

## Grundlagen der hydrologischen Modellierung mit dem Wasserhaushaltsmodell LARSIM

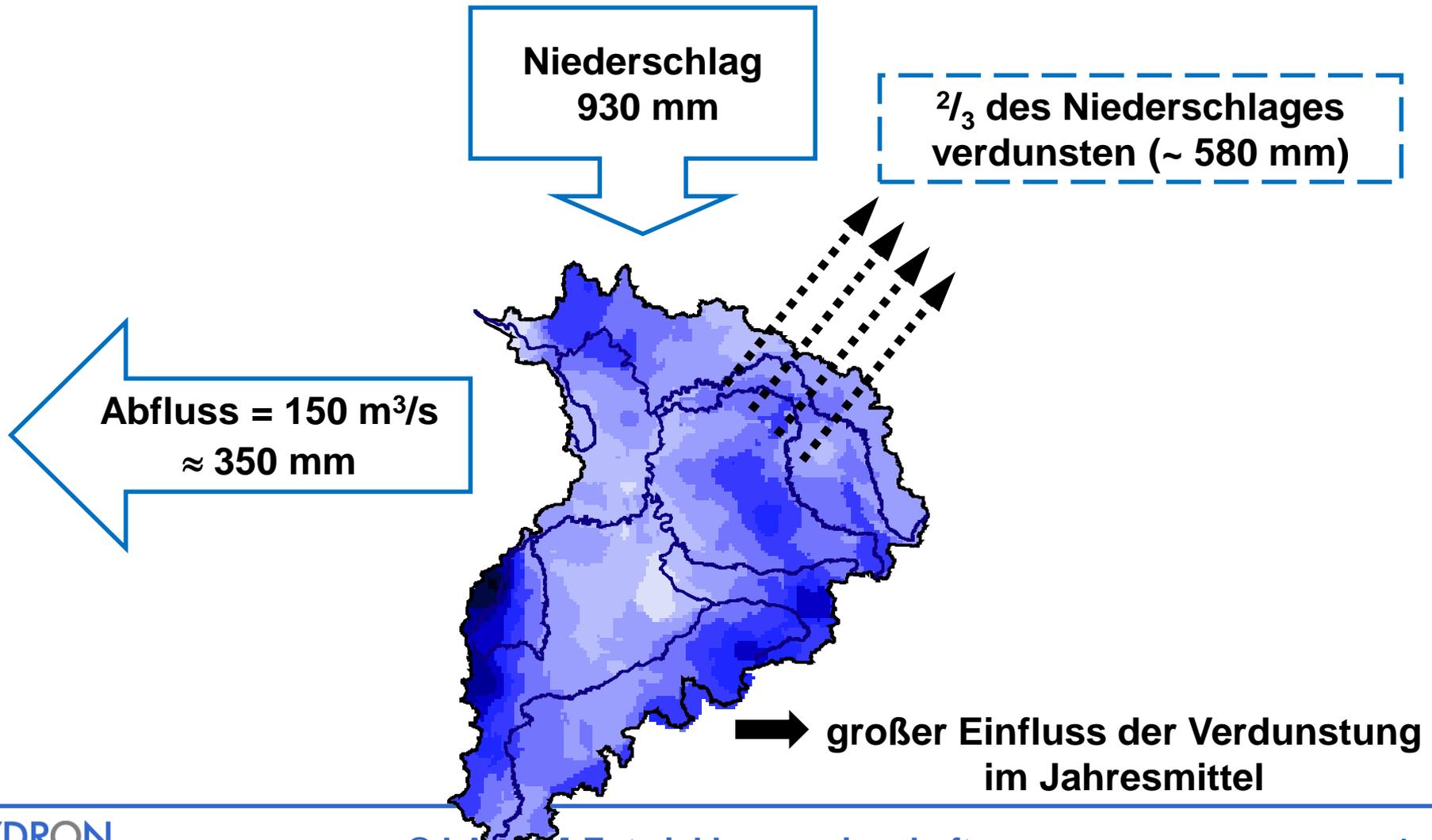
Dr.-Ing. Kai Gerlinger

HYDRON Ingenieurgesellschaft für Umwelt und Wasserwirtschaft

Juni 2020

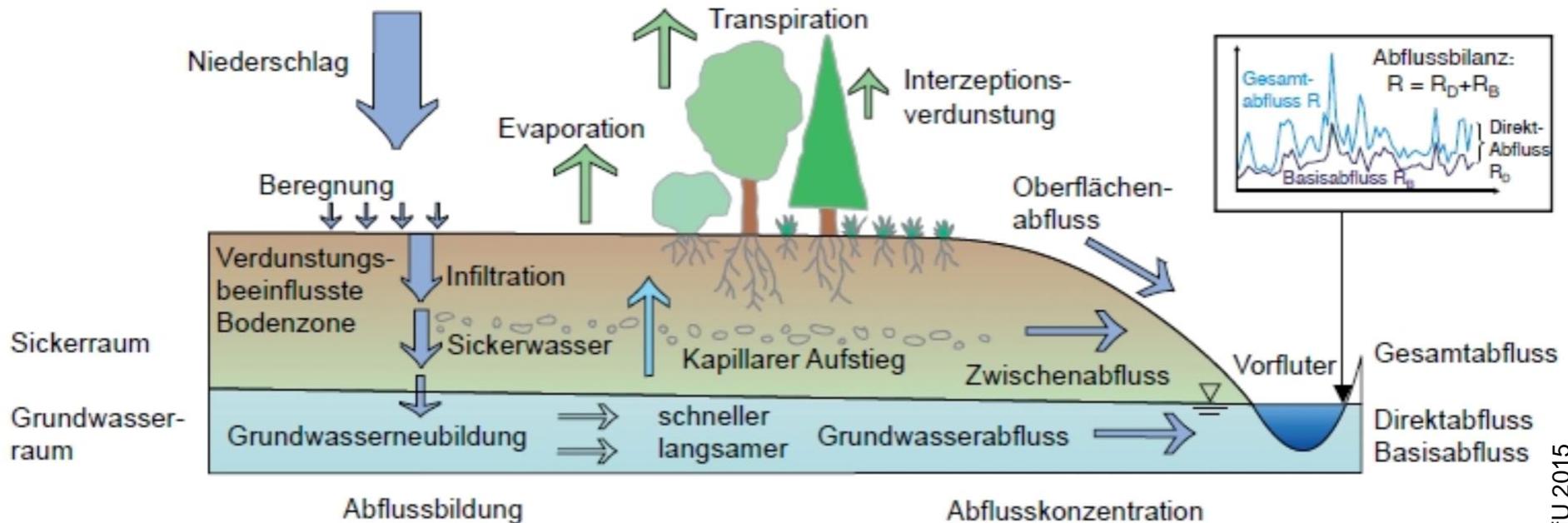
# Grundlagen des Wasserhaushaltsmodells

## Wasserhaushalt Neckargebiet:



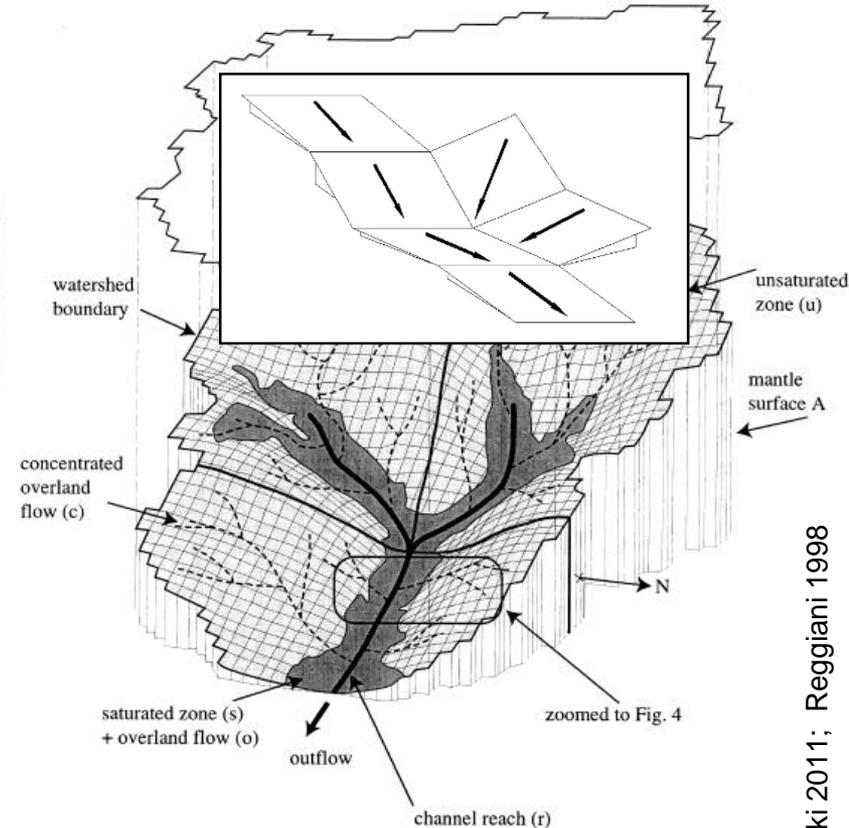
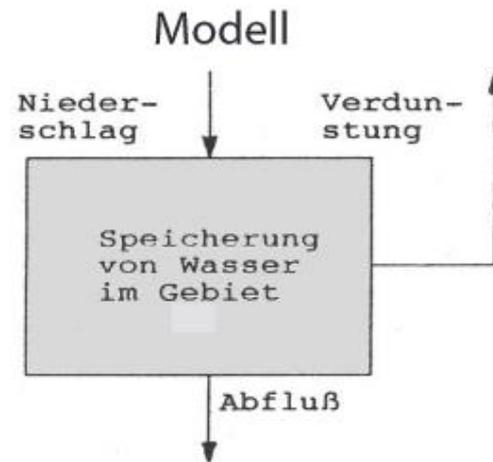
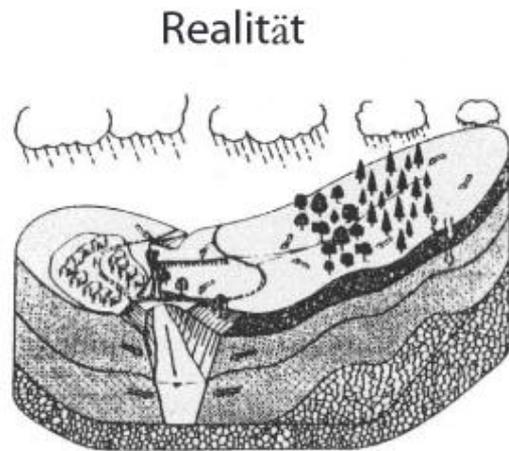
# Grundlagen des Wasserhaushaltsmodells

