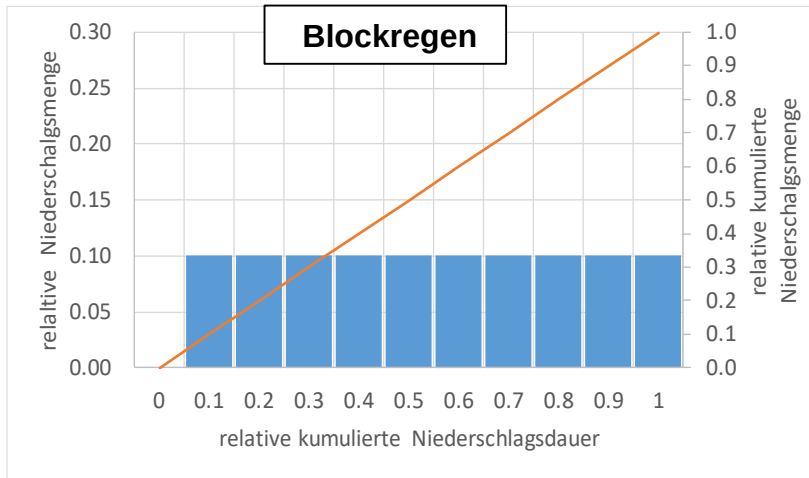
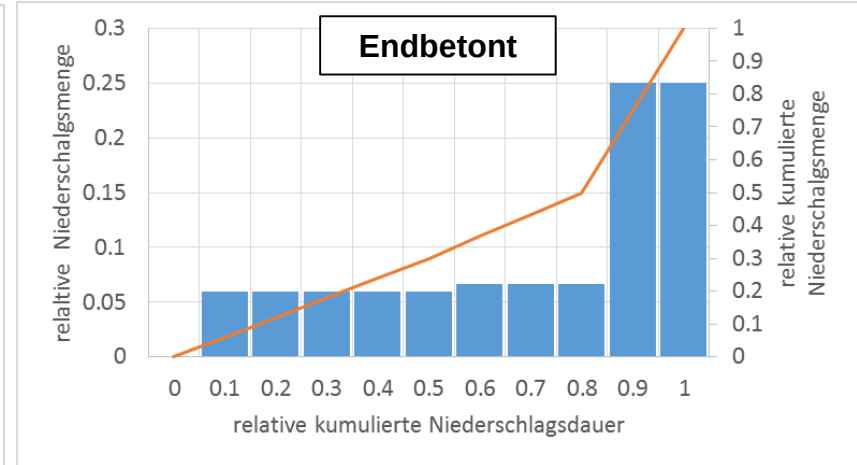
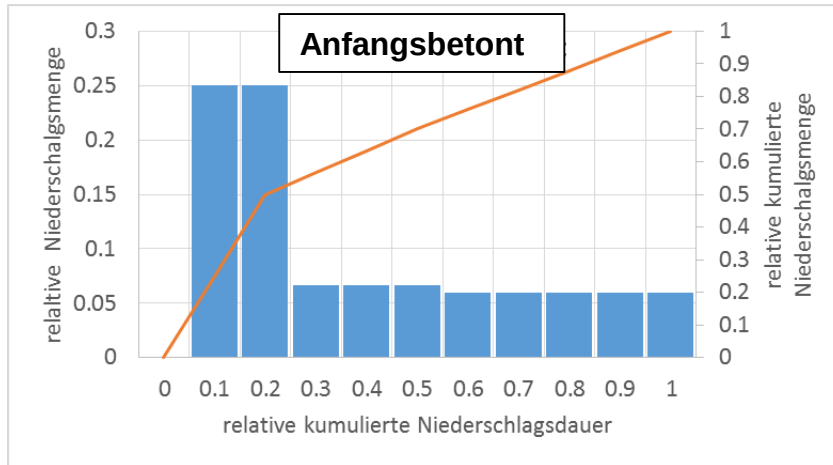
Neben der Niederschlagssumme haben auch der zeitliche Verlauf sowie die räumliche Verteilung eines Niederschlagsereignisses erhebliche Auswirkungen auf den resultierenden Abfluss. Um dies bei der Ermittlung von Bemessungsgrößen zu berücksichtigen, werden von der DVWK vier zeitliche Verläufe von Bemessungsniederschlägen definiert und empfohlen (DVWK-Regel 113):

Blockregen		anfangsbetont		mittenbetont		endbetont	
Dauer	N	Dauer	N	Dauer	N	Dauer	N
0 – 25	25	0 - 20	50	0 - 30	30	0 - 25	15
25 – 50	25	20 - 50	20	30 - 50	50	25 - 50	15
50 – 75	25	50 - 75	15	50 - 75	15	50 - 80	20
75 – 100	25	75 - 100	15	75 - 100	15	80 - 100	50

BLfU 2018

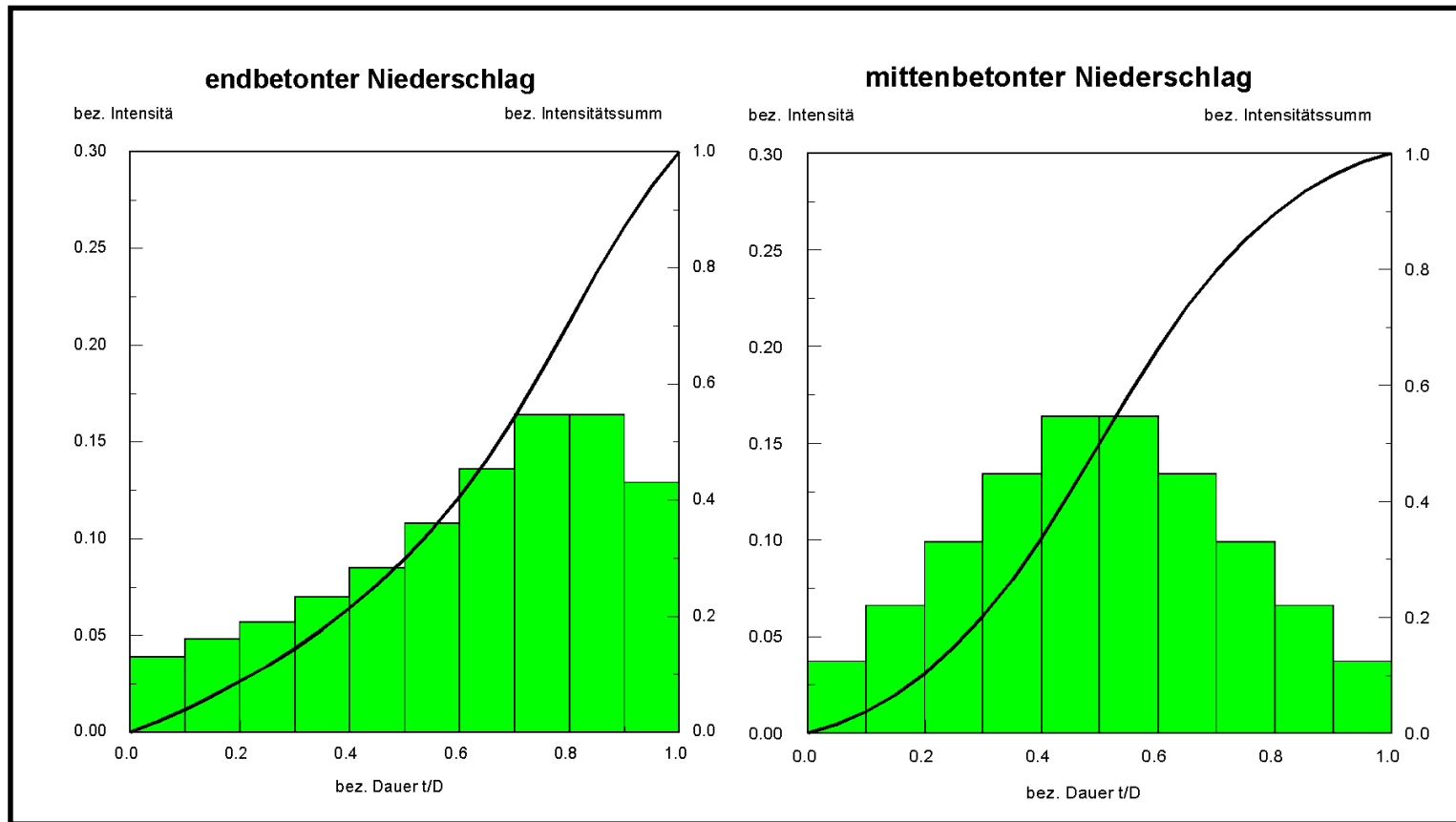
Niederschlagsverlauf

Niederschlagsverlauf nach DVWK:



Niederschlagsverlauf

Niederschlagsverlauf nach Ihringer (2019):



Ihringer 2019

Niederschlagsverlauf

Beispiel zur Ermittlung des Niederschlagsverlaufs:

gesucht: 100-jährlicher Niederschlag der Dauer $T_D = 3$ h
für einen Zeitschritt von $\Delta t = 1$ h

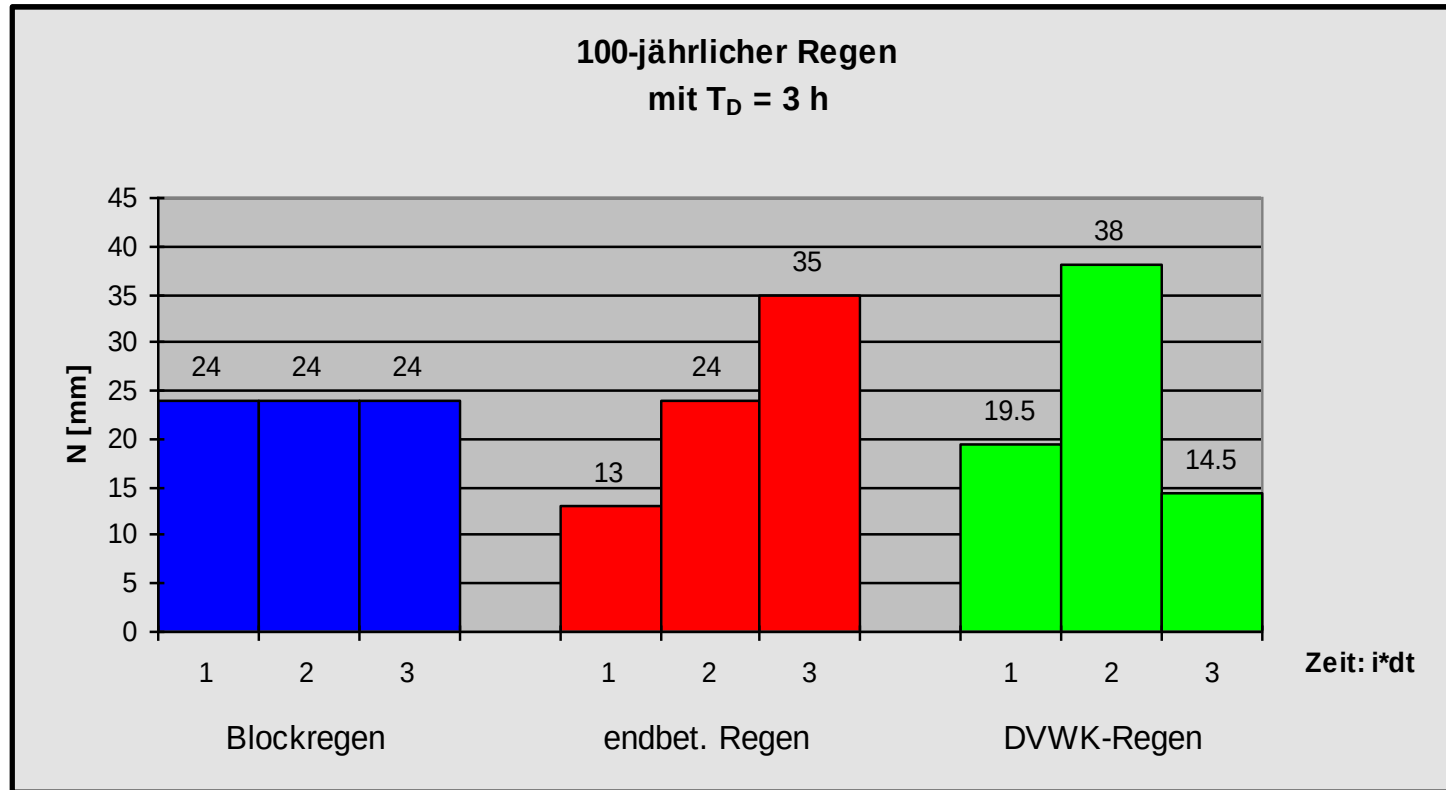
Schritte:

1. Anwendung der Niederschlagsstatistik
aus N-Statistik ergibt sich für $T_n = 100$ a und $T_D = 3$ h: **$N = 72$ mm**
2. zeitlicher Verlauf des Niederschlags: **I_i pro Zeitschritt Δt**

Zeit		Blockregen			endbet. Regen			DVWK-Regen		
i	t/ T_D	$\Sigma I_i/N$	I_i/N	I_i	$\Sigma I_i/N$	I_i/N	I_i	$\Sigma I_i/N$	I_i/N	I_i
1	0,33	0,33	0,33	24,0	0,18	0,18	13,0	0,27	0,27	19,5
2	0,67	0,67	0,33	24,0	0,51	0,33	24,0	0,80	0,53	38,0
3	1,0	1,0	0,33	24,0	1,0	0,49	35,0	1,0	0,20	14,5

Niederschlagsverlauf

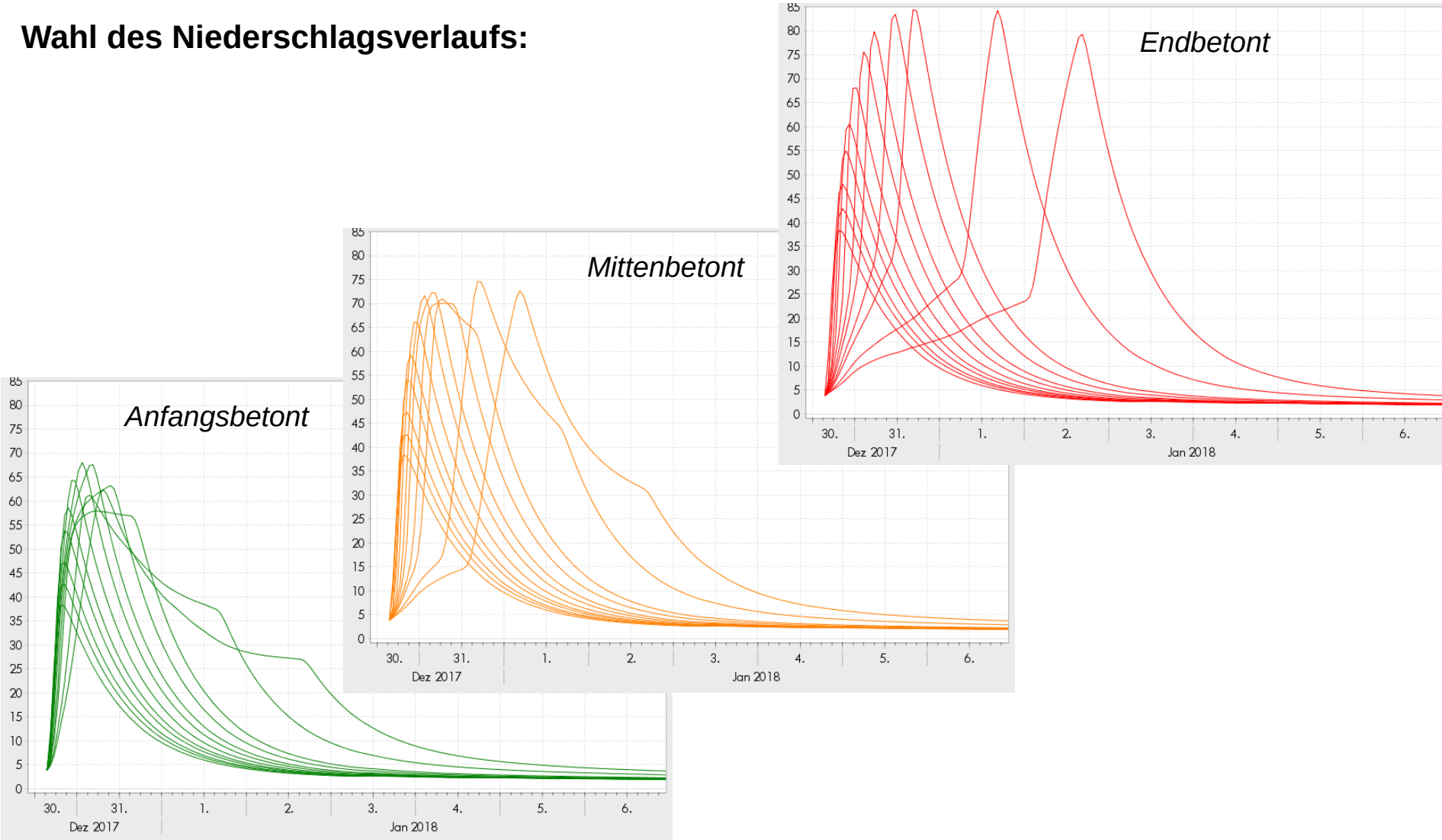
Beispiel zur Ermittlung des Niederschlagsverlaufs:



Ihringer 2019

Niederschlagsverlauf

Wahl des Niederschlagsverlaufs:



Niederschlagsverlauf

Wahl des Niederschlagsverlaufs:

Die Eintrittswahrscheinlichkeit für eine Niederschlagssumme beinhaltet nicht deren zeitlichen Verlauf, sodass den vier Niederschlagsverteilungen in erster Annahme eine ähnliche Wahrscheinlichkeit zugewiesen wird.