**Wasserhaushaltsmodellierung:** Simulation des terrestrischen Wasserkreislaufs mit seinen (relevanten) Komponenten

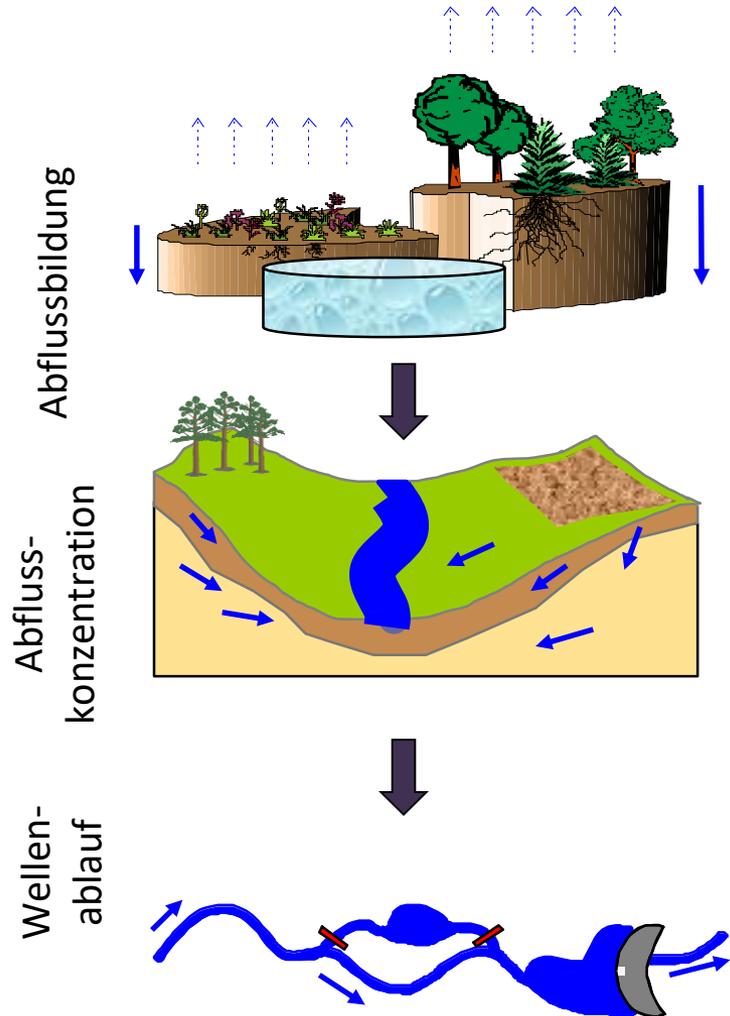


LfU 2015

# Grundlagen des Wasserhaushaltsmodells



# Grundlagen des Wasserhaushaltsmodells



## Vegetation ↔ Boden

Interzeption, Infiltration, Bodenwasser, Sättigungsflächen, Direktabfluss, Interflow, GW-Neubildung, Verdunstung, Schnee

versiegelte Flächen, freie Wasserflächen

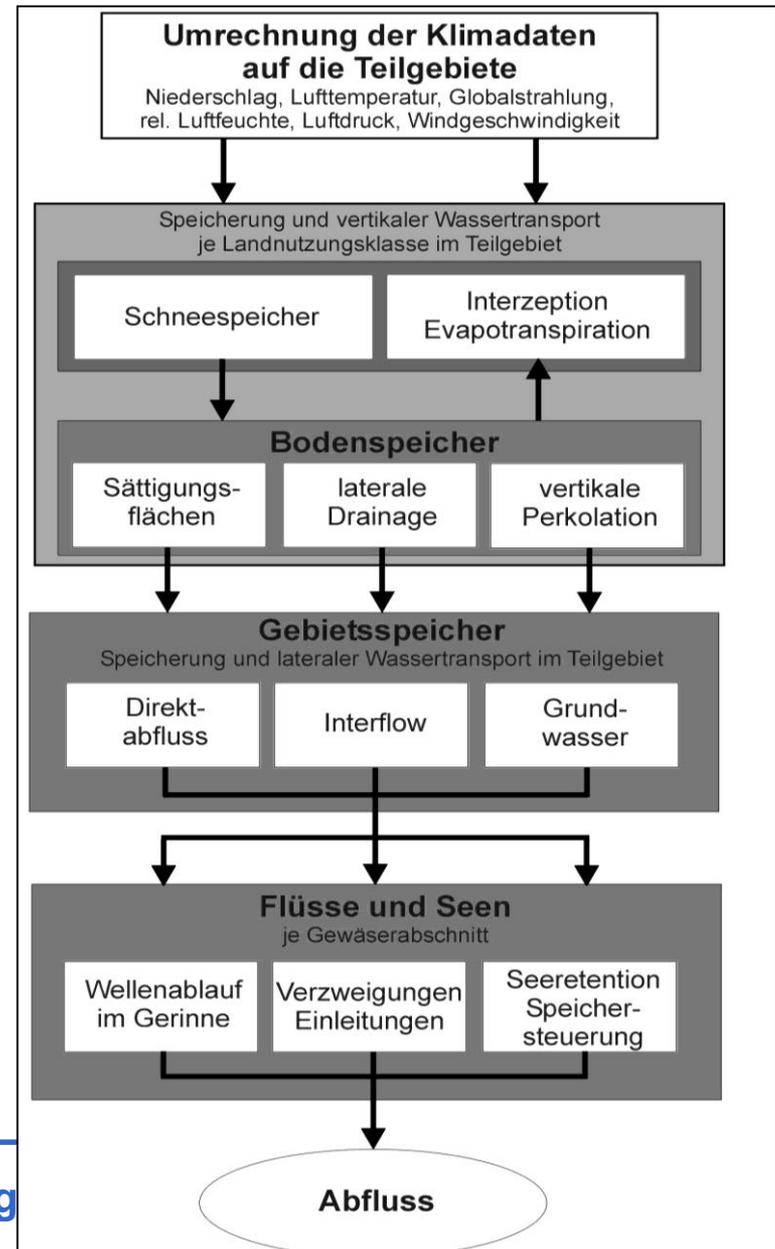
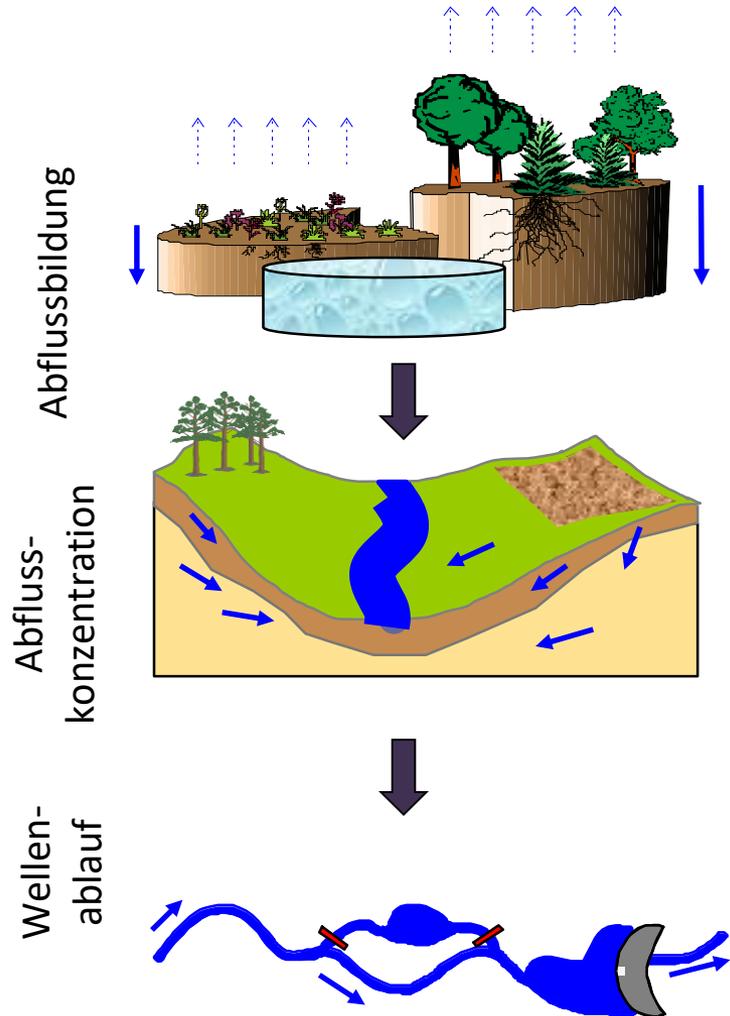
## Einzugsgebiet ⇒ Gewässer

Speicherung und laterale Wasserbewegung in der Fläche:  
Grundwasser, Interflow, Direktabfluss

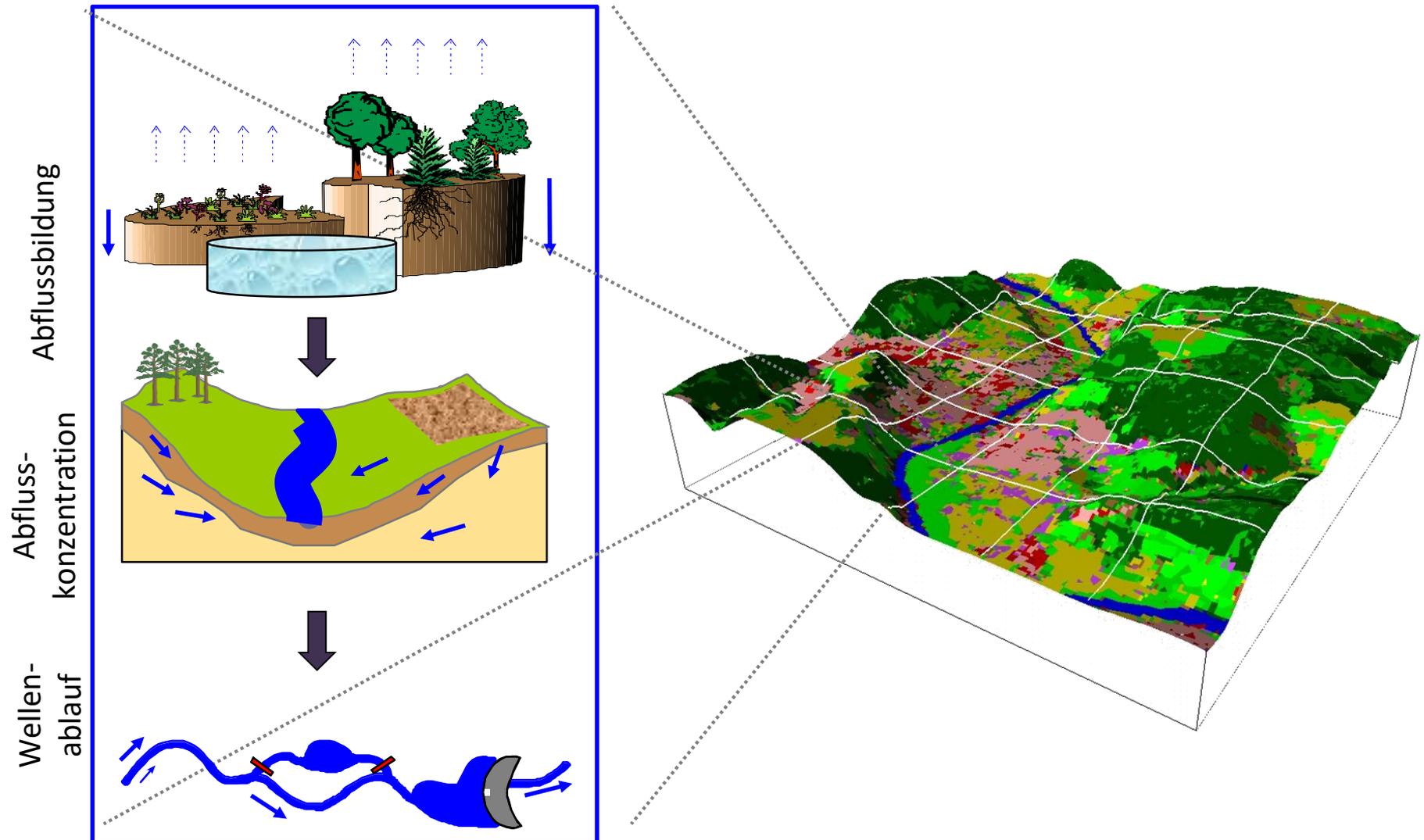
## Flussnetz, Seen

Translation und Retention im Gerinne,  
Retentionswirkung von Seen und Speicherbecken, Verzweigungen, Wasserein- und überleitungen

# Grundlagen des Wasserhaushaltsmodells

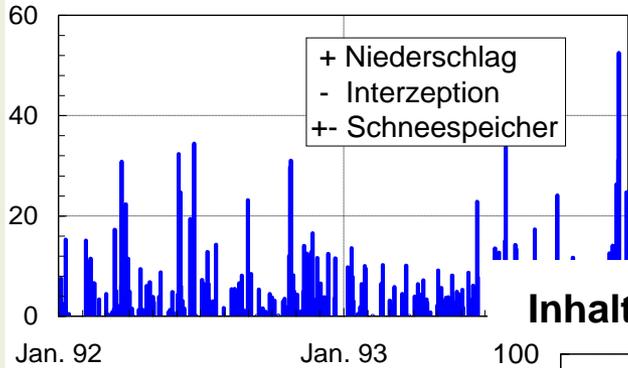


# Grundlagen des Wasserhaushaltsmodells

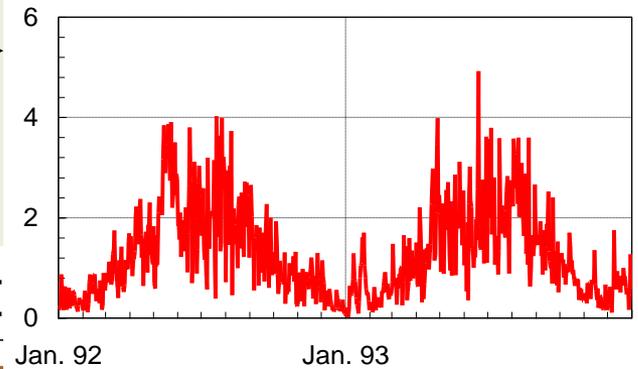


# Grundlagen des Wasserhaushaltsmodells

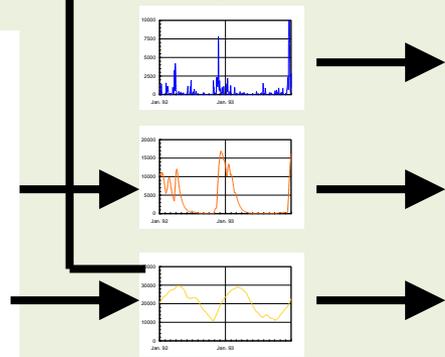
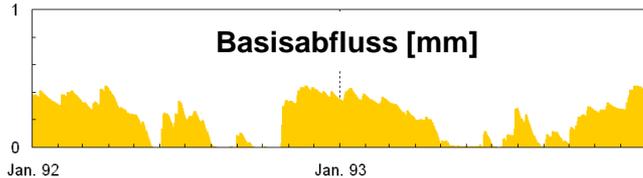
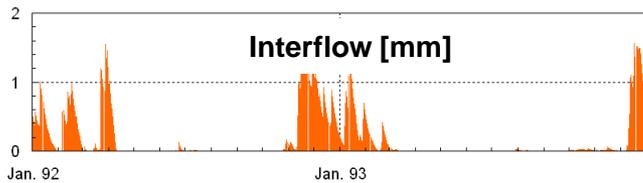
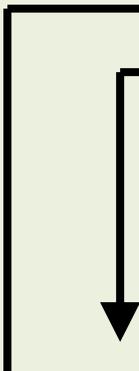
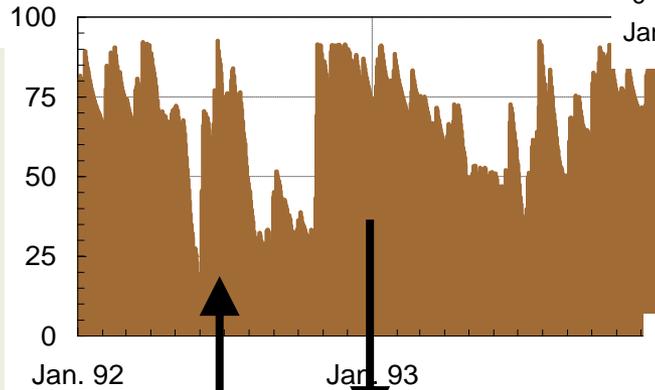
### Wasserdargebot zum Boden [mm]



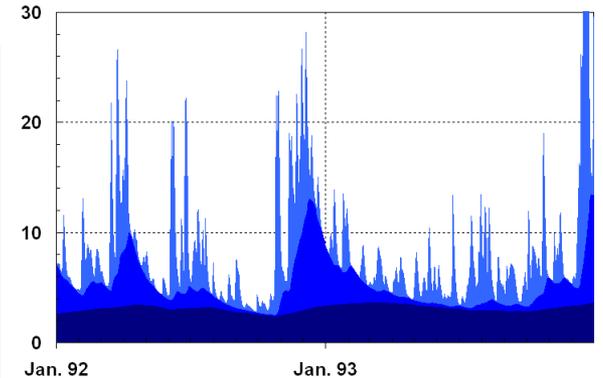
### aktuelle Evapotranspiration [mm]