Da die Verteilung der Niederschlagssumme im Verlauf einen erheblichen Einfluss auf das Abflussmaxima hat, sollte dies bei der Anwendung berücksichtigt werden.

Bei der Auswahl sollte jedoch nicht unbedingt die Verteilung genommen werden, die zur maximalen Abflussspitze führt, sondern diejenige, die im (oberen) mittleren Bereich liegt, um die bei der Gleichsetzung der Wiederkehrzeiten von Niederschlag und Abfluss geforderte Verwendung mittlerer Verhältnisse einzuhalten.

Text aus: BLfU 2018

Niederschlagsverlauf

Wahl des Niederschlagsverlaufs:

In den meisten Fällen führt ein mittenbetonter Niederschlag zu den gewünschten Ergebnissen.

Bei größeren Gebieten, die bspw. durch mehrere KOSTRA-Zellen abgedeckt werden, kann eine ungleichmäßige Beregnung des Gebietes auftreten:

- Fällt der größere Teil des Niederschlags im „oberen“ Teileinzugsgebiet, so führt ein endbetonter Niederschlag zu größeren Abflussspitzen.
- Liegt die Beregnung überwiegend im „unteren“ Teileinzugsgebiet vor, so werden größere Abflussspitzen tendenziell durch eine anfangsbetonte Niederschlagsverteilung hervorgerufen.

Für kleine Einzugsgebieten mit kurzen Laufzeiten und daraus resultierenden kurzen maßgebenden Niederschlagsdauern (<1 Stunde), oder bei sehr langen Niederschlagsereignissen (z. B. Schneeschmelzereignisse mehrerer Tage) wird die Verwendung des Blockregens empfohlen.

Text aus: BLfU 2018

Niederschlagsverlauf

Wahl des Niederschlagsverlaufs:

Neben den synthetisch erzeugten zeitlichen Niederschlagsverläufen besteht zudem die Möglichkeit einen gemessenen Niederschlagsverlauf als Grundlage zu verwenden: Pro Intervall wird dabei die gemessene Niederschlagshöhe mit dem Quotienten aus „Bemessungsniederschlag gemäß der Dauer des verwendeten Ereignisses“ und „Niederschlagssumme des verwendeten Ereignisses“ multipliziert.

Mit dieser Methode wird der Niederschlagshöhe des entsprechenden Bemessungsniederschlags der zeitliche Verlauf eines tatsächlichen gemessenen Ereignisses vorgegeben.

Text aus: BLfU 2018

Bemessung in LARSIM

Umsetzung der Bemessungsniederschläge in LARSIM:

Mithilfe der Option BEMESSUNG können mit LARSIM Bemessungsereignisse berechnet werden, die zum Beispiel als Grundlage hydrologischer Planungen dienen können. Im Gegensatz zu einer herkömmlichen Simulation wird bei der Berechnung von Bemessungsereignissen der Niederschlag über definierte Niederschlagsdauerstufen vorgegeben. LARSIM berechnet dabei in einem einzigen Modelllauf alle vorgegebenen Dauerstufen nacheinander.

Die berechneten Ganglinien werden in die Datei <ergebnis.lila>-ausgegeben. Zudem werden der Gebietsniederschlag und der Effektivniederschlag in die <ergebnis.lila> ausgegeben.

Bei Option BEMESSUNG sind über den Einzelparameter NIEDERSCHLAGSDAUER die zu berechnenden Niederschlagsdauerstufen zu definieren.

```
ERSTES TGB          1123
LETZTES TGB         1141
ORDNUNG ERSTE GTS    1
EREIGNISBEGINN       01 01 2019 00 00
EREIGNISENDE         04 01 2019 12 00
NIEDERSCHLAGSDAUER   0.25 0.5 1. 3. 6. 12. 18. 24. 48. 72.
```

Bemessung in LARSIM

Umsetzung der Bemessungsniederschläge in LARSIM:

Weiter ist die Eingabedatei <niederschlagsdauerstufen.dat> im Arbeitsverzeichnis vorzuhalten. In dieser Datei werden für eine beliebige Anzahl von Stationen Niederschlagshöhen für die einzelnen Niederschlagsdauerstufen angegeben.

Die Datei <niederschlagsdauerstufen.dat> liegt im CSV-Format vor (Semikolon-getrennt) und ist im Arbeitsverzeichnis vorzuhalten

Die Dateien <niederschlagsdauerstufen.dat> liegen für KOSTRA-2010R, für REWANUS und für PEN-LAWA für Bayern bereits vor.

Beispiel für eine Eingabedatei <niederschlagsdauerstufen.dat>:

Datenquelle; KOSTRA2010R, T=100a;

N-Dauer [h];	0.083;	0.167;	0.25;	0.333;	0.5;	0.75;	1.;	1.5;	2.;	3.;	4.;	6.;	9.;	12.;	18.;	24.;
4351091.;5646931.;	16.8;	24.2;	29.4;	33.5;	39.8;	46.7;	52.0;	55.8;	58.7;	63.1;	66.3;	71.3;	76.5;	80.5;	86.5;	91.0;
4359530.;5646702.;	14.6;	21.7;	26.9;	31.0;	37.5;	44.8;	50.5;	53.3;	55.3;	58.4;	60.7;	64.2;	67.8;	70.6;	74.6;	77.7;
4367969.;5646474.;	13.7;	20.9;	26.2;	30.5;	37.4;	45.4;	51.9;	54.6;	56.6;	59.5;	61.8;	65.1;	68.6;	71.3;	75.2;	78.2;
4342421.;5638669.;	14.1;	20.7;	25.4;	29.1;	34.8;	41.3;	46.5;	49.6;	52.0;	55.6;	58.3;	62.4;	66.8;	70.2;	75.3;	79.2;
4350861.;5638440.;	12.9;	19.8;	25.0;	29.2;	35.8;	43.5;	49.7;	54.4;	58.1;	63.6;	67.8;	74.3;	81.4;	86.8;	95.1;	101.5;
4359300.;5638212.;	13.9;	20.6;	25.4;	29.2;	35.2;	41.9;	47.2;	50.3;	52.6;	56.0;	58.6;	62.5;	66.7;	69.9;	74.6;	78.2;
4367739.;5637983.;	13.8;	20.6;	25.5;	29.4;	35.6;	42.5;	48.0;	50.9;	53.1;	56.4;	58.9;	62.6;	66.6;	69.7;	74.2;	77.6;
4333752.;5630405.;	14.5;	21.1;	25.8;	29.5;	35.1;	41.4;	46.3;	50.3;	53.3;	57.9;	61.4;	66.7;	72.5;	76.9;	83.6;	88.7;
4342191.;5630177.;	14.0;	20.7;	25.4;	29.1;	34.9;	41.4;	46.5;	49.5;	51.8;	55.2;	57.8;	61.7;	65.8;	68.9;	73.6;	77.2;
4350631.;5629949.;	14.2;	21.2;	26.3;	30.4;	36.8;	43.9;	49.6;	52.9;	55.3;	59.0;	61.8;	66.1;	70.6;	74.1;	79.3;	83.3;
4359070.;5629721.;	14.9;	21.5;	26.3;	30.0;	35.8;	42.1;	47.0;	50.0;	52.3;	55.8;	58.4;	62.3;	66.5;	69.7;	74.5;	78.1;
4367509.;5629493.;	14.5;	21.3;	26.2;	30.1;	36.1;	42.9;	48.3;	51.3;	53.6;	57.0;	59.6;	63.5;	67.7;	70.8;	75.7;	79.3;
4375948.;5629264.;	14.4;	21.2;	26.1;	30.0;	36.0;	42.8;	48.1;	51.1;	53.3;	56.8;	59.4;	63.3;	67.5;	70.8;	75.7;	79.4;
4265992.;5623737.;	14.9;	21.9;	27.0;	31.0;	37.3;	44.3;	49.9;	51.6;	52.9;	54.7;	56.2;	58.3;	60.5;	62.2;	64.7;	66.6;
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Bemessung in LARSIM

Umsetzung der Bemessungsniederschläge in LARSIM:

Ist in der Datei <niederschlagsdauerstufen.dat> eine Dauerstufe enthalten, die nicht über den Parameter NIEDERSCHLAGSDAUER angefordert ist, so wird diese Dauerstufe ignoriert. Wird umgekehrt über den Parameter NIEDERSCHLAGSDAUER eine Dauerstufe angefordert und ist nicht in der Datei <niederschlagsdauerstufen.dat> enthalten, wird eine Warnung in das <tape11> ausgegeben und die betreffende Dauerstufe wird nicht berechnet.

Bemessung in LARSIM

Umsetzung der Bemessungsniederschläge in LARSIM:

Standardmäßig wird ein in der Datei <niederschlagsdauerstufen.dat> vorgegebener Bemessungsniederschlag gleichmäßig über die Zeitschritte der Dauerstufe verteilt ("Blockregen"). Alternativ kann eine Intensitätsverteilung des Niederschlags nach DVWK-Regel 113 mit folgenden Optionen erfolgen:

N-VERTEILUNG ANFANGSBETONT

N-VERTEILUNG MITTENBETONT

N-VERTEILUNG ENDBETONT

Sofern über die Datei <punktausgaben.str> angefordert, werden die simulierten Abflüsse (QGTS=J) und der Niederschlag (Option AUSGABE NIEDERSCHLAG und AEZG=J, bei Berechnung eines Niederschlag-Abfluss-Modells auch Effektivniederschlag) für alle berechneten Dauerstufen ausgegeben. Dabei erfolgt die Angabe der jeweiligen Dauerstufe im Kommentar der Metadaten.

Die Berechnung von Bemessungsereignissen mithilfe von Niederschlagsdauerstufen erfolgt im Simulationsmodus ohne Berechnung einer Vorhersage. Entsprechende Optionen zur Steuerung einer Vorhersage sind nicht zugelassen bzw. wirkungslos. Gleiches gilt für Optionen der WHM-Nachführung. Der Berechnungszeitraum ist über die Einzelparameter EREIGNISBEGINN und EREIGNISENDE (alternativ EREIGNISDAUER (H)) zu steuern.

Bemessung in LARSIM

Umsetzung der Bemessungsniederschläge in LARSIM:

Die Daten in der Datei <niederschlagsdauerstufen.dat> werden von LARSIM als Punktniederschläge interpretiert. Sie werden mit dem im <tape10> gewählten Interpolationsverfahren (z.B. Rasterpunkt) auf die Modellelemente umgerechnet.

Bemessung in LARSIM

Umsetzung der Bemessungsniederschläge in LARSIM:

Die Ausgabe der Datei <fuellen.csv> erfolgt bei Option AUSGABE ABFLUSSFUELLEN in das Verzeichnis "ErgebnisAusgabe: Zusatzausgaben" laut <pfade.dat>.

Für alle im Abschnitt [ABFLUSSFUELLEN] im Datensatz 6 des <tape10> angeforderten Teilgebiete werden folgende Informationen ausgegeben:

- TGB: Teilgebietsnummer
- Bezug: Bezugspunkt der Ausgabe im TGB (Abfluss aus oder Zufluss zur Gewässerteilstrecke)
- N-Dauer [h]: Niederschlagsdauerstufe (nur bei Option BEMESSUNG)
- Q-Schwelle [cbm/s]: Abflussschwellenwert für Füllenberechnung
- Q-Fuelle [1000 cbm]: Abflussfülle
- Qmax [cbm/s]: Maximaler Abfluss im Berechnungszeitraum
- Q-Beiwert [-]: Abflussbeiwert für das Einzugsgebiet des Ausgabepunktes *
- Start-Q [cbm/s]: Simulierter Abfluss zum ersten Berechnungszeitschritt
- End-Q [cbm/s]: Simulierter Abfluss zum letzten Berechnungszeitschritt

* Die Berechnung des Abflussbeiwerts erfolgt beim Wasserhaushaltsmodell als Quotient der Abflusssumme oberhalb des Abflusses zum ersten Zeitschritt und dem Summenwert des Wasserdargebots. Beim Niederschlag-Abfluss-Modell entspricht der Abflussbeiwert dem Quotienten aus Effektivniederschlag und Gesamtniederschlag.

Bemessung in LARSIM

Umsetzung der Bemessungsniederschläge in LARSIM:

Die Ausgabe der Datei <fuellen.csv> erfolgt bei Option AUSGABE ABFLUSSFUELLEN in das Verzeichnis "Ergebnisausgabe: Zusatzausgaben" laut <pfade.dat>.

	KOSTRA2010R, T=100a							
TGB	Bezug	N-Dauer [h]	Q-Schwelle [cbm/s]	Q-Fuelle [1000 cbm]	Qmax [cbm/s]	Q-Beiwert [-]	Start-Q [cbm/s]	End-Q [cbm/s]
1141	Abfluss aus GTS	0.25	0.13	134.96	4.01	0.27	0.13	0.13
1141	Abfluss aus GTS	0.5	0.13	222.3	6.58	0.33	0.13	0.13
1141	Abfluss aus GTS	1	0.13	334.98	9.9	0.39	0.13	0.13
1141	Abfluss aus GTS	3	0.13	435.31	12.79	0.42	0.13	0.13
1141	Abfluss aus GTS	6	0.13	510.36	14.59	0.44	0.13	0.13
1141	Abfluss aus GTS	12	0.13	598.1	14.22	0.46	0.13	0.13
1141	Abfluss aus GTS	18	0.13	654.64	13.26	0.47	0.13	0.13
1141	Abfluss aus GTS	24	0.13	697.61	12.75	0.48	0.13	0.13
1141	Abfluss aus GTS	48	0.13	795.24	10.79	0.5	0.13	0.13
1141	Abfluss aus GTS	72	0.13	860.32	9	0.5	0.13	0.14

Bemessung in LARSIM

Umsetzung der Bemessung im LARSIM-WHM:

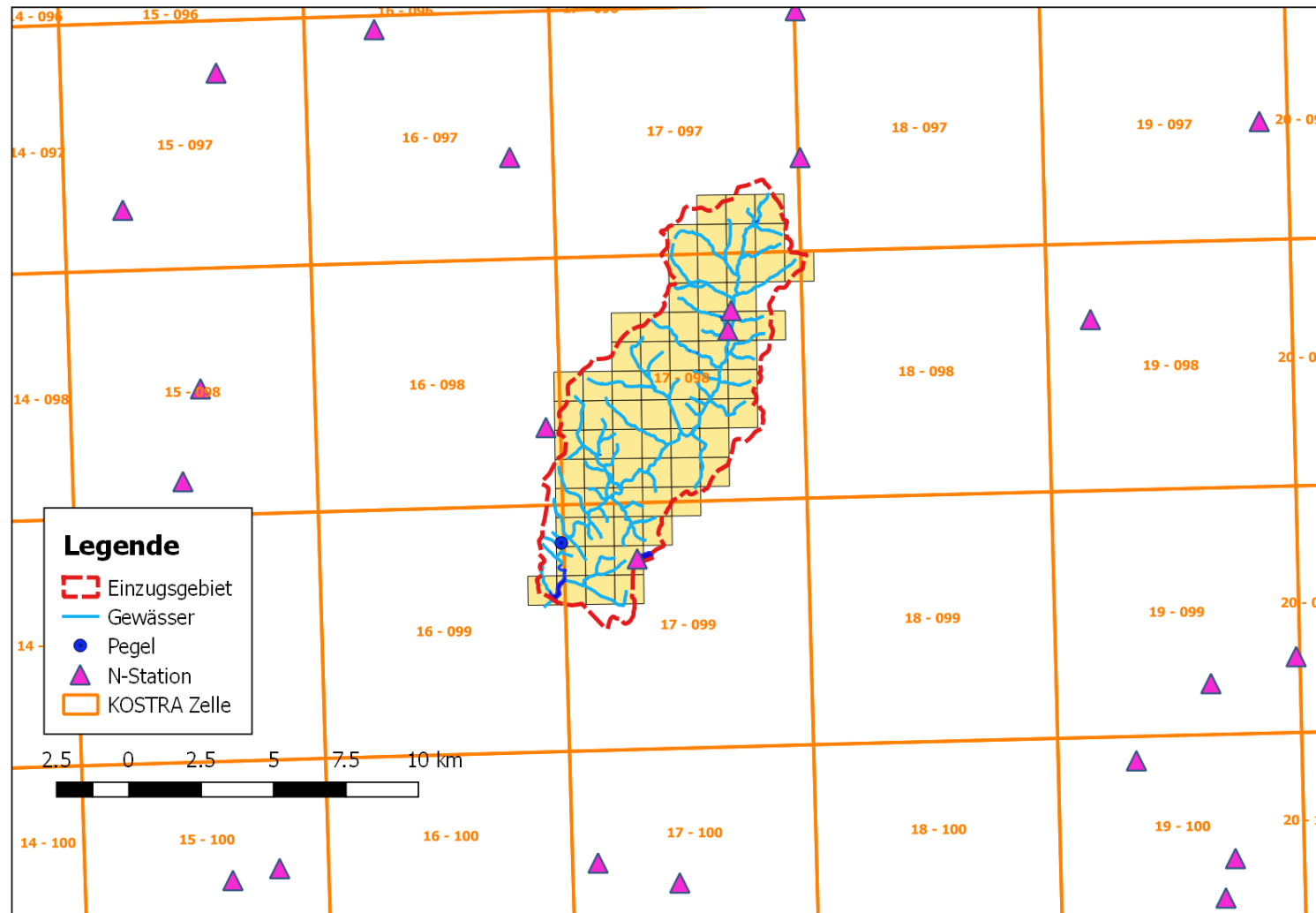
Die Bemessungsniederschläge können im LARSIM-WHM angewandt werden.