### Inhalt Bodenwasserspeicher [mm]



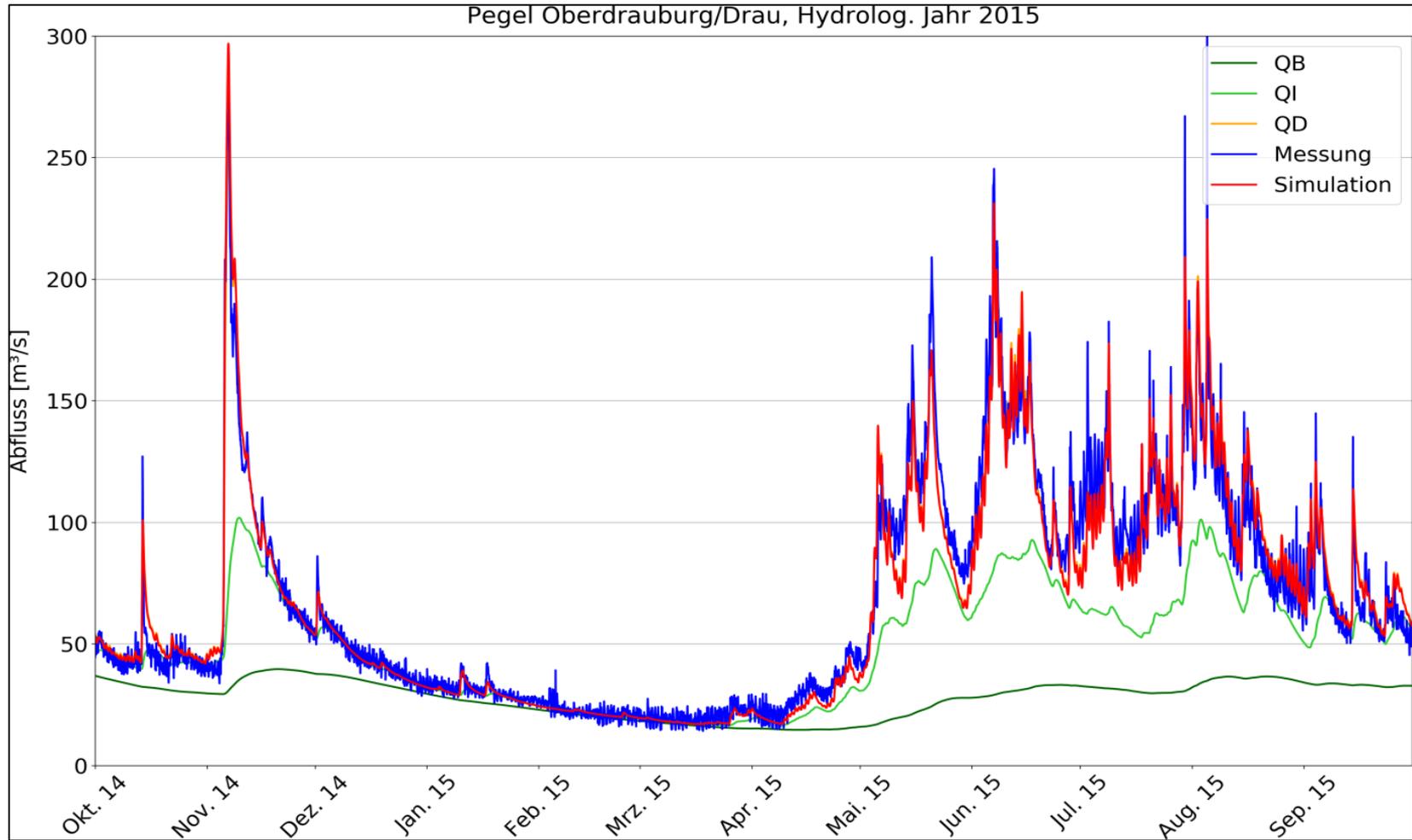
### Abfluss im Gerinne



**flächen- und zeitintegrierende  
Verifizierung !**

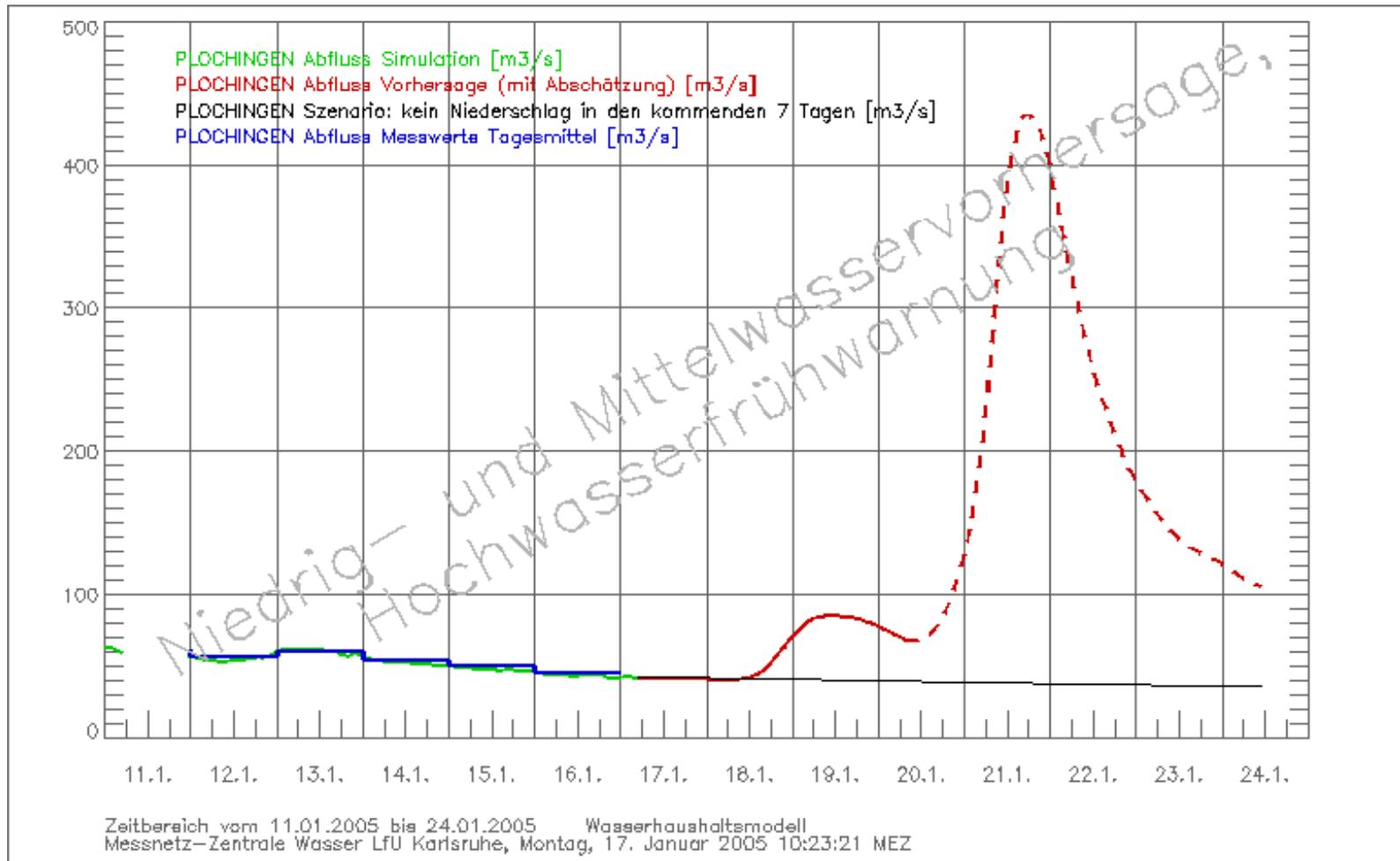
# Grundlagen des Wasserhaushaltsmodells

## Beispiel Berechnungsergebnisse WHM (Simulation):



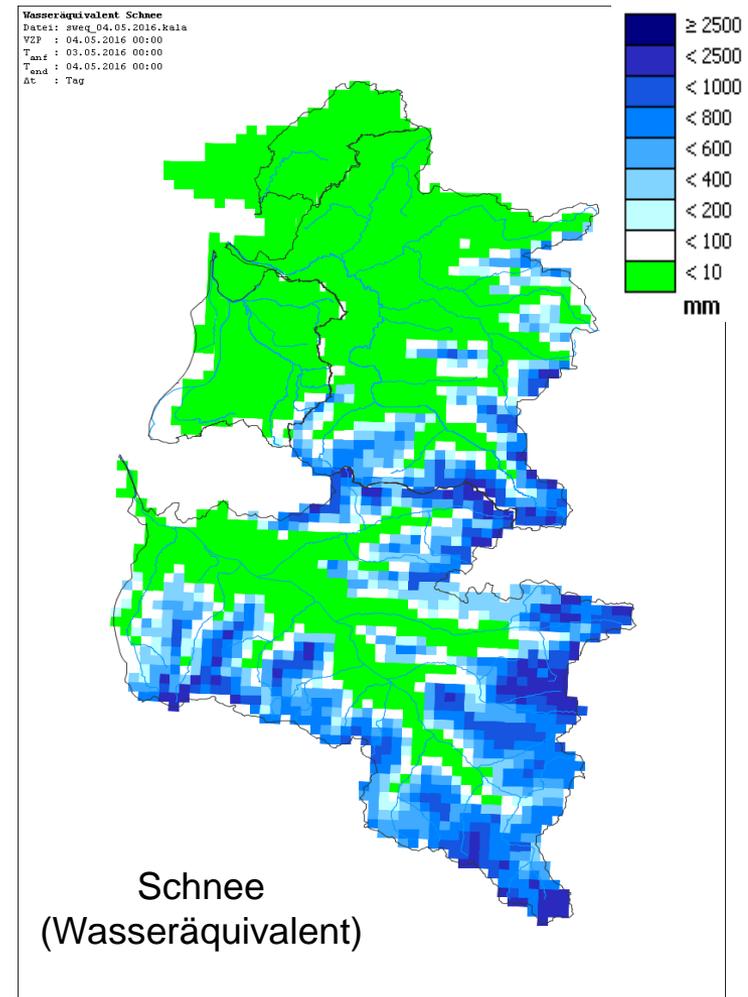
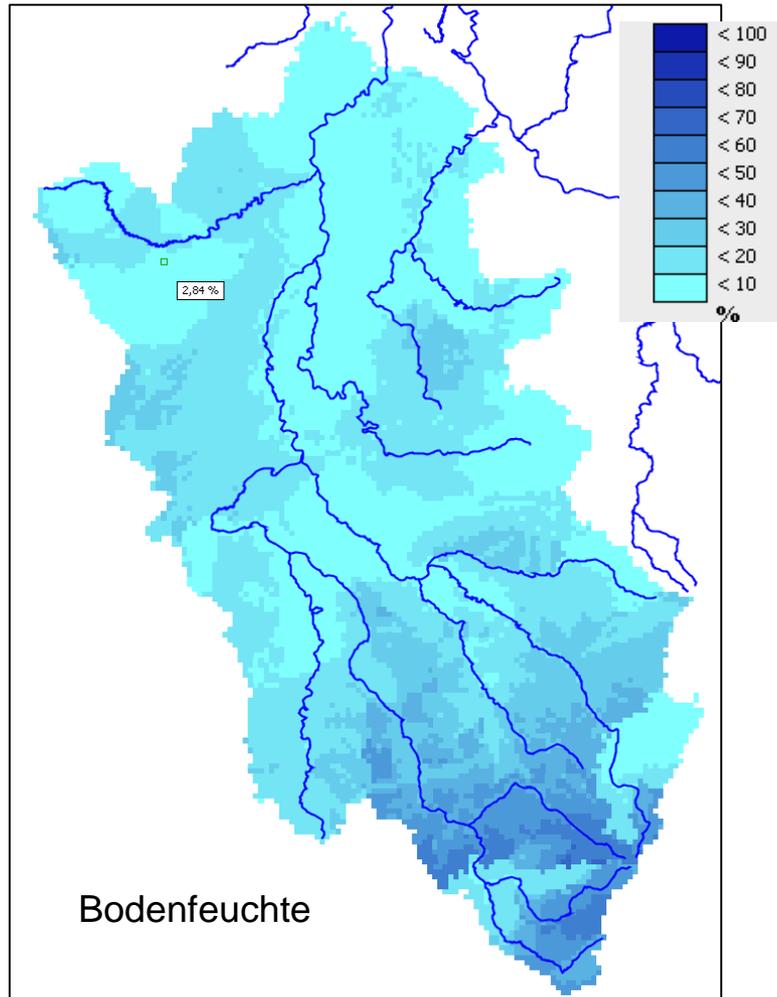
# Grundlagen des Wasserhaushaltsmodells

## Beispiel Berechnungsergebnisse WHM (operationelle Vorhersage):



# Grundlagen des Wasserhaushaltsmodells

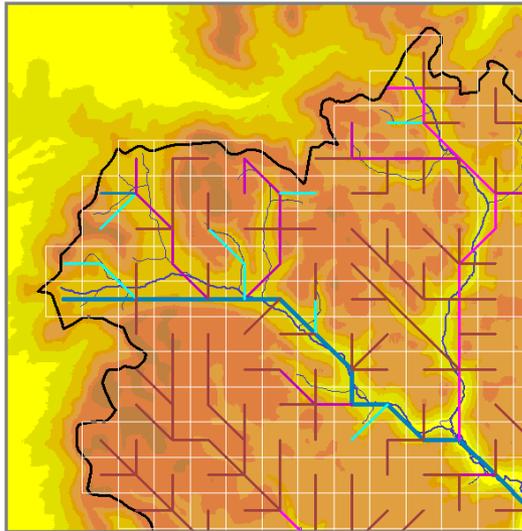
## Beispiel Berechnungsergebnisse WHM (operationelle Vorhersage):



# LARSIM Modellstruktur

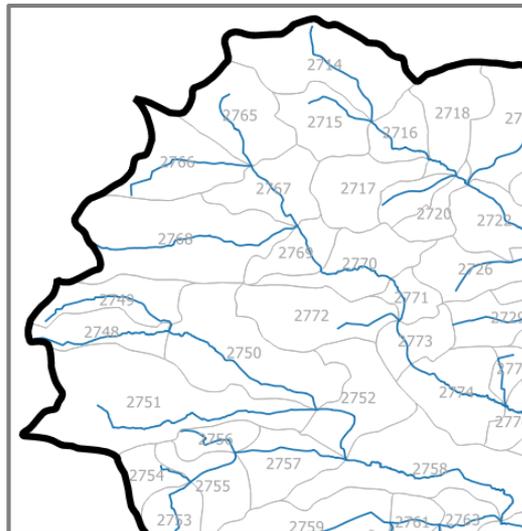
Beispiel TGB als

Raster



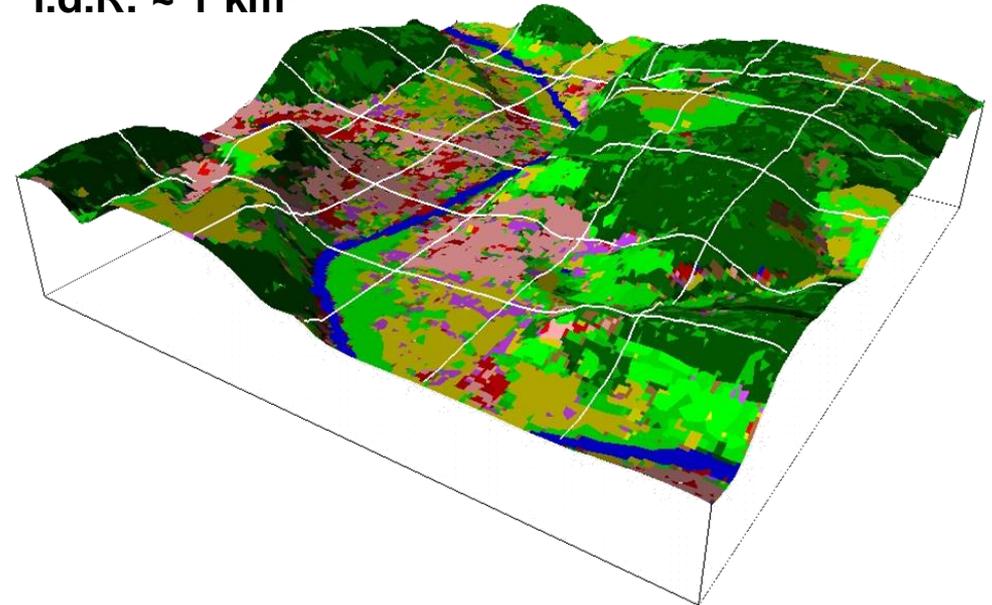
Beispiel TGB als

TEZG

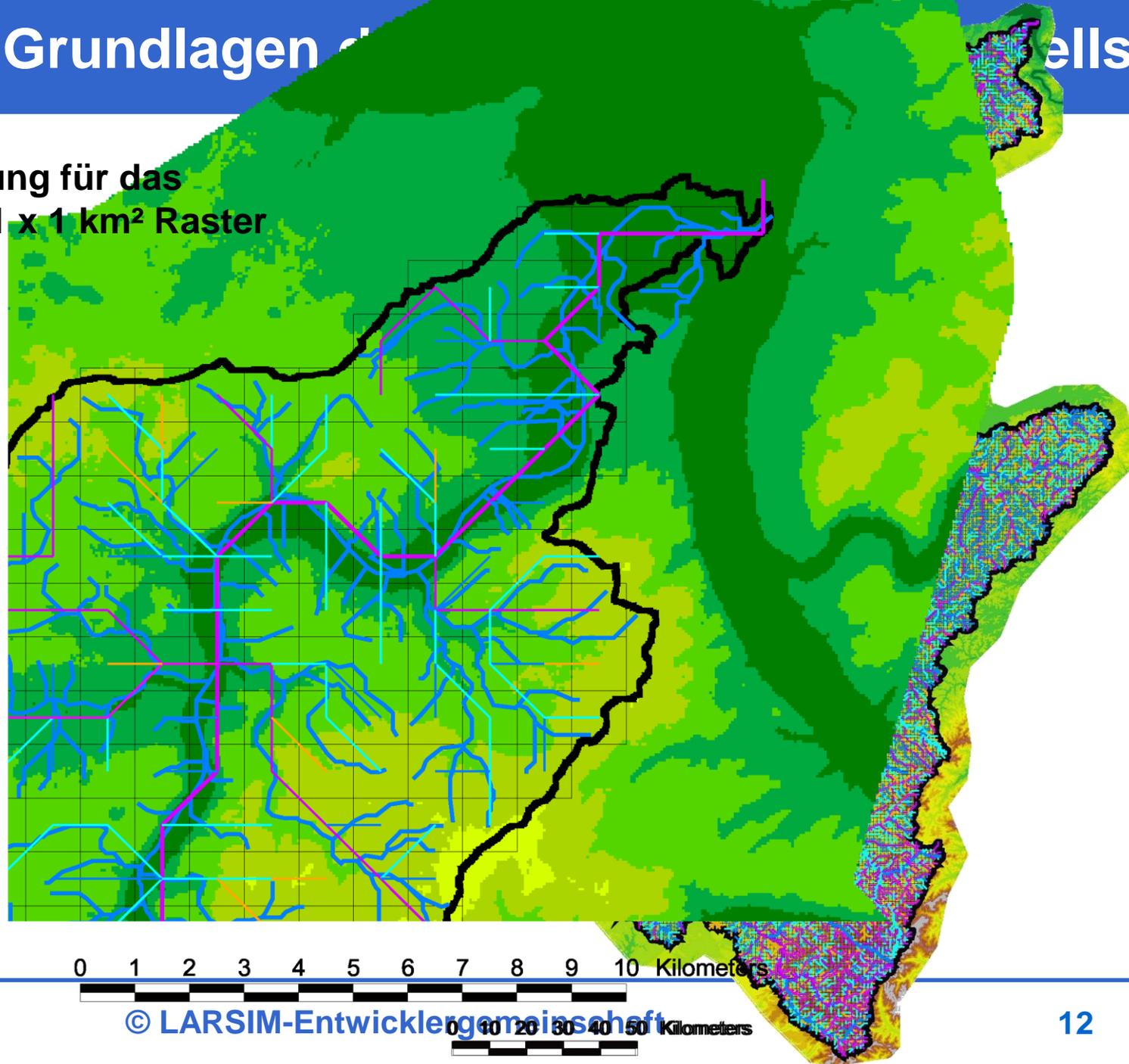


## Modellstruktur:

- Teilgebiete (TGB):
  - Hydrologische Teil-Einzugsgebiete (TEZG)
  - Raster
- Räumlich hoch aufgelöste operationelle WHM i.d.R.  $\sim 1 \text{ km}^2$