Für den Modellantrieb des WHM sind neben den Niederschlagsdaten auch Daten der weiteren meteorologischen Variablen wie Lufttemperatur und Globalstrahlung erforderlich. Diese Variablen sind für die Verdunstungsberechnung und für die langfristige Simulation des Wasserhaushalts entscheidend, jedoch für die Berechnung eines Hochwasserereignisses nicht sehr relevant.

Daher werden für die Simulationen mit den Bemessungs-Niederschlagsdaten für die weiteren erforderlichen Meteo-Daten (Lufttemperatur, rel. Luftfeuchte, Globalstrahlung, Windgeschwindigkeit, Luftdruck) die Meteo-Daten eines historischen Hochwasser-Abflussereignisses verwendet.

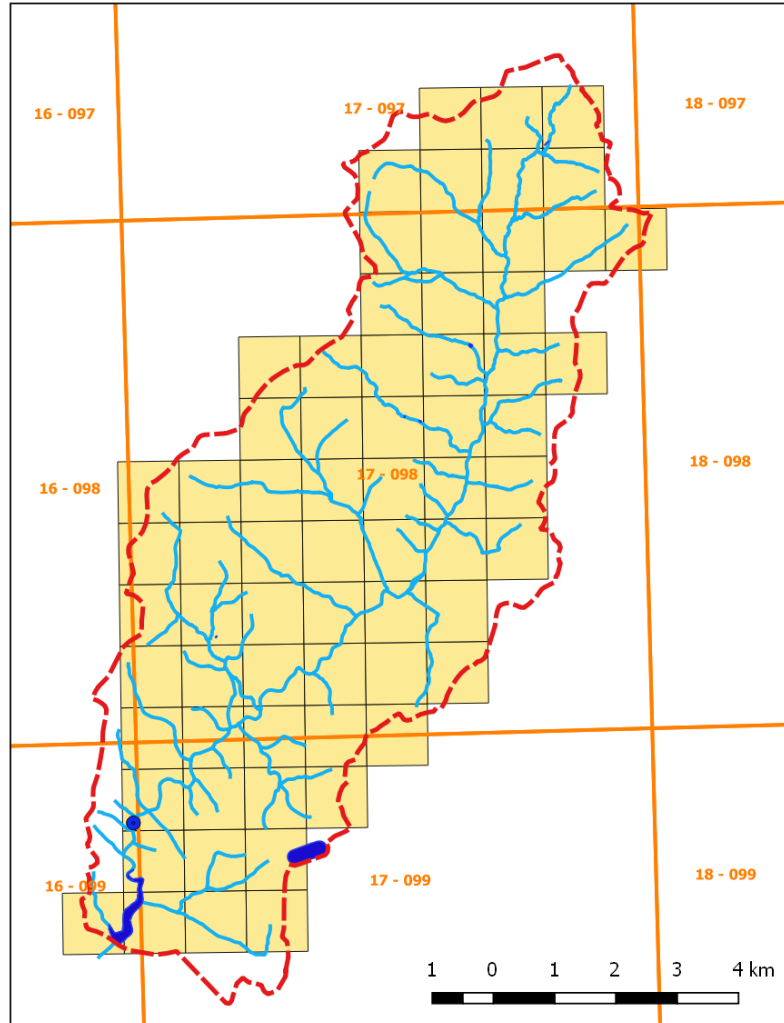
Bemessung in LARSIM

Beispiel: Umsetzung der Bemessungsniederschläge in LARSIM-WHM:



Bemessung in LARSIM

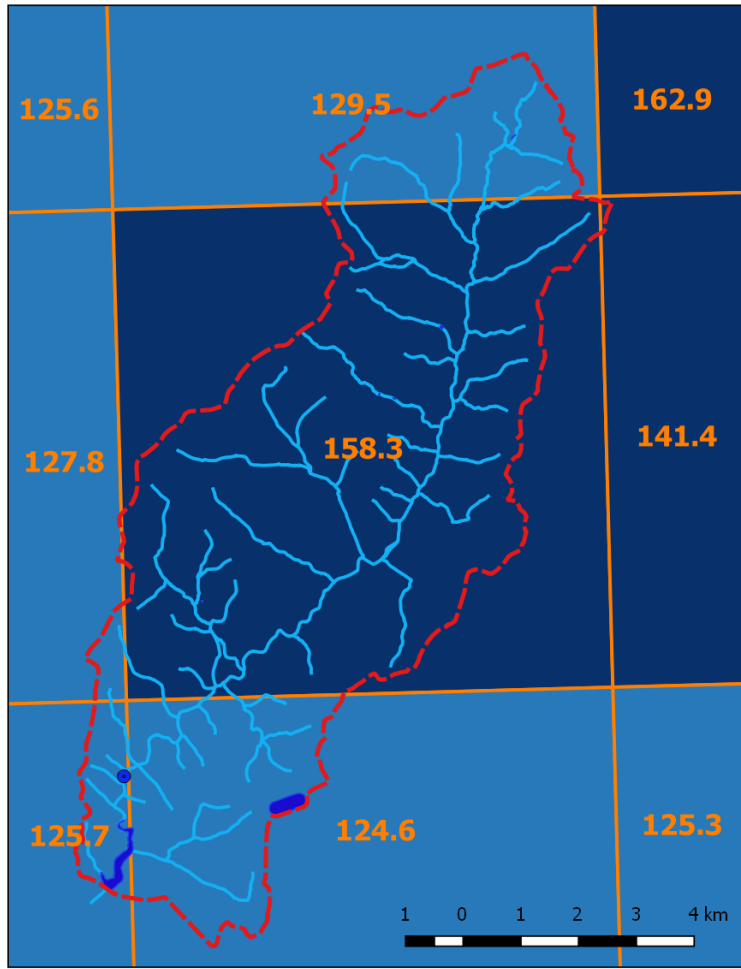
Beispiel: Umsetzung der Bemessungsniederschläge in LARSIM-WHM:



- Niederschlagshöhen in Abhängigkeit von der Niederschlagsdauer D und der Jährlichkeit T
- Einzugsgebiet liegt in 8 KOSTRA Zellen
- Niederschlagsdauern: 5 min - 72h
- Wiederkehrintervalle: 1a - 100a

Bemessung in LARSIM

Beispiel: Umsetzung der Bemessungsniederschläge in LARSIM-WHM:



- Niederschläge der einzelnen Zellen können sich deutlich unterscheiden
- Beispiel in der Abbildung:
Jährlichkeit 100a
Niederschlagsdauer 24h

Bemessung in LARSIM

Umsetzung der Bemessung im LARSIM-WHM:

Ein weiterer wichtiger Faktor bei der Abflussbildung im Wasserhaushaltsmodell ist die Bodenfeuchte. Das LARSIM-Modell simuliert bei der Berechnung detailliert den Bodenwasserhaushalt und somit die dynamische Veränderung der Abflussbereitschaft des Bodens in Abhängigkeit von Vorgeuchte sowie Niederschlagsmenge und Niederschlagsintensität. Dagegen rechnen klassische Niederschlags-Abfluss-Modelle mit festgelegten Abflussbeiwerten und somit einer zeitlich konstanten Abflussbereitschaft des Bodens.

Zum Modellierungsbeginn benötigt LARSIM einen sogenannten Systemzustand, der die aktuellen Inhalte der Speicherzustände für jede Landnutzung in jedem Teilgebiet beinhaltet (z.B. Inhalt von Interzeptionsspeicher, Bodenspeicher und Schneespeicher für jede Landnutzung im TGB).

Bemessung in LARSIM

Umsetzung der Bemessung im LARSIM-WHM:

Die Abflusssimulationen mit KOSTRA-Niederschlägen können mit einem gewählten Systemzustand und dessen Ausgangsbodenfeuchte durchgeführt werden. Es können zwei Varianten berücksichtigt werden:

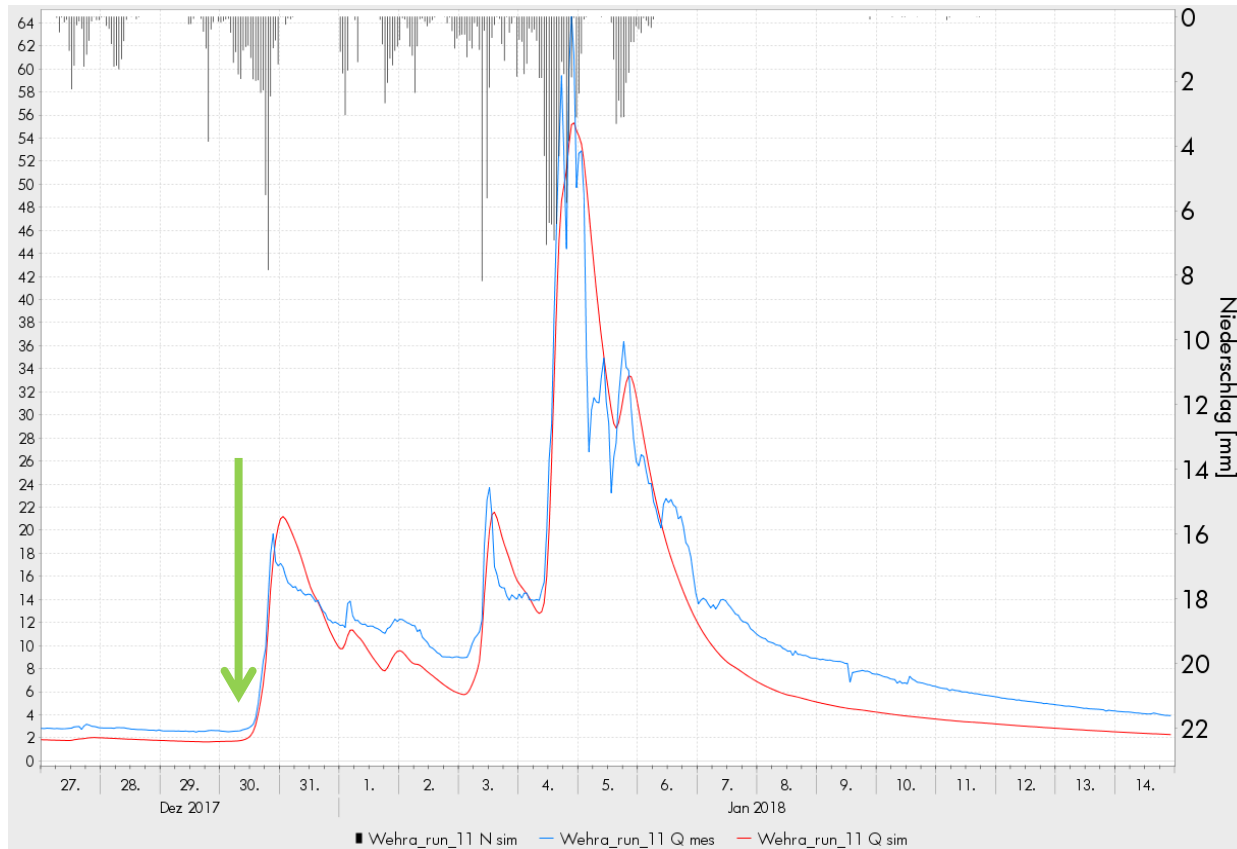
- Datensatz mit einer Bodenfeuchte, die in jedem Teilgebiet für jedes Landnutzungs-Bodenkompartiment auf 80% der maximalen Bodenspeicherkapazität gesetzt wird
- Datensatz mit der realen Bodenfeuchte-Verteilung, die zu Beginn des Hochwasserereignisses mit den höchsten Abflusswerten im Einzugsgebiet auftrat.

Die KOSTRA-Niederschläge berücksichtigen keine Schnee-Ereignisse oder Abhängigkeiten von den Jahreszeiten. Deswegen werden die LARSIM-WHM für die Bemessungsniederschläge ohne Schnee berechnet.

Bemessung in LARSIM

Beispiel: Umsetzung der Bemessungsniederschläge in LARSIM-WHM:

- Anfangszustand des Systems: Gewähltes Ereignis: Januar 2018 (mit Anfangszustand 30.12.2017)

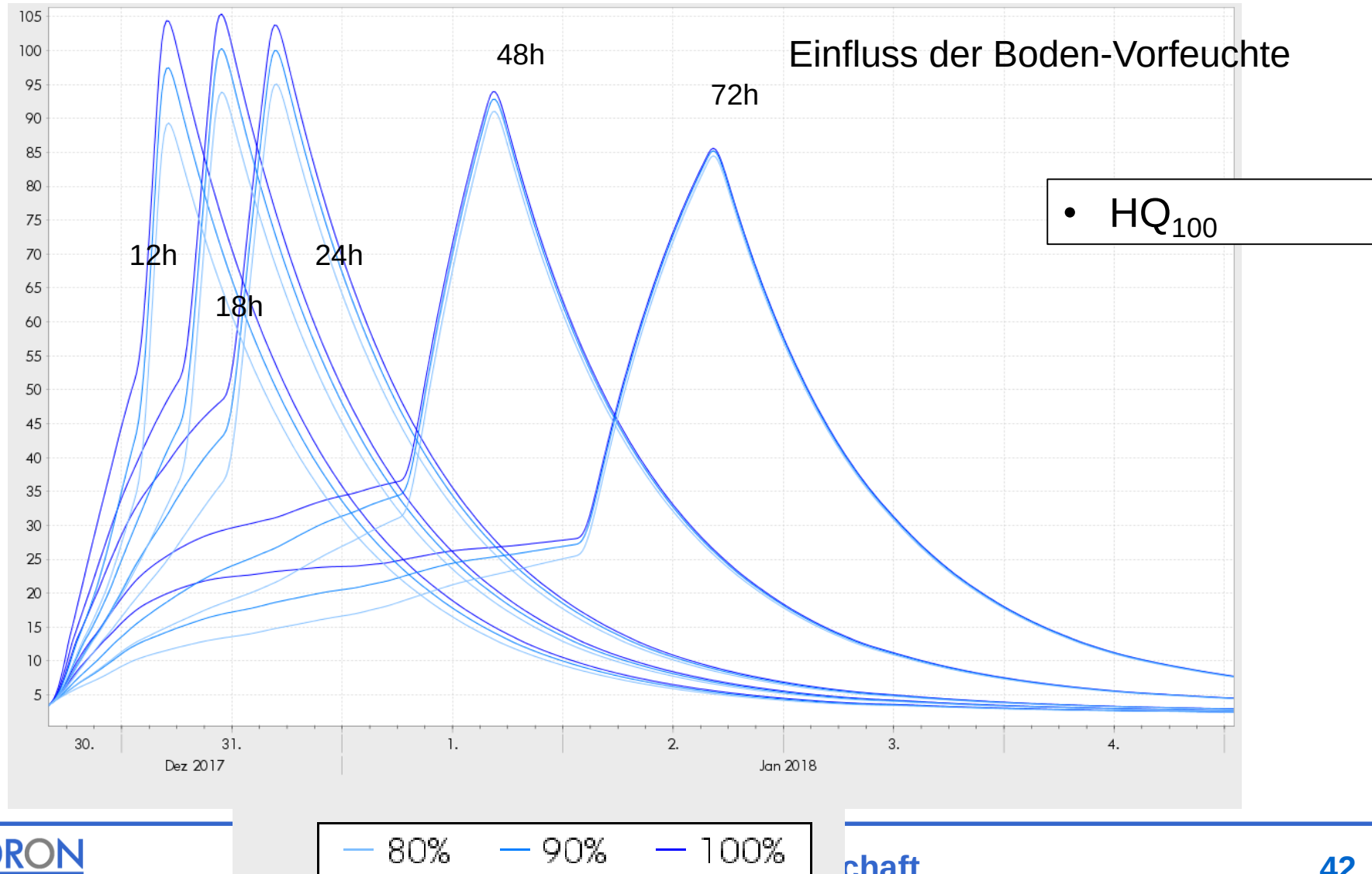


Anpassung Zustandsdatei:

- Bodenfeuchte

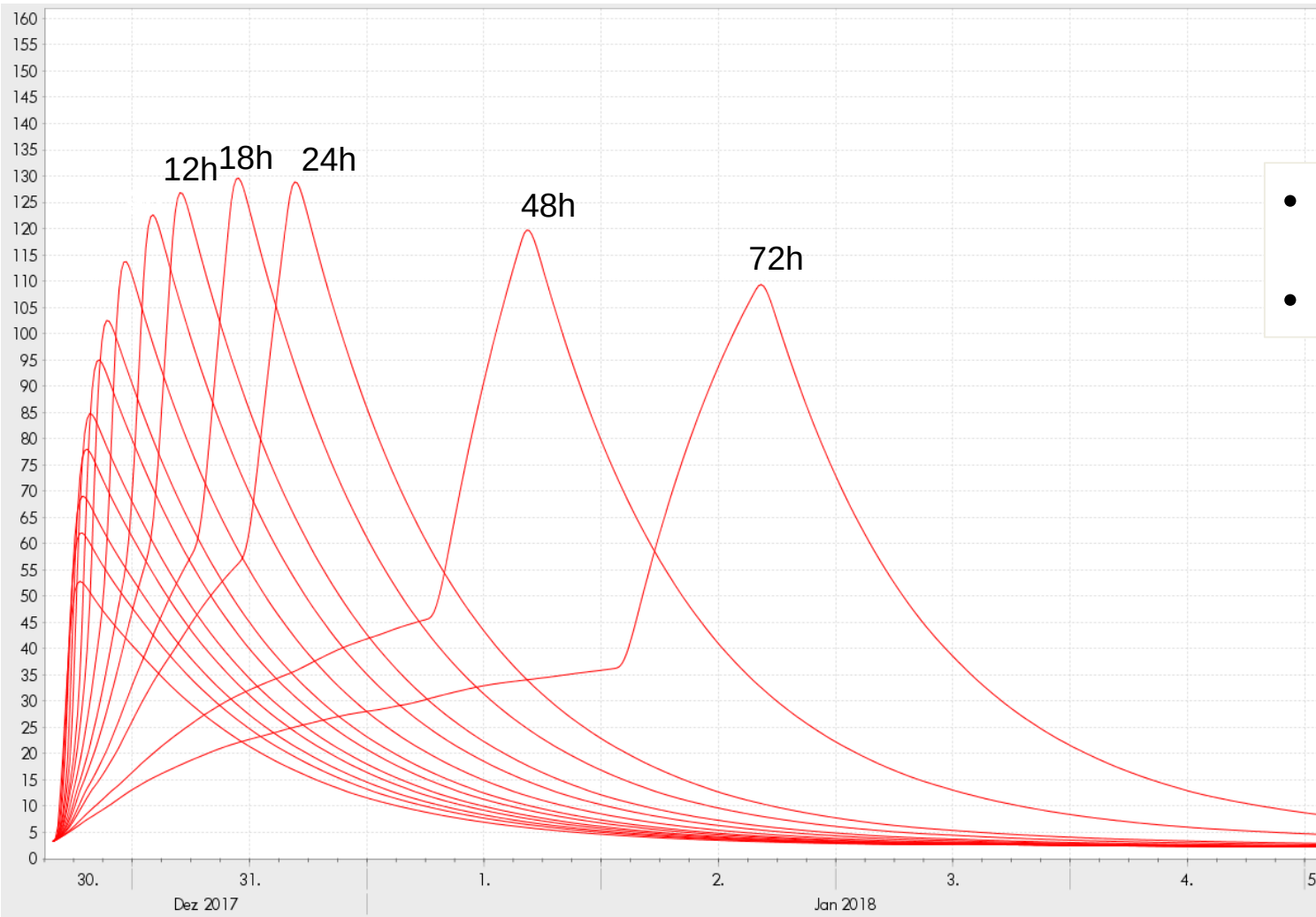
Bemessung in LARSIM

Beispiel: Umsetzung der Bemessungsniederschläge in LARSIM-WHM:



Bemessung in LARSIM

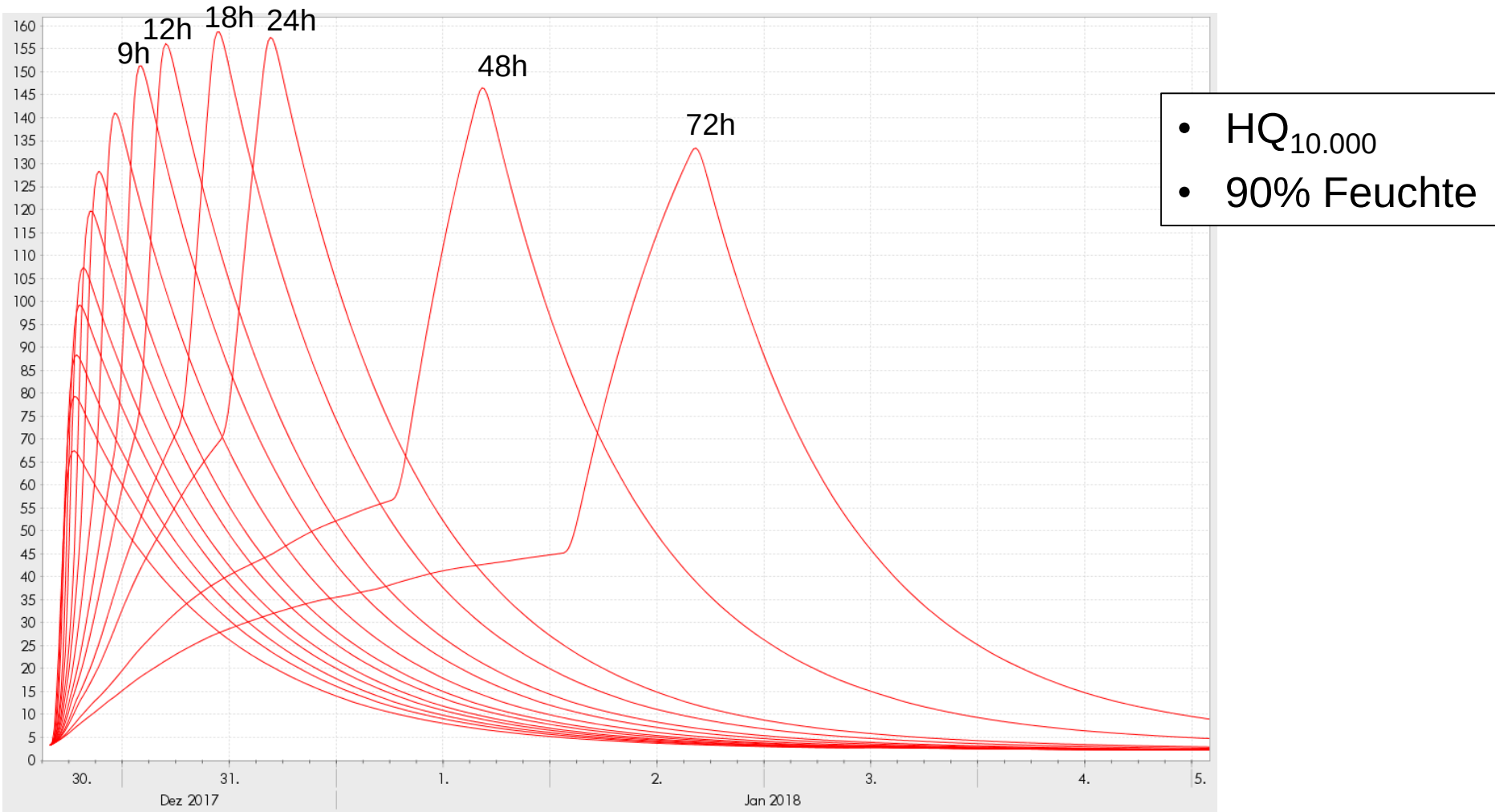
Beispiel: Umsetzung der Bemessungsniederschläge in LARSIM-WHM:



- HQ_{1.000}
- 90% Feuchte

Bemessung in LARSIM

Beispiel: Umsetzung der Bemessungsniederschläge in LARSIM-WHM:



Bemessung in LARSIM

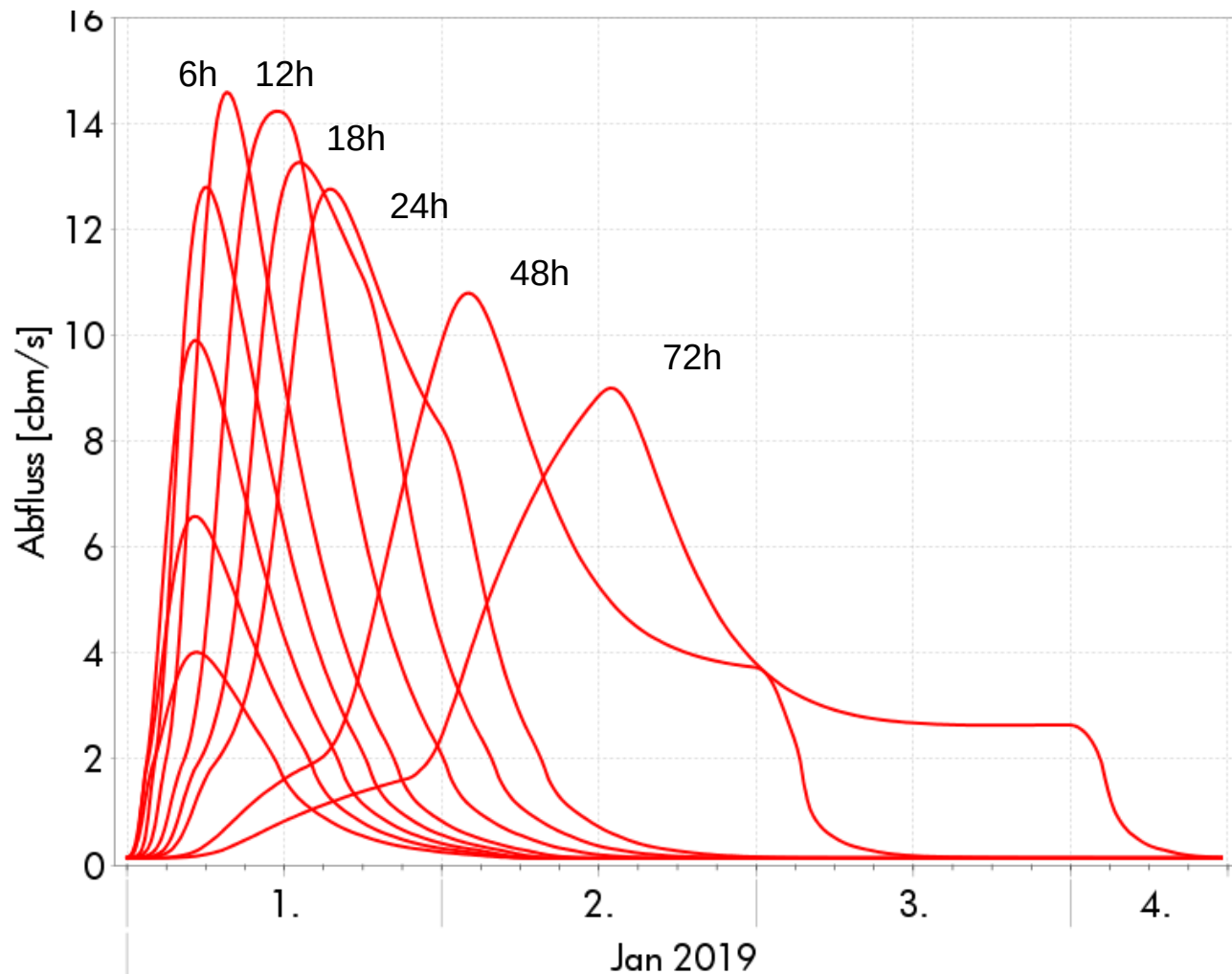
Umsetzung der Bemessung im LARSIM-NA:

Für die Bemessung mit LARSIM-NA ist das Verfahren zur Abflussbeiwertbestimmung sowie die dazugehörigen Parameter in der Datei <tape10> festzulegen.

Bemessung in LARSIM

Umsetzung der Bemessung im LARSIM-NA:

Ausgabe der Ganglinien für die unterschiedlichen Dauerstufen in der Datei <ergebnis.lila> (analog zum WHM)



Bemessung in LARSIM

Umsetzung der Bemessung im LARSIM-NA:

Ausgabe der Füllen in der Datei <fuellen.csv> (analog zum WHM)

	KOSTRA2010R, T=100a							
TGB	Bezug	N-Dauer [h]	Q-Schwelle [cbm/s]	Q-Fuelle [1000 cbm]	Qmax [cbm/s]	Q-Beiwert [-]	Start-Q [cbm/s]	End-Q [cbm/s]
1141	Abfluss aus GTS	0.25	0.13	134.96	4.01	0.27	0.13	0.13
1141	Abfluss aus GTS	0.5	0.13	222.3	6.58	0.33	0.13	0.13
1141	Abfluss aus GTS	1	0.13	334.98	9.9	0.39	0.13	0.13
1141	Abfluss aus GTS	3	0.13	435.31	12.79	0.42	0.13	0.13
1141	Abfluss aus GTS	6	0.13	510.36	14.59	0.44	0.13	0.13
1141	Abfluss aus GTS	12	0.13	598.1	14.22	0.46	0.13	0.13
1141	Abfluss aus GTS	18	0.13	654.64	13.26	0.47	0.13	0.13
1141	Abfluss aus GTS	24	0.13	697.61	12.75	0.48	0.13	0.13
1141	Abfluss aus GTS	48	0.13	795.24	10.79	0.5	0.13	0.13
1141	Abfluss aus GTS	72	0.13	860.32	9	0.5	0.13	0.14

Bemessung in LARSIM

Umsetzung der Bemessung im LARSIM-NA:

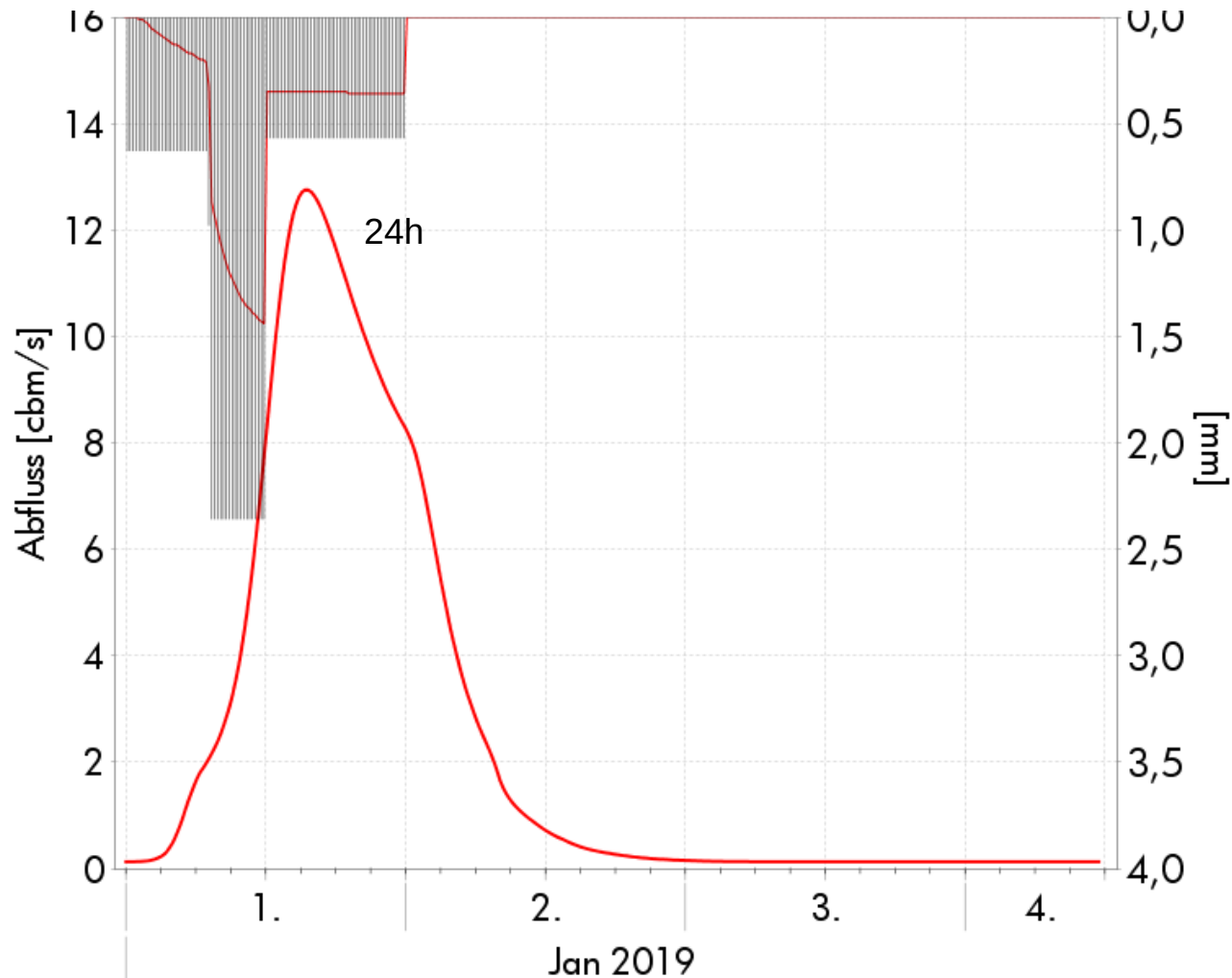
Ausgabe der Niederschlags- und Abflussbeiwertverläufe in der Datei <tape11> (nur LARSIM-NA)

```
PSI-Verlauf fuer TGB 1139
  ZS      N (mm)      Neff [mm]      PSI
  1        0.00        0.00
  2        0.24        0.00      0.00
  3        0.24        0.00      0.00
  4        0.24        0.00      0.00
  5        0.24        0.00      0.00
  6        0.24        0.00      0.00
  7        0.24        0.00      0.00
  8        0.24        0.00      0.00
  9        0.24        0.00      0.00
 10        0.24        0.00      0.01
 11        0.24        0.00      0.02
 12        0.24        0.01      0.03
 13        0.24        0.01      0.04
 14        0.24        0.01      0.05
 15        0.24        0.01      0.06
 16        0.24        0.02      0.07
 17        0.24        0.02      0.08
 18        0.24        0.02      0.08
 19        0.24        0.02      0.09
 20        0.24        0.02      0.10
 21        0.24        0.03      0.11
 22        0.24        0.03      0.12
 23        0.24        0.03      0.13
  --        --        --        --
```

Bemessung in LARSIM

Beispiel: Umsetzung der Bemessungsniederschläge im LARSIM-NA:

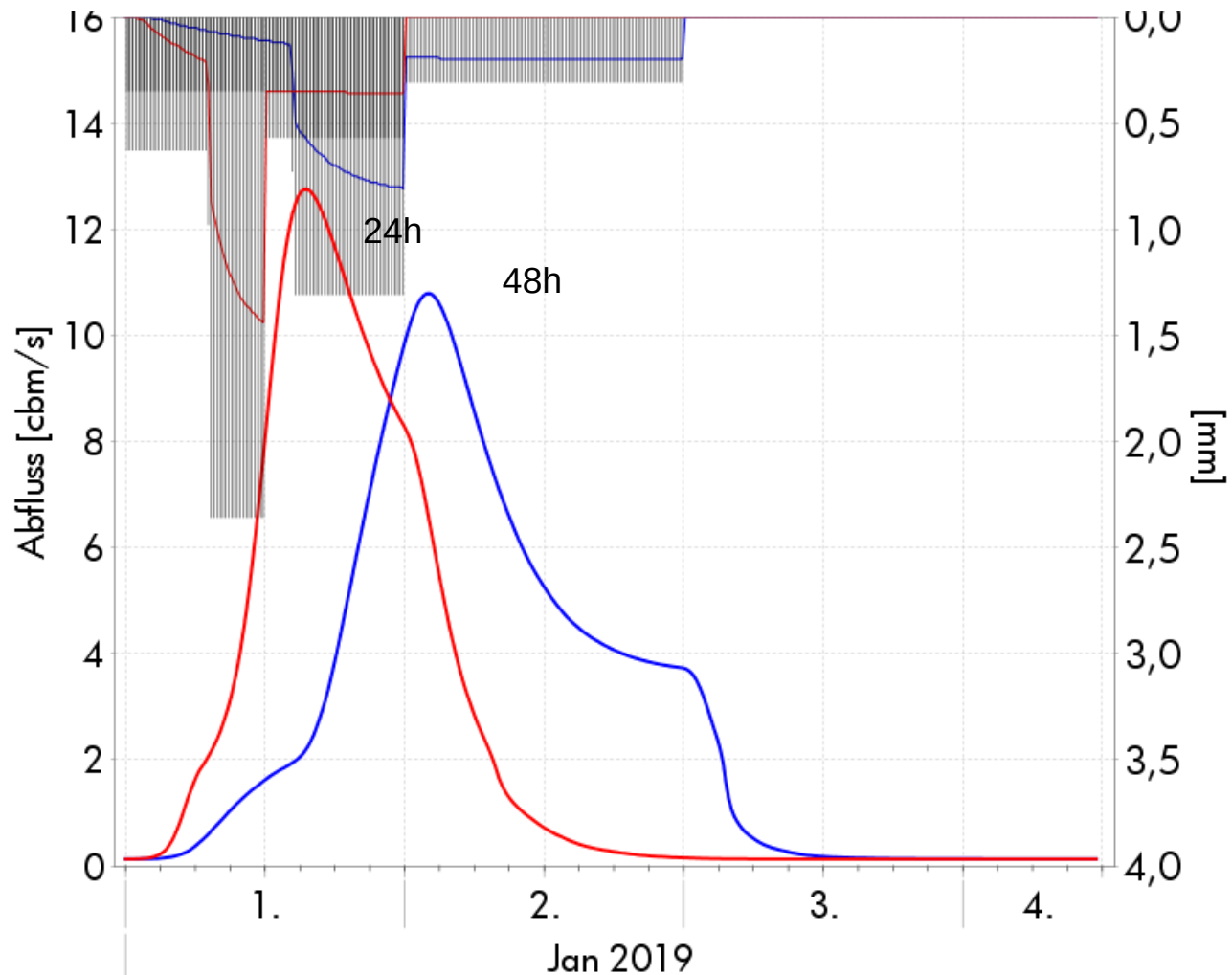
Zeitvariantes Lutz-Verfahren



Bemessung in LARSIM

Beispiel: Umsetzung der Bemessungsniederschläge im LARSIM-NA:

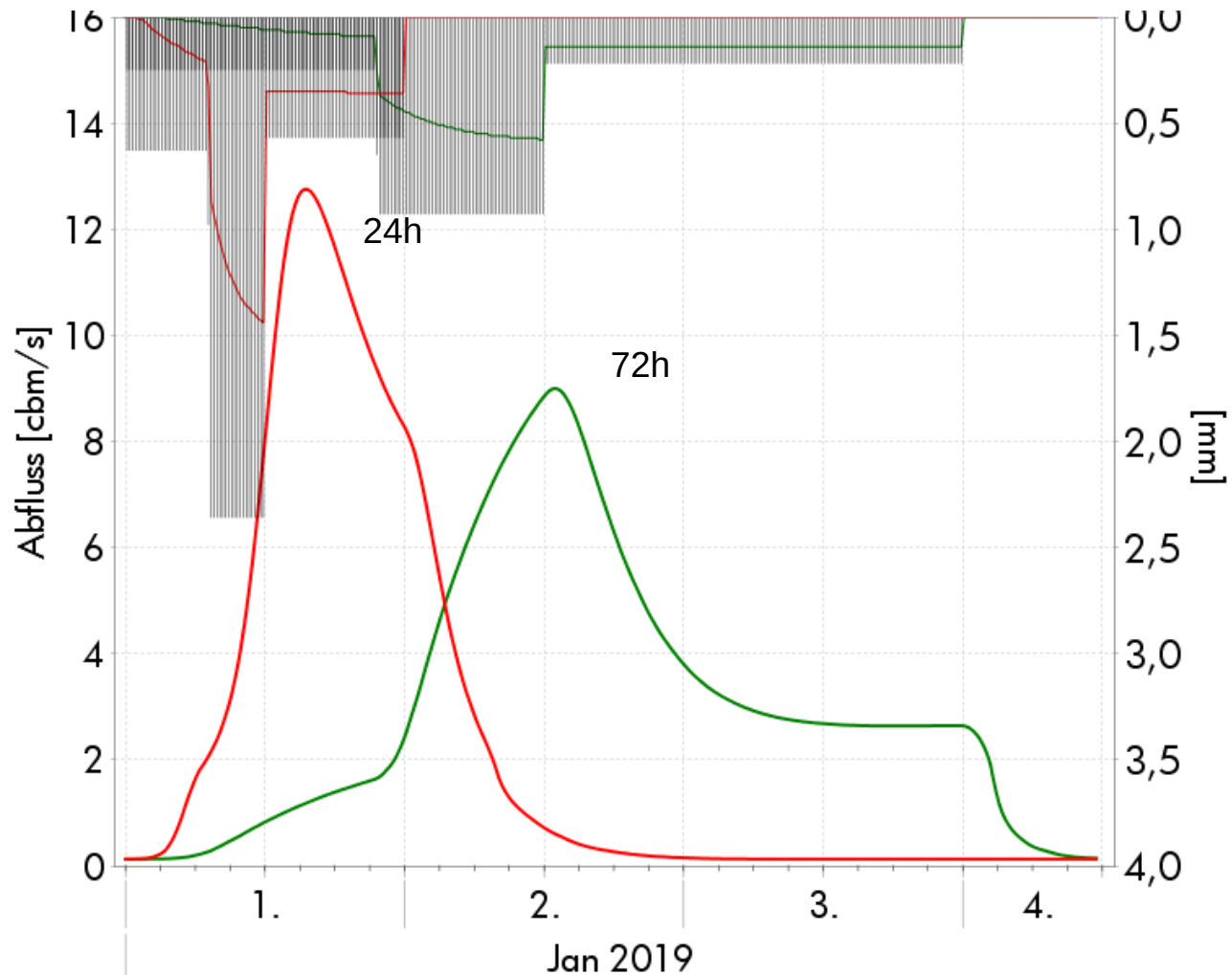
Zeitvariantes Lutz-Verfahren



Bemessung in LARSIM

Beispiel: Umsetzung der Bemessungsniederschläge im LARSIM-NA:

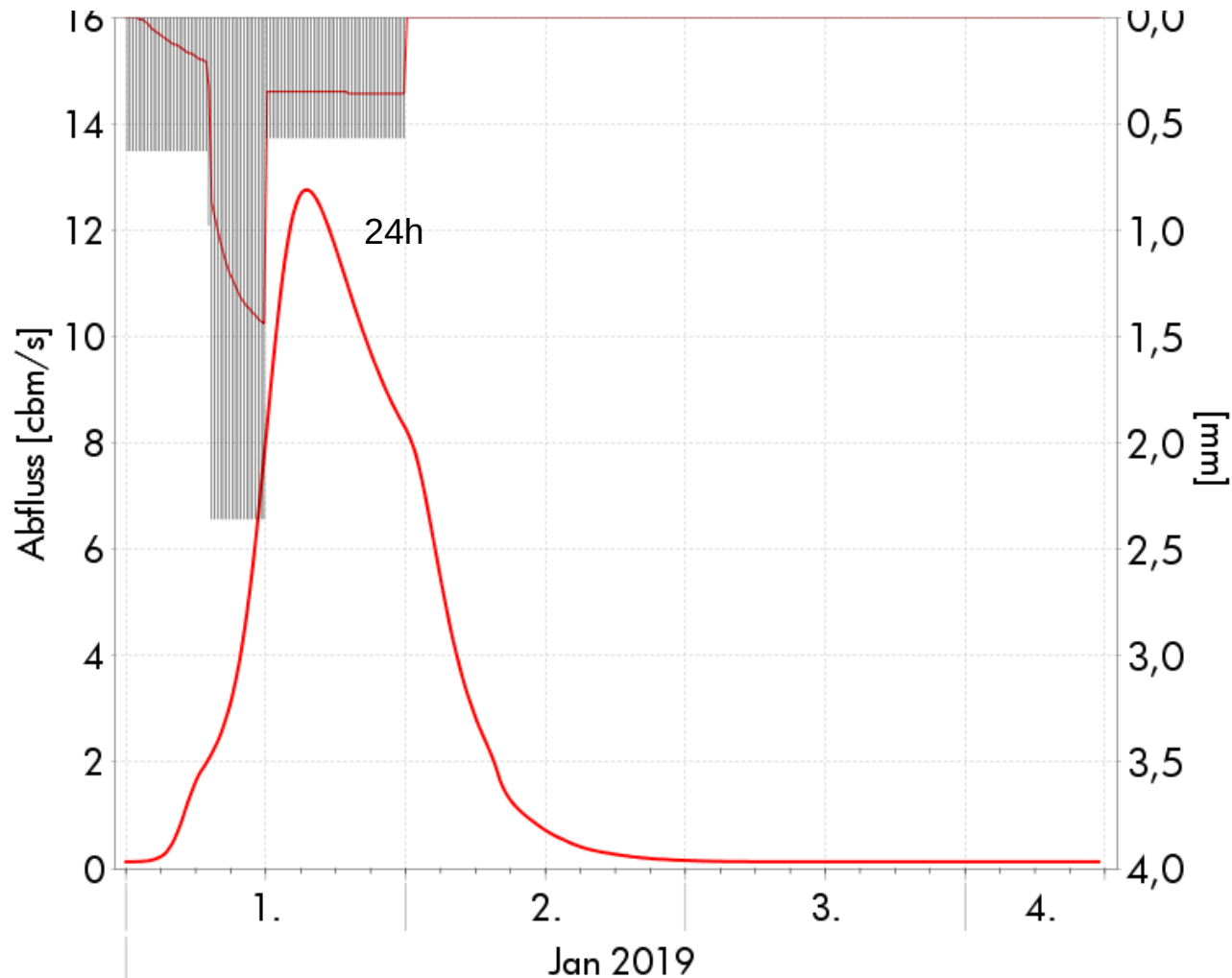
Zeitvariantes Lutz-Verfahren



Bemessung in LARSIM

Beispiel: Umsetzung der Bemessungsniederschläge im LARSIM-NA:

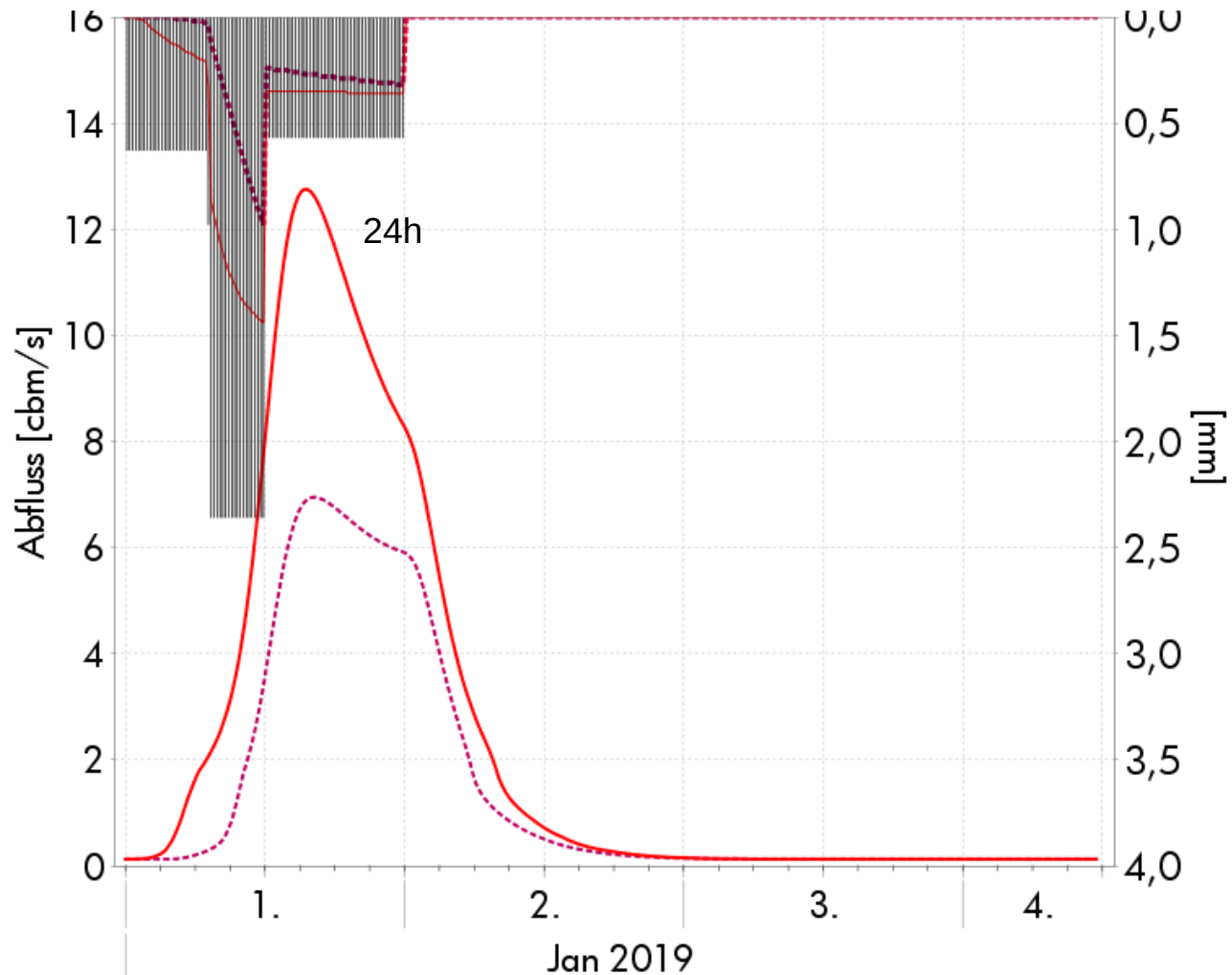
Zeitvariantes Lutz-Verfahren



Bemessung in LARSIM

Beispiel: Umsetzung der Bemessungsniederschläge im LARSIM-NA:

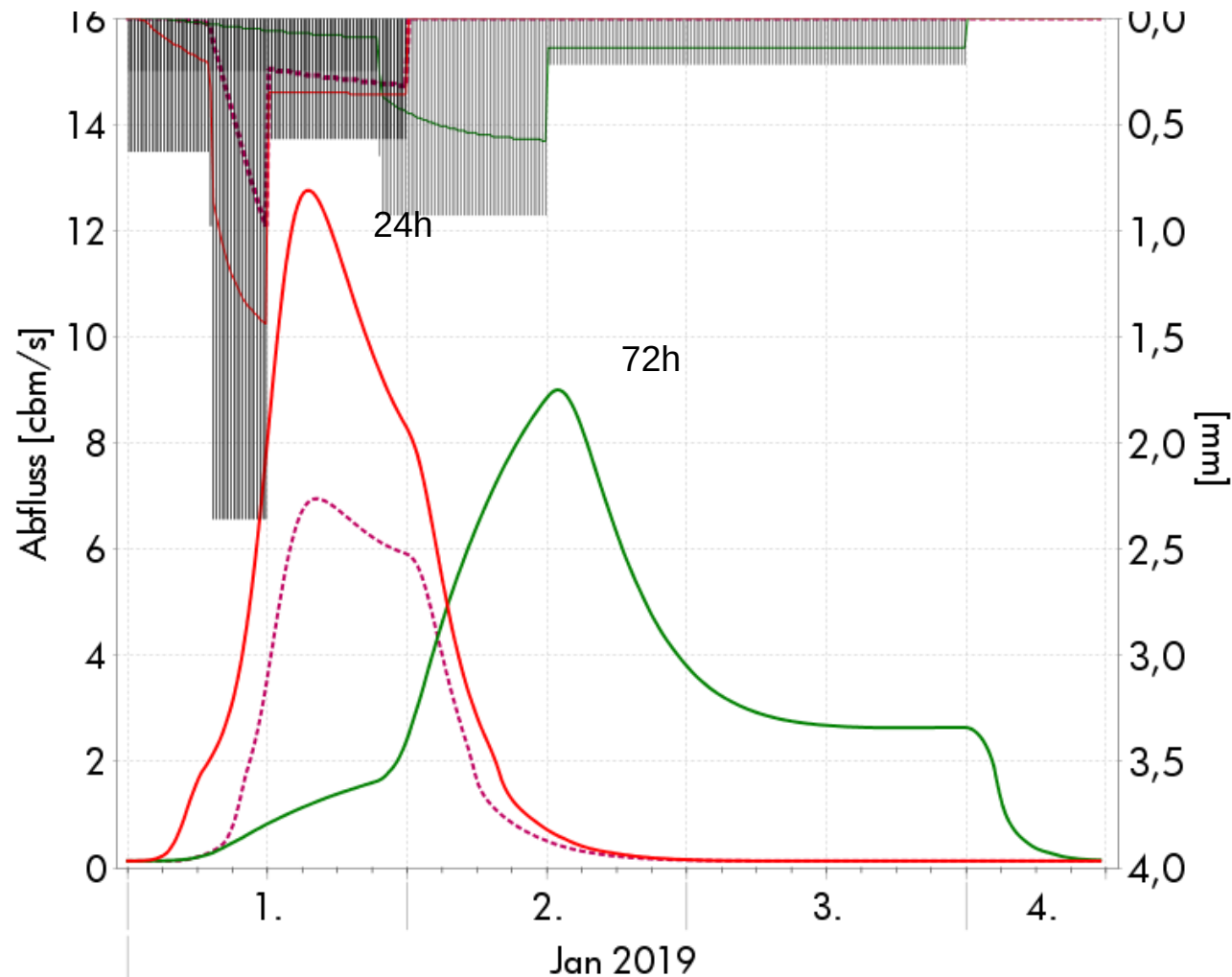
Zeitvariantes Lutz-Verfahren und SCS-Verfahren



Bemessung in LARSIM

Beispiel: Umsetzung der Bemessungsniederschläge im LARSIM-NA:

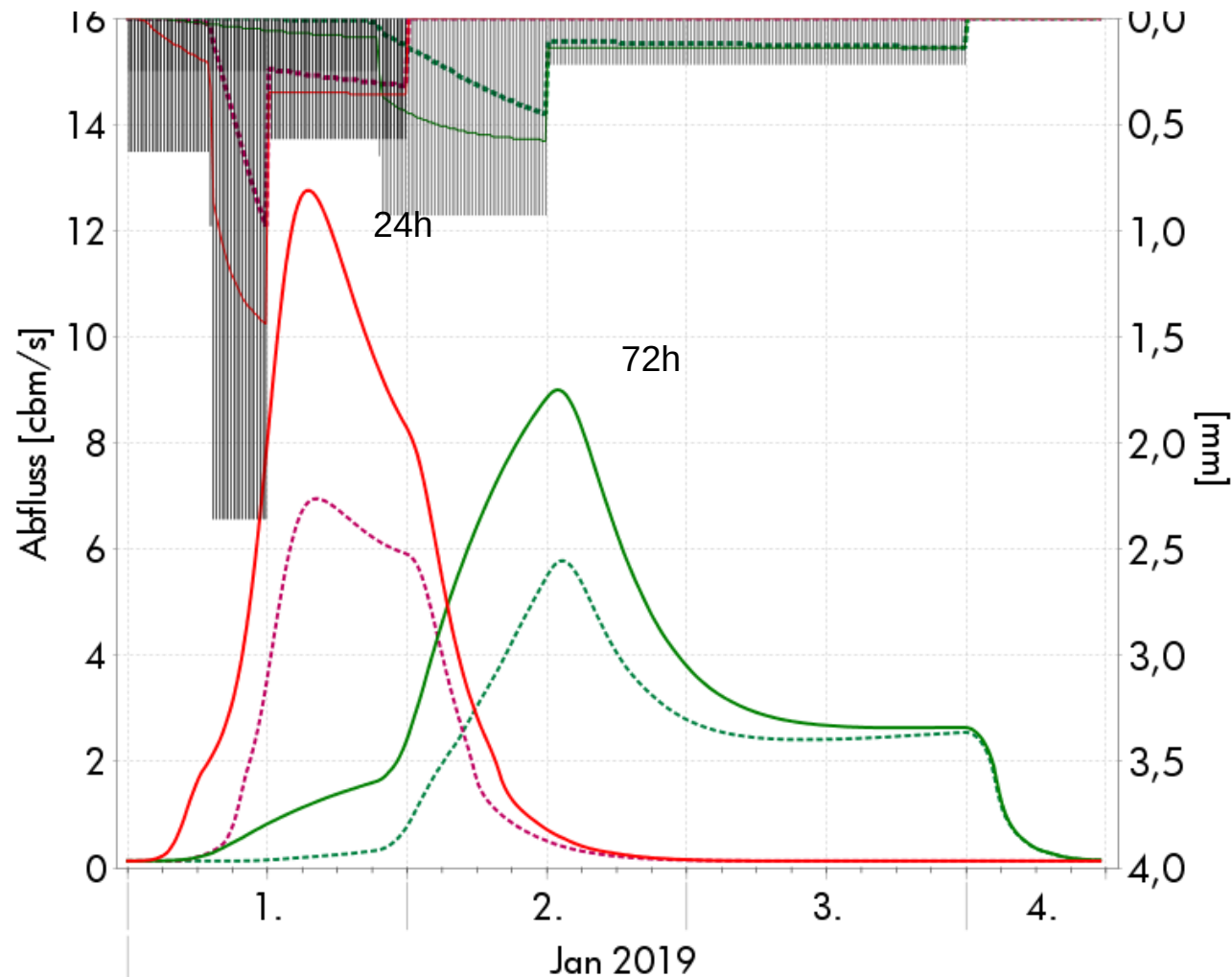
Zeitvariantes Lutz-Verfahren und SCS-Verfahren



Bemessung in LARSIM

Beispiel: Umsetzung der Bemessungsniederschläge im LARSIM-NA:

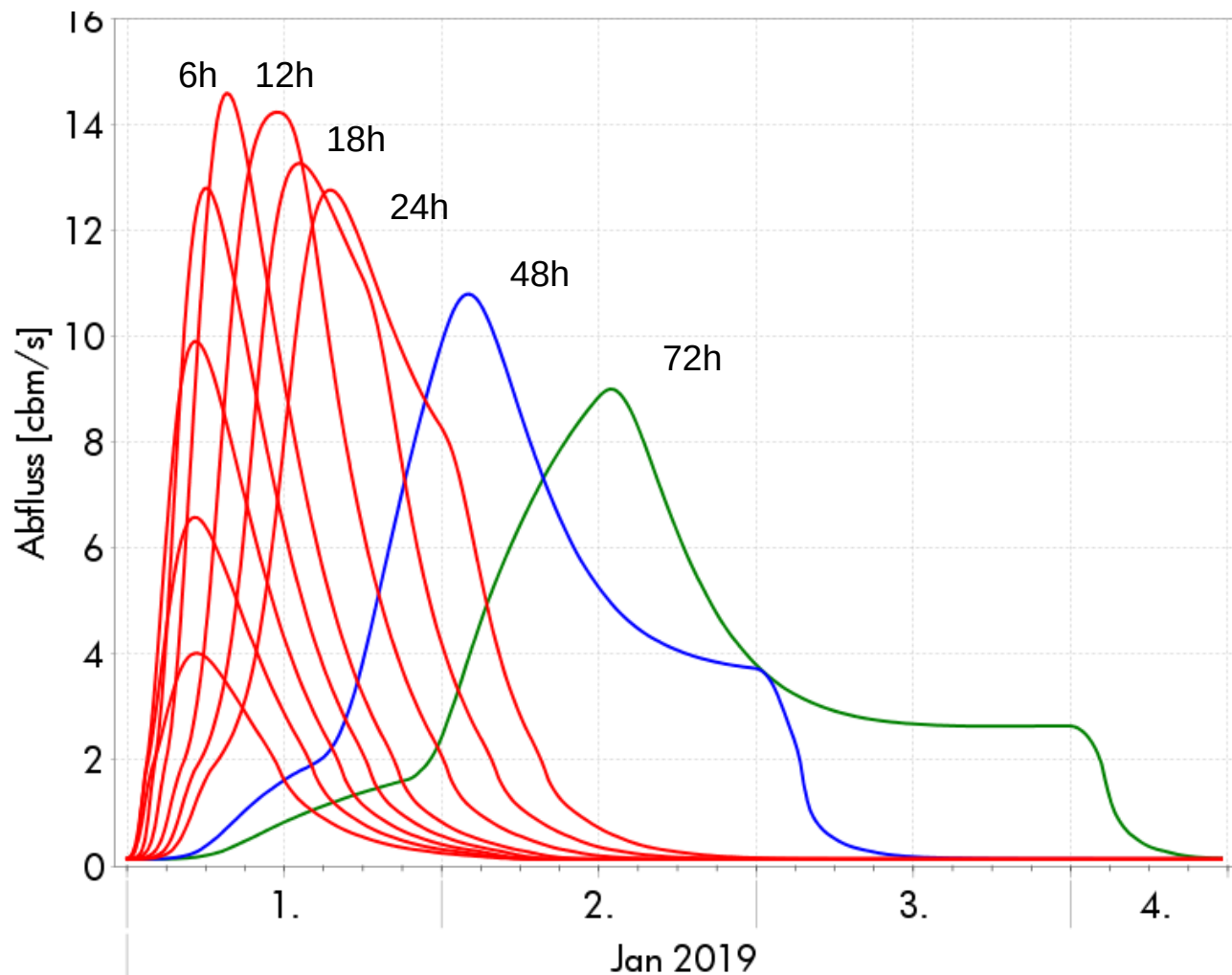
Zeitvariantes Lutz-Verfahren und SCS-Verfahren



Bemessung in LARSIM

Beispiel: Umsetzung der Bemessungsniederschläge im LARSIM-NA:

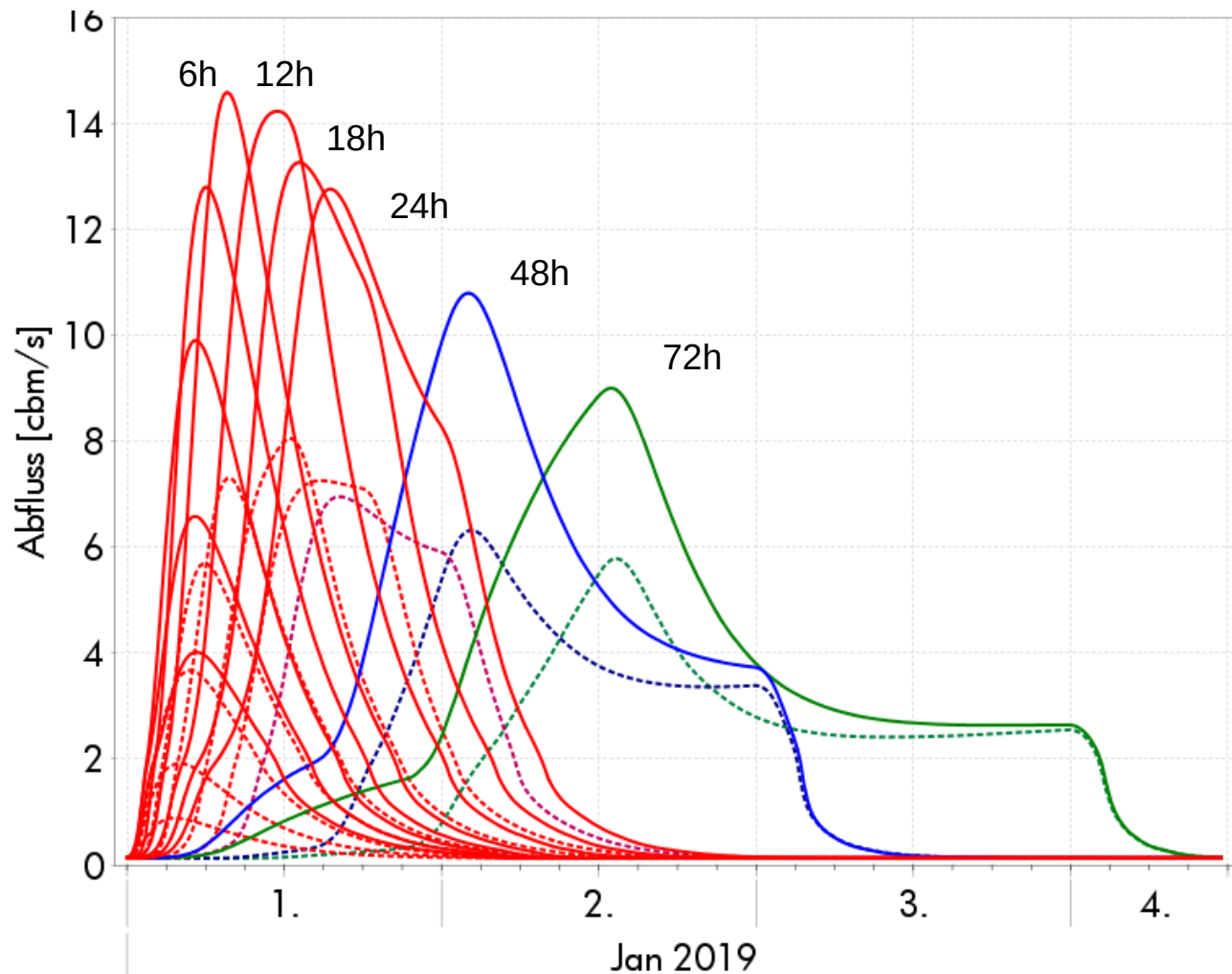
Zeitvariantes Lutz-Verfahren



Bemessung in LARSIM

Beispiel: Umsetzung der Bemessungsniederschläge im LARSIM-NA:

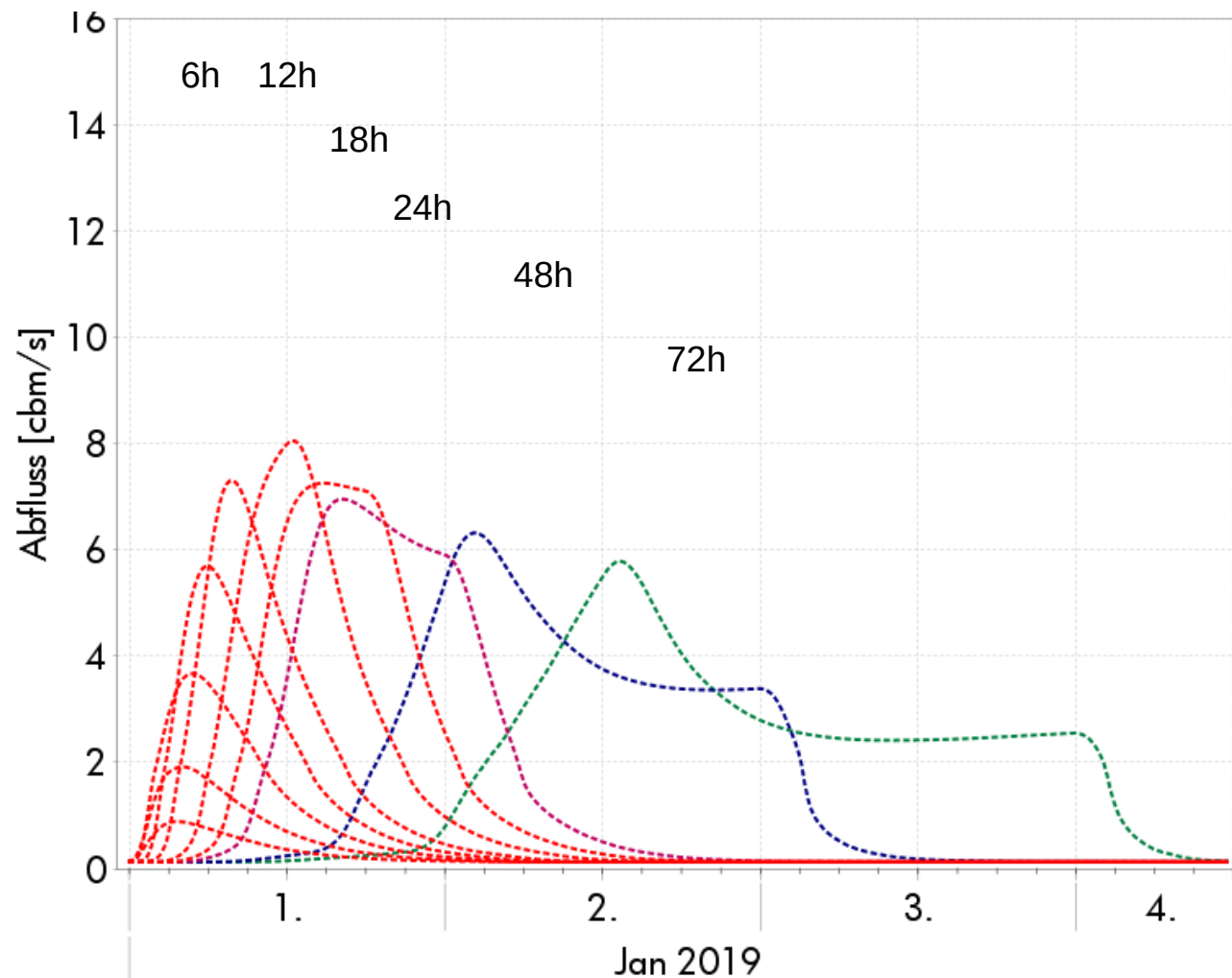
Zeitvariantes Lutz-Verfahren und SCS-Verfahren



Bemessung in LARSIM

Beispiel: Umsetzung der Bemessungsniederschläge im LARSIM-NA:

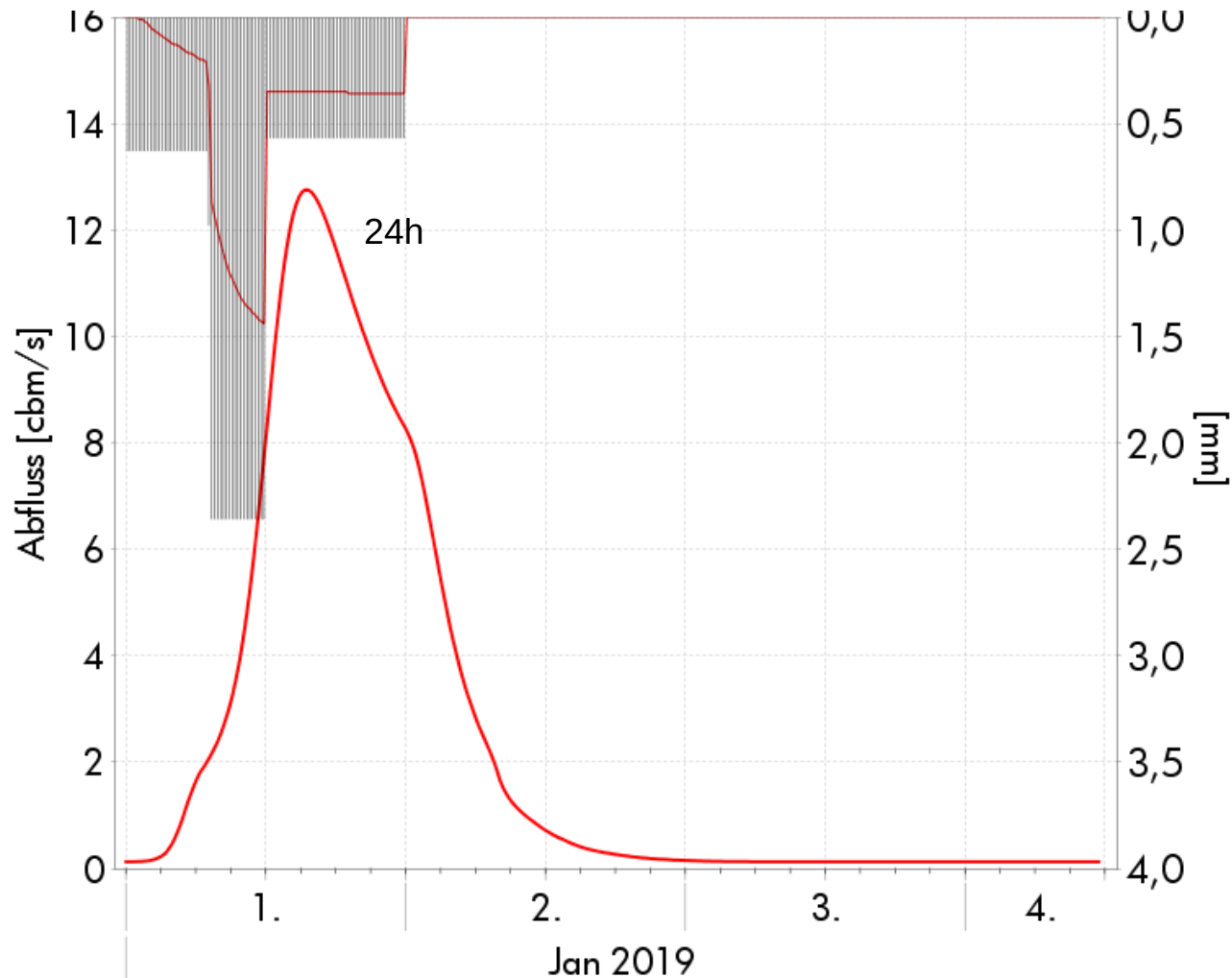
Zeitvariantes SCS-Verfahren



Bemessung in LARSIM

Beispiel: Umsetzung der Bemessungsniederschläge im LARSIM-NA:

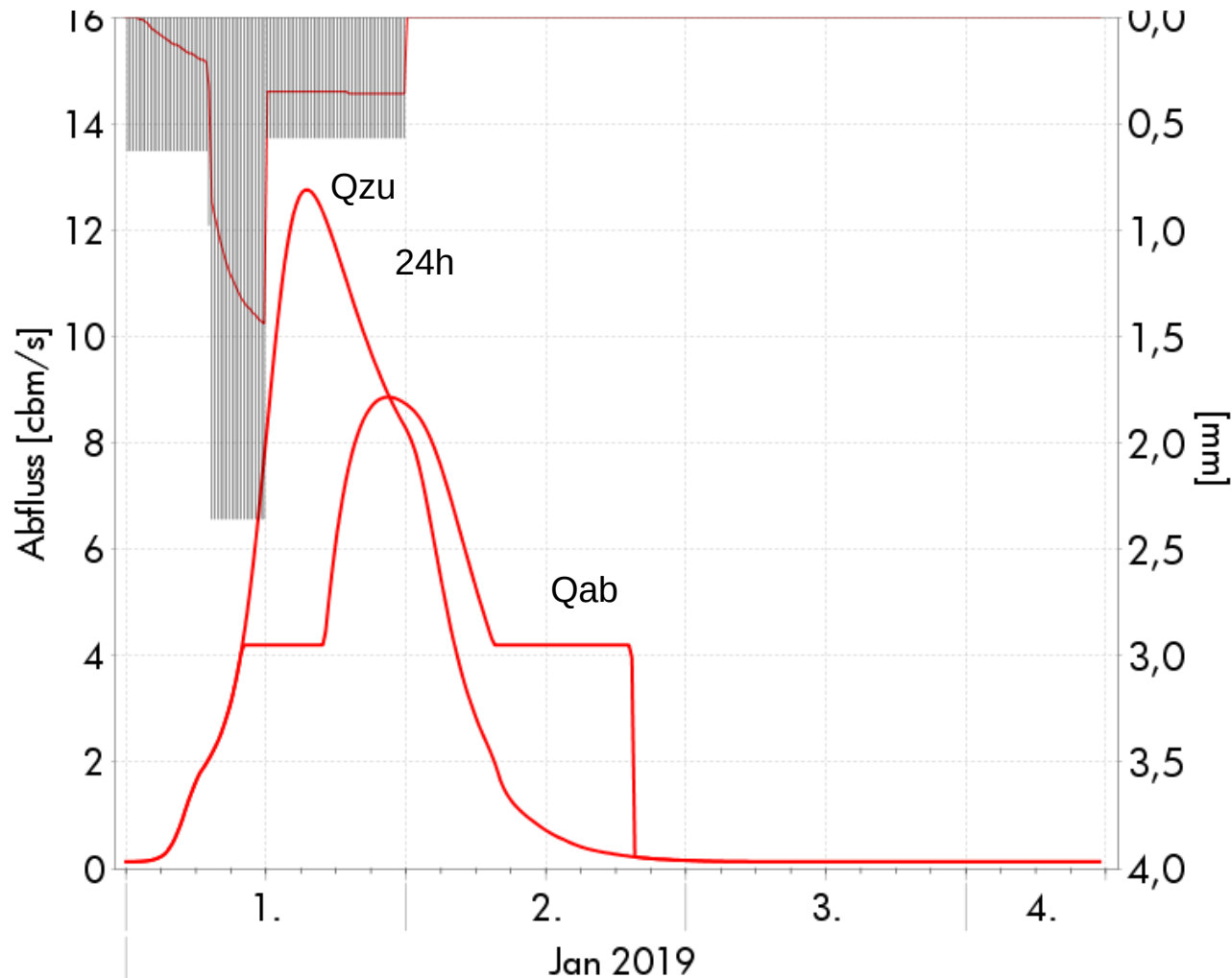
Zeitvariantes Lutz-Verfahren



Bemessung in LARSIM

Beispiel: Umsetzung der Bemessungsniederschläge im LARSIM-NA:

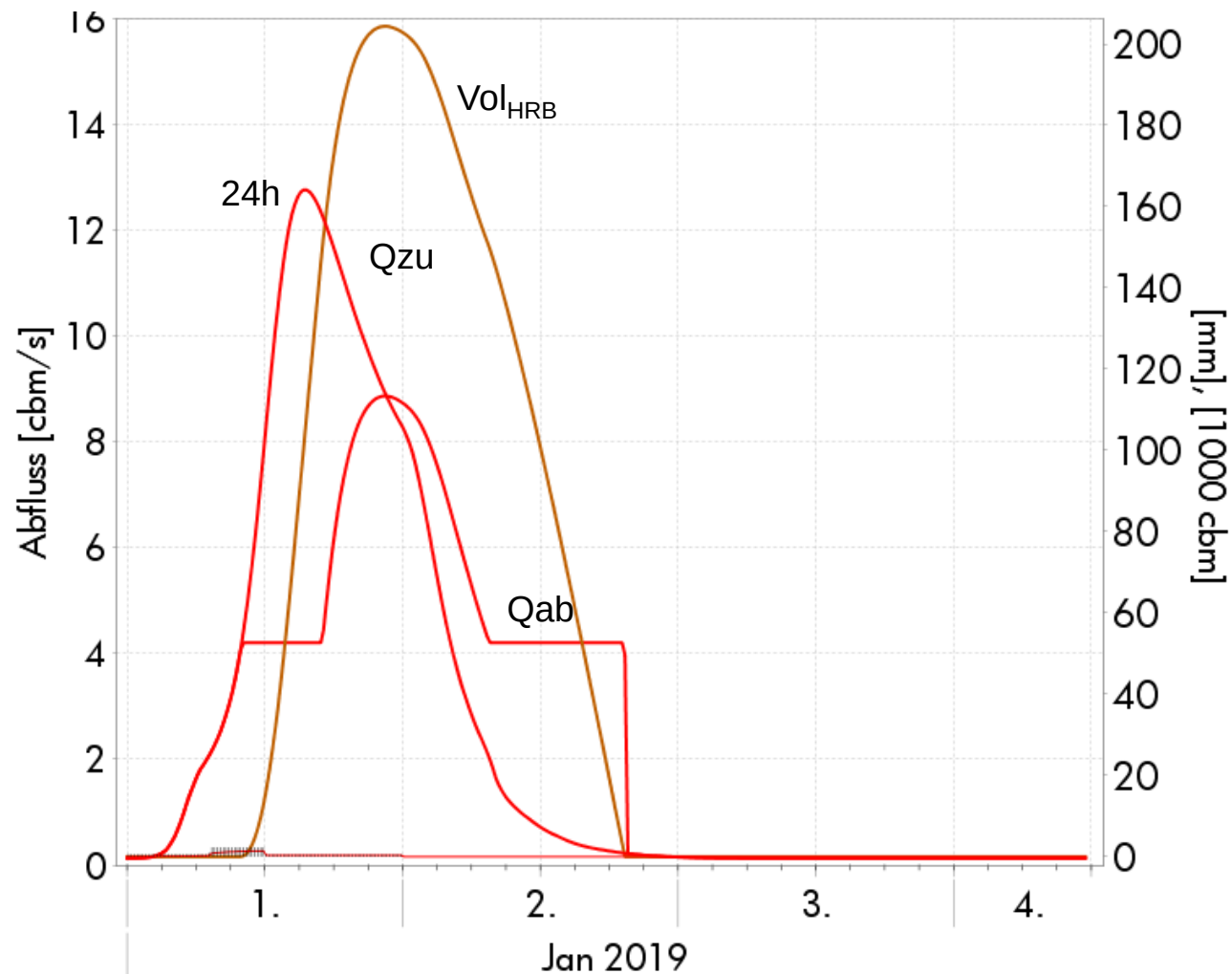
Zeitvariantes Lutz-Verfahren, mit Rückhaltebecken