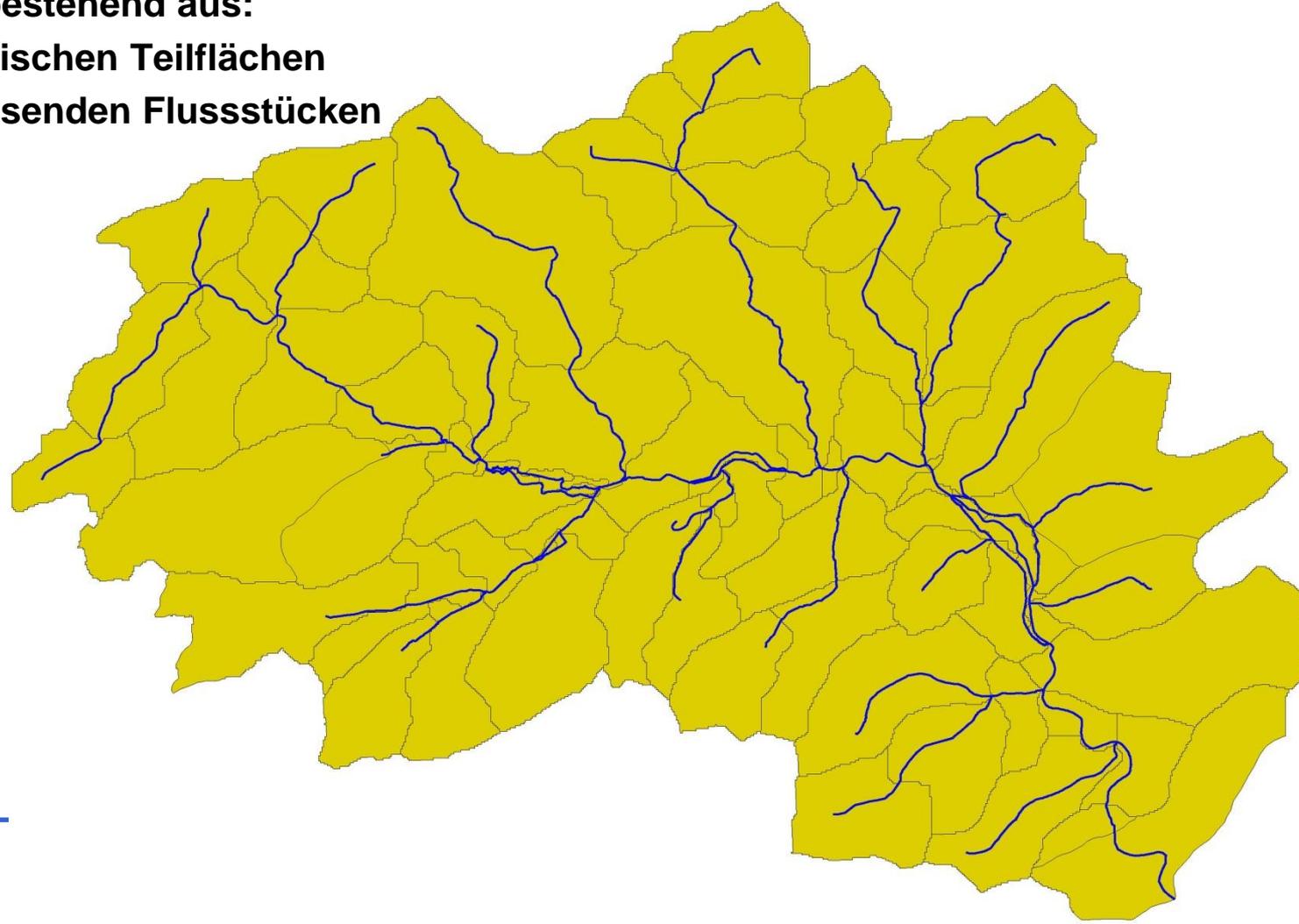
## Modellunterteilung für das Moselgebiet in 1 x 1 km<sup>2</sup> Raster



# Grundlagen des Wasserhaushaltsmodells

## Modellunterteilung in Teileinzugsgebiete

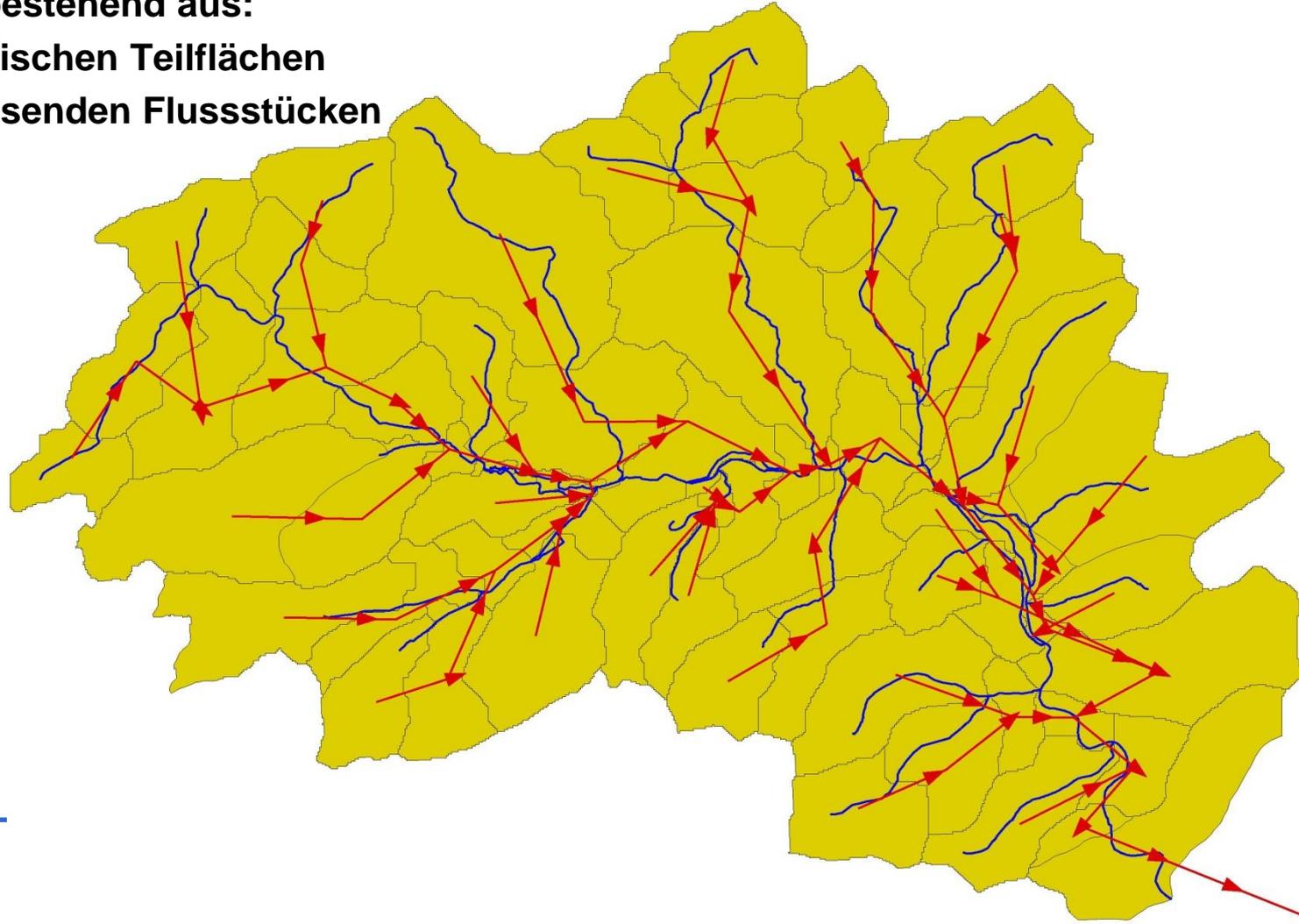
- Einzugsgebiet bestehend aus:
  - 71 hydrologischen Teilflächen
  - 71 dazu passenden Flusstücken



# Grundlagen des Wasserhaushaltsmodells

## Modellunterteilung in Teileinzugsgebiete

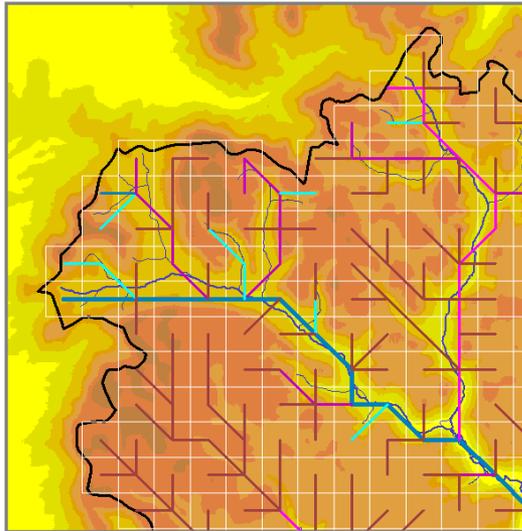
- Einzugsgebiet bestehend aus:
  - 71 hydrologischen Teilflächen
  - 71 dazu passenden Flusstücken



# LARSIM Modellstruktur

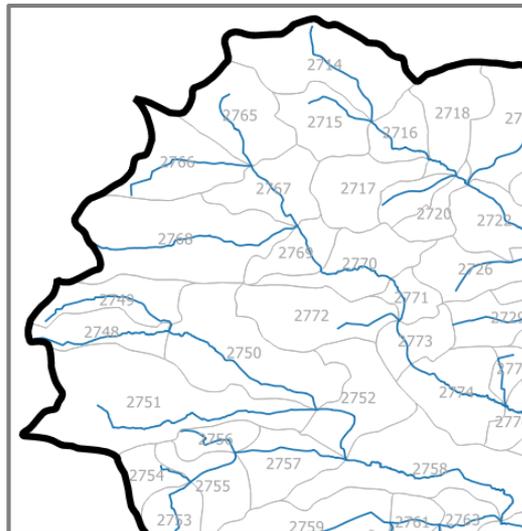
Beispiel TGB als

Raster



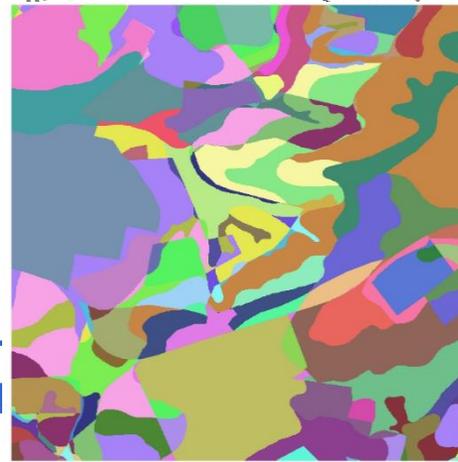
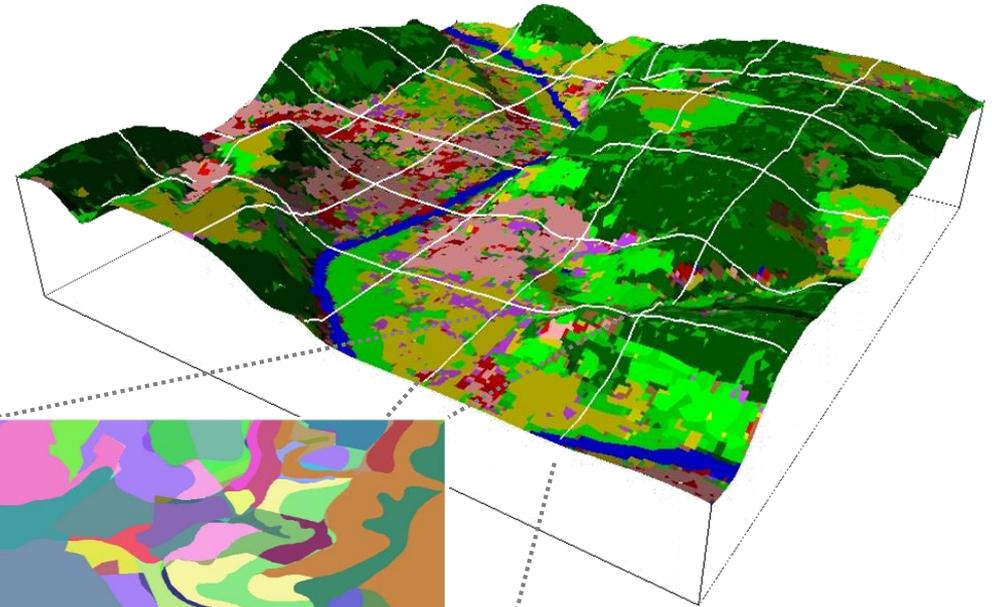
Beispiel TGB als

TEZG



## Modellstruktur:

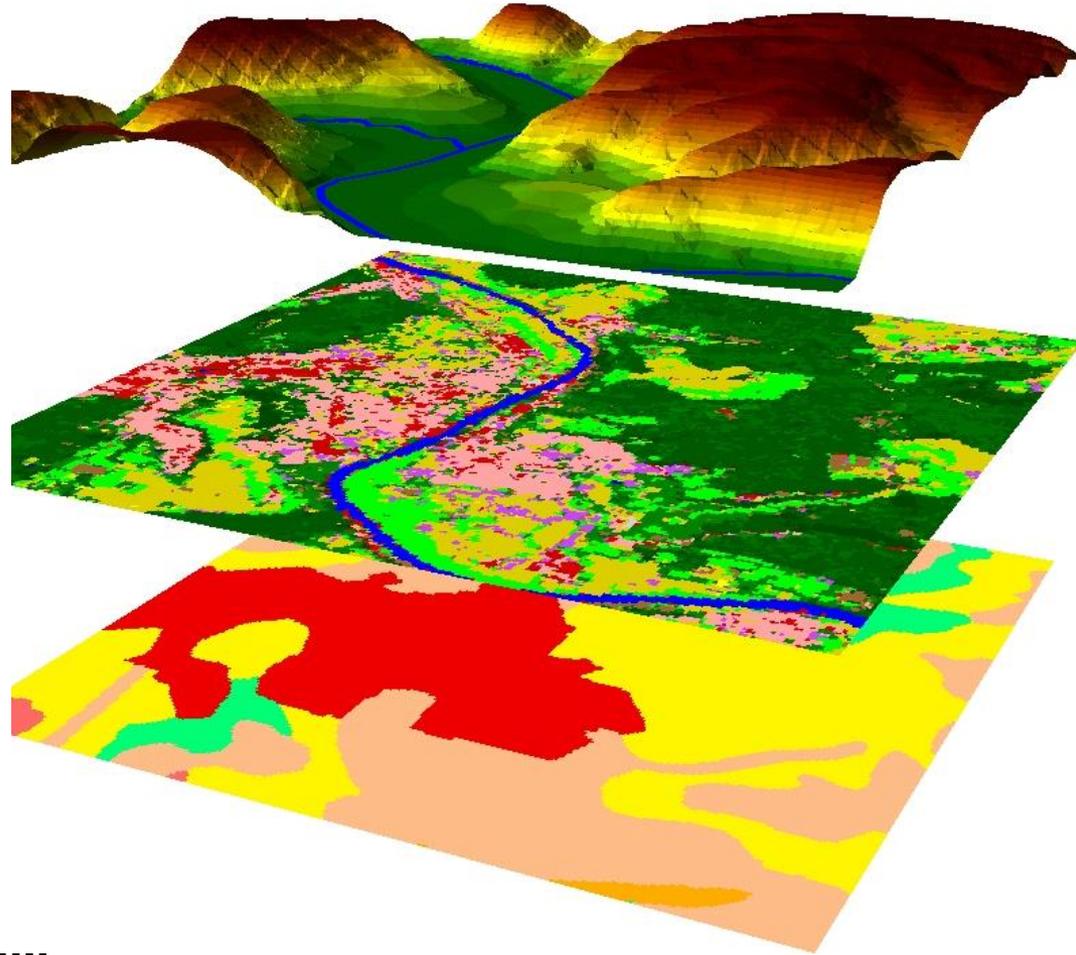
- Räumlich verteiltes Modell
- Räumliche Unterteilung in
  - Teilgebiete (TGB) und
  - subskalige Unterteilgebiete (UTGB)



# Grundlagen des Wasserhaushaltsmodells

**Erforderliche Grundlagendaten für das Wasserhaushaltsmodell:**

- **Digitales Geländemodell, Flussnetz**
- **Landnutzung**
- **Bodenparameter (nutzbare Feldkapazität, Luftkapazität,...)**
- **Zudem: Gerinneinformation, HRB,...**

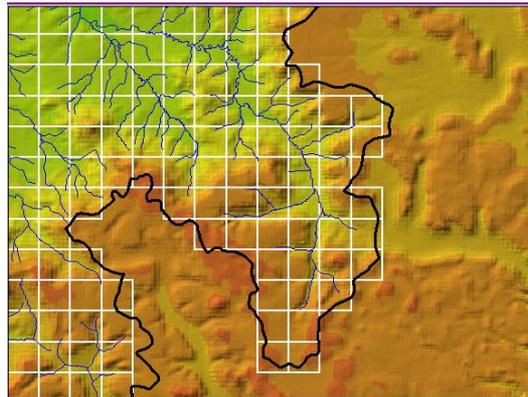


# Grundlagen des Wasserhaushaltsmodells

Insgesamt für den Aufbau der Modelle erforderliche Daten:

## Gebietsdaten

- Flussnetz
- Höhen
- Gefälle
- Landnutzung
- Bodeneigenschaften
- ...

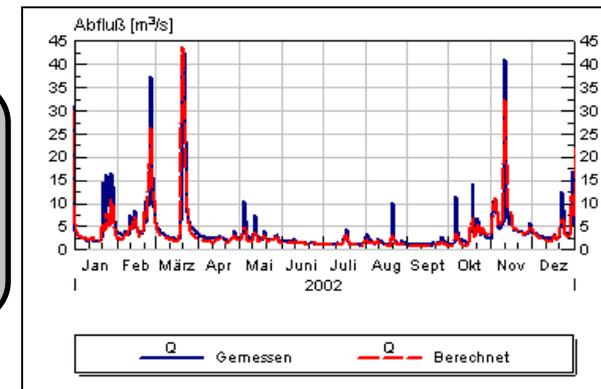


## Parametrisierung

- Meteo-Daten
- Abflussmesswerte
- Regeln für Bauwerke (Seen, Rückhaltebecken, Talsperren)
- Auswahl der Modellbausteine (Module)
- Werte für die Modellparameter (Kalibrierung des Modells)

## Modellkern

- Mathematische Abbildung der Prozesse in LARSIM



# Grundlagen des Wasserhaushaltsmodells

## Programmtechnische Daten zu LARSIM:

LARSIM - Large area runoff simulation model

Meilenstein der Programmentwicklung

- 1977: Flussgebietsmodell FGMOD (Uni Hannover, K. Ludwig)
- 1980: erste vorhersagefähige FGMOD-Version (Uni Hannover, Holle & Ludwig)
- 1996: Wasserhaushaltsmodell LARSIM (Ing. Büro Ludwig, Bremicker)
- 1999-2003: vorhersagefähige WHM-Version (IBL, LfU: Luce, Gerlinger, Ebel, Bremicker)
- 2004: WWM-Vorhersage der Wassertemperatur (IBL: Luce, Haag)
- 2015: LARSIM LILA-/KALA-Formate, LARSIM-NA (HYDRON: Aigner, Luce)

# Grundlagen des Wasserhaushaltsmodells

## Programmtechnische Daten zu LARSIM:

- Aktuelle Release 1032: rund 700 Subroutinen
- 456 Option und 128 Einzelparameter zur Steuerung der Berechnung
- 136.000 Programmzeilen
- Programmentwicklung durch: HYDRON im Auftrag der LARSIM-Entwicklergemeinschaft (Landesämter Baden-Württemberg, Bayern, Rheinland-Pfalz, Hessen, BAFU Schweiz)
- Kostenfreie Bereitstellung

# Grundlagen des Wasserhaushaltsmodells

## Programmtechnische Daten zu LARSIM:

## Programmumgebung:

- **LARSIM-Online-Hilfe** ([www.larsim.info](http://www.larsim.info))
- **LISA**: Visualisierung von Zeitreihen
- **KARL**: Visualisierung von flächenbezogene Daten
- Literatur 2000 und 2006, neue Modelldokumentation 2020 (wird fortgeschrieben)

Contents Index Search x

get link | sync toc

- [-] LARSIM Online-Hilfe
  - [+] Anwendungsbereiche von LARSIM
  - [+] Formatbeschreibungen
  - [+] LARSIM-Ausgabedateien
  - [+] LARSIM-Eingabedateien
  - [+] LARSIM-Einzelparameter
  - [+] LARSIM-Optionen
  - [+] Schematische Darstellungen
  - [+] Übersichten

**LARSIM-Hilfe**

Revision 233  
Stand: 25.05.2020

**Herausgeber:**



**LEG**  
LARSIM-Entwickler-  
gemeinschaft  
www.larsim.info

**Auftraggeber:**

Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg  
Bayerisches Landesamt für Umwelt  
Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz  
Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie  
Amt der Vorarlberger Landesregierung  
Bundesamt für Umwelt Schweiz  
Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen  
Amt der Tiroler Landesregierung  
Bundesanstalt für Gewässerkunde

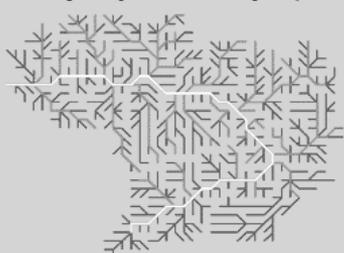
Die Online-Hilfe beschreibt die Anwendung des Programmsystems **LARSIM**

FREIBURGER SCHRIFTEN  
ZUR HYDROLOGIE

Band 11

Manfred Bremicker

Das Wasserhaushaltsmodell LARSIM  
- Modellgrundlagen und Anwendungsbeispiele -



Institut für Hydrologie der Universität Freiburg i.Br.