Bemessung in LARSIM

Beispiel: Umsetzung der Bemessungsniederschläge im LARSIM-NA:

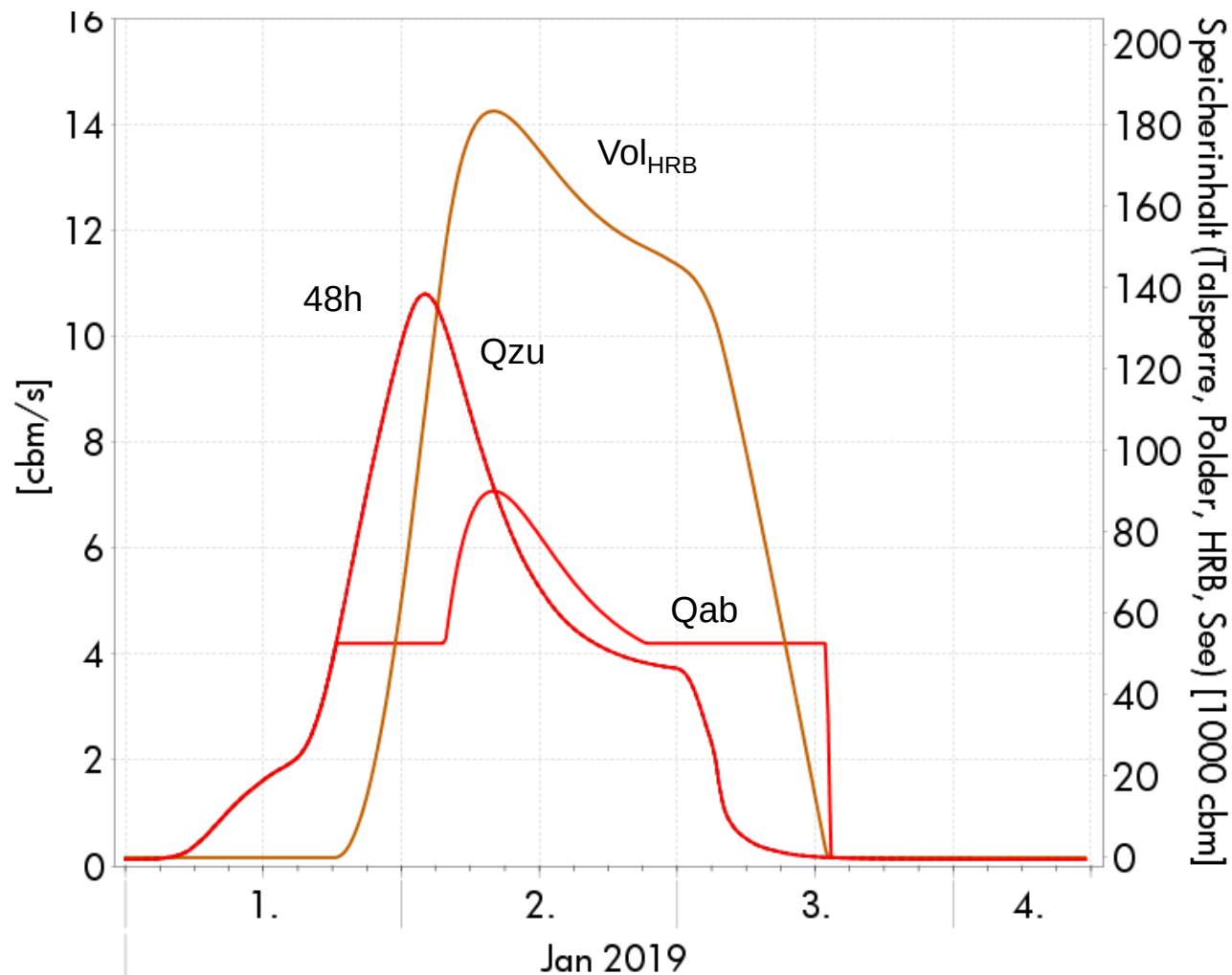
Zeitvariantes Lutz-Verfahren, mit Rückhaltebecken



Bemessung in LARSIM

Beispiel: Umsetzung der Bemessungsniederschläge im LARSIM-NA:

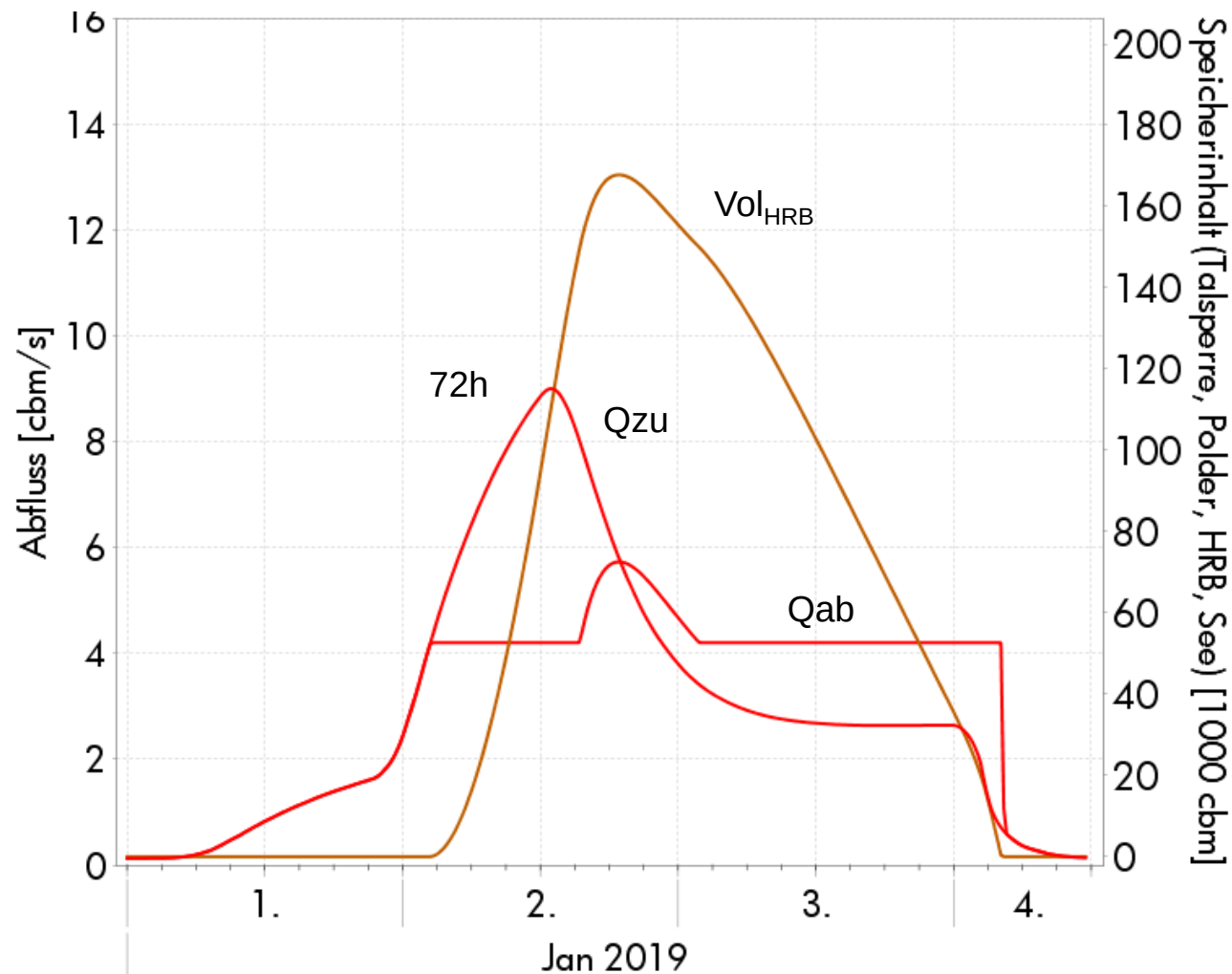
Zeitvariantes Lutz-Verfahren, mit Rückhaltebecken



Bemessung in LARSIM

Beispiel: Umsetzung der Bemessungsniederschläge im LARSIM-NA:

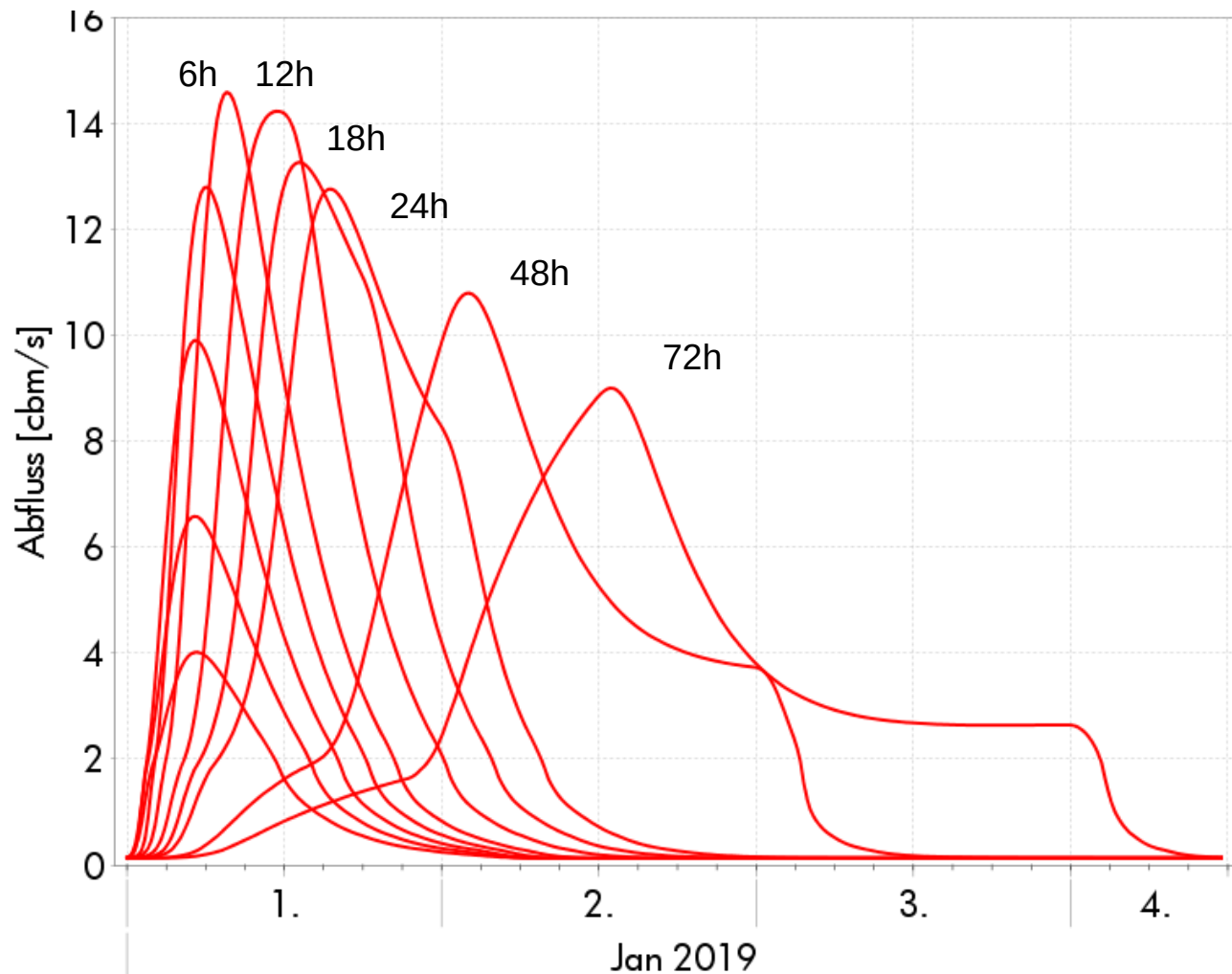
Zeitvariantes Lutz-Verfahren, mit Rückhaltebecken



Bemessung in LARSIM

Beispiel: Umsetzung der Bemessungsniederschläge im LARSIM-NA:

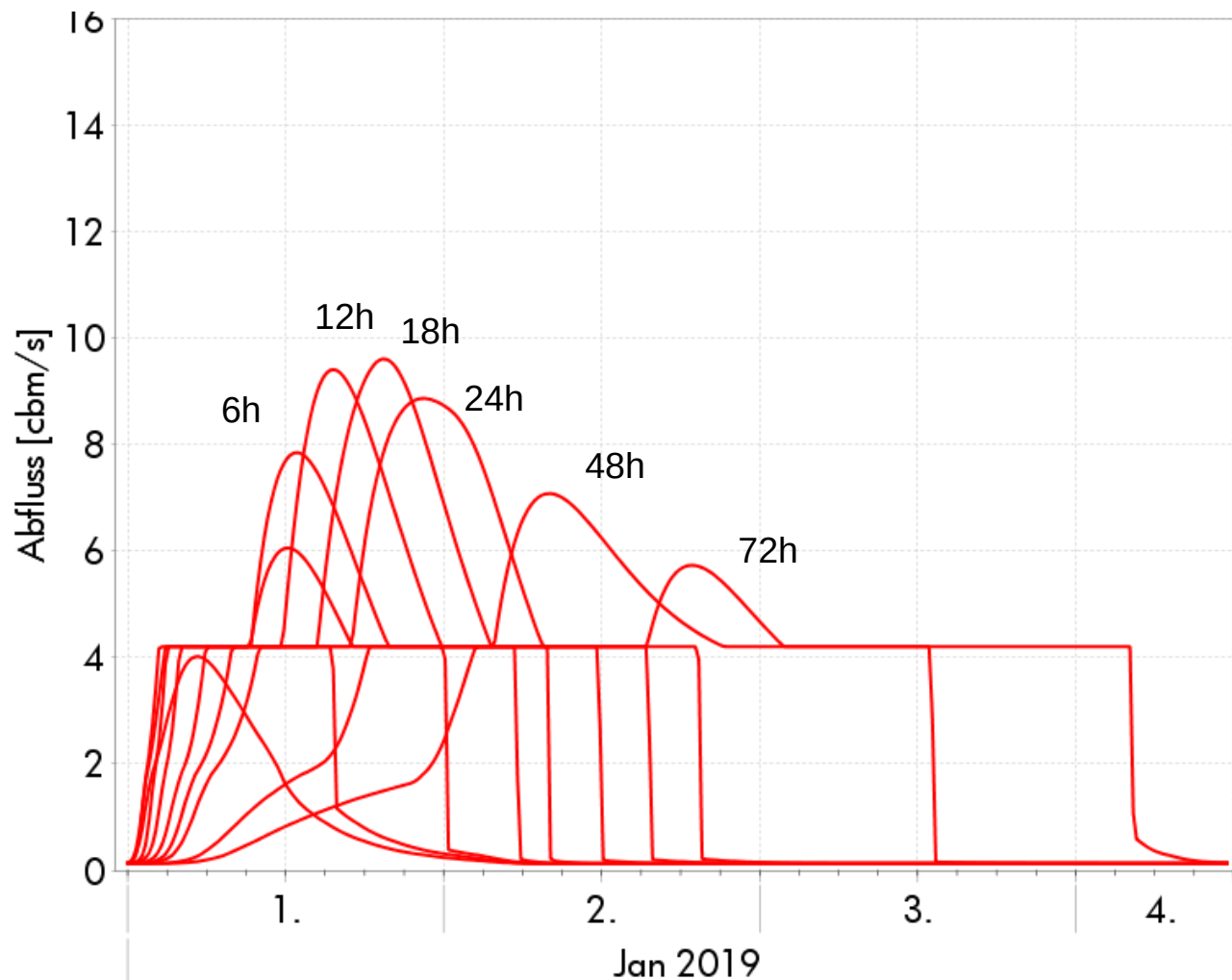
Zeitvariantes Lutz-Verfahren, ohne Rückhaltebecken



Bemessung in LARSIM

Beispiel: Umsetzung der Bemessungsniederschläge im LARSIM-NA:

Zeitvariantes Lutz-Verfahren, mit Rückhaltebecken



Literatur

- BLfU (2018): Hydrologische Planungsgrundlagen. Loseblattsammlung. Version 4.0 (10/2018). Bayerisches Landesamt für Umwelt
- Ihringer, J. (2019): Vorlesung Hydrologie – Niederschlags-Abfluss-Modell. Vorlesungsunterlagen, KIT, Institut für Wasser und Gewässerentwicklung