FREIBURGER SCHRIFTEN  
ZUR HYDROLOGIE

Band 22

Karl Ludwig, Manfred Bremicker (Eds.)

The Water Balance Model LARSIM –  
Design, Content and Applications

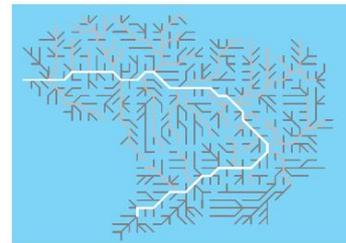


Institut für Hydrologie der Universität Freiburg i.Br.

Das Wasserhaushaltsmodell LARSIM

– Modellgrundlagen und Anwendungsbeispiele –

<http://larsim.de/lexadmin/files/Dokumentation/LARSIM-Dokumentation.pdf>, Stand: 01.03.2017



Herausgeber:  
LARSIM-Entwicklergemeinschaft - Hochwasserzentralen LUWB, BLUJ, LIU RP, HLNUJ, BAFU

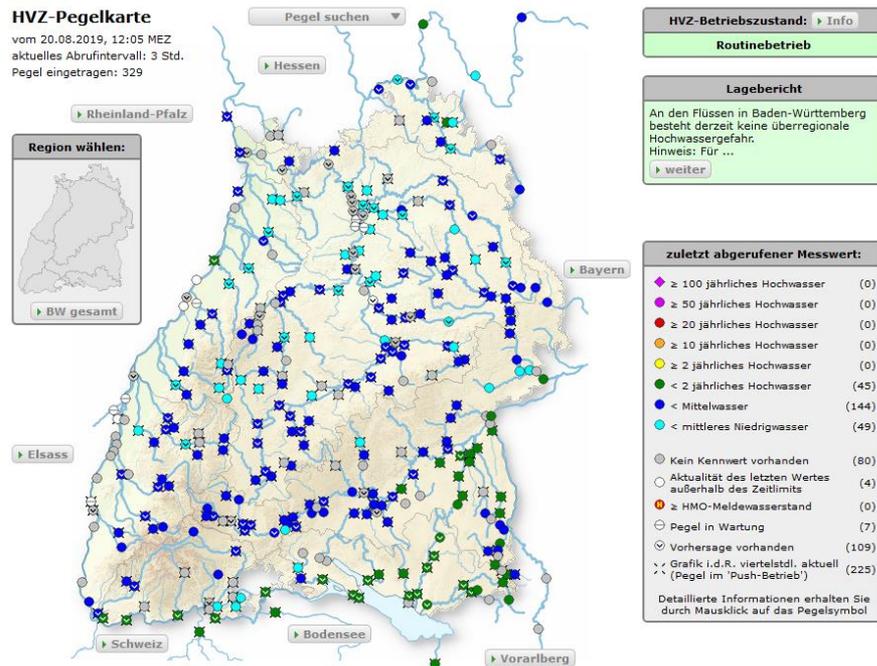
LEG 2019a

# LARSIM Modellanwendungen

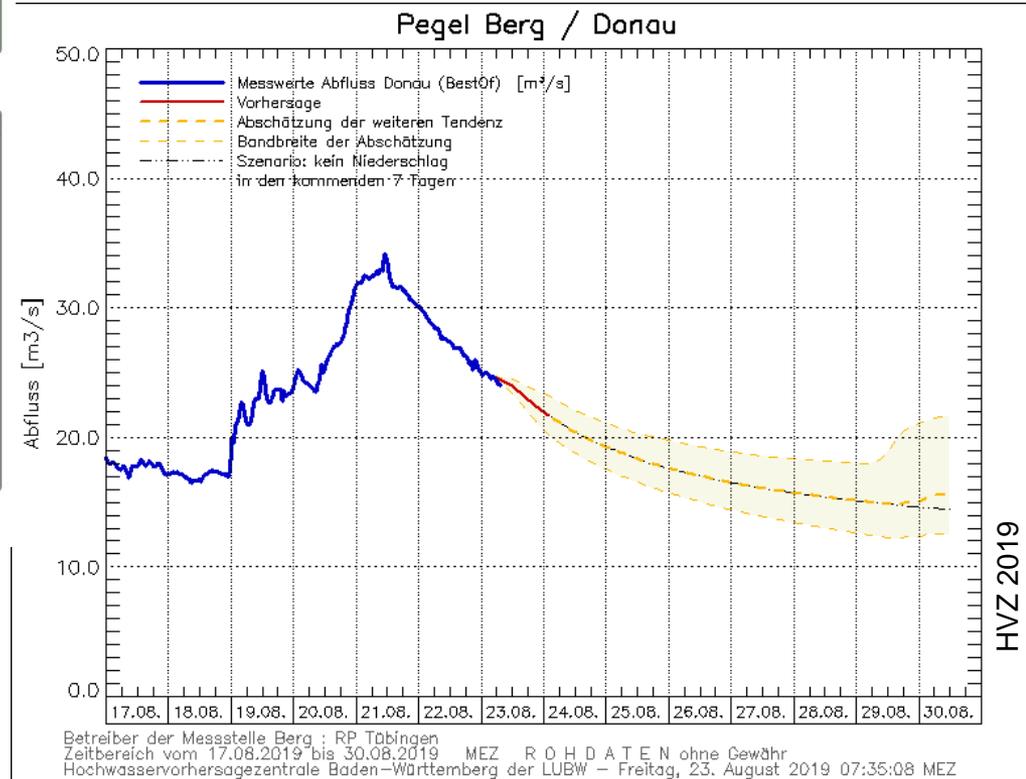
- Operationelle Anwendung
  - Hochwasservorhersage
  - Niedrigwasservorhersage

## HVZ-Pegelkarte

vom 20.08.2019, 12:05 MEZ  
 aktuelles Abrufintervall: 3 Std.  
 Pegel eingetragen: 329



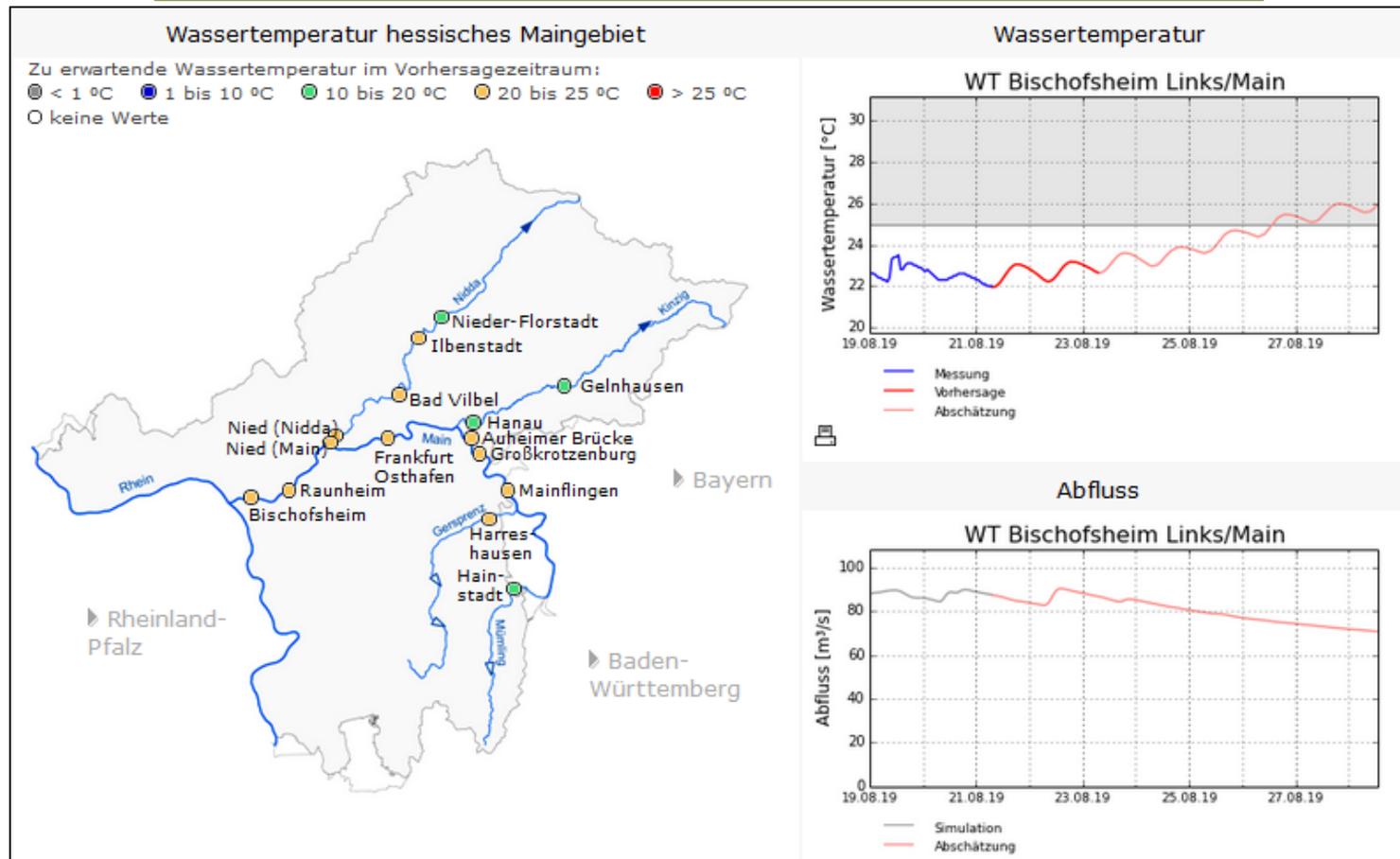
## LARSIM Abflussvorhersage Baden-Württemberg



# LARSIM Modellanwendungen

- Operationelle Anwendung
  - Wassertemperaturvorhersage und Steuerung von Wärmeeinleitungen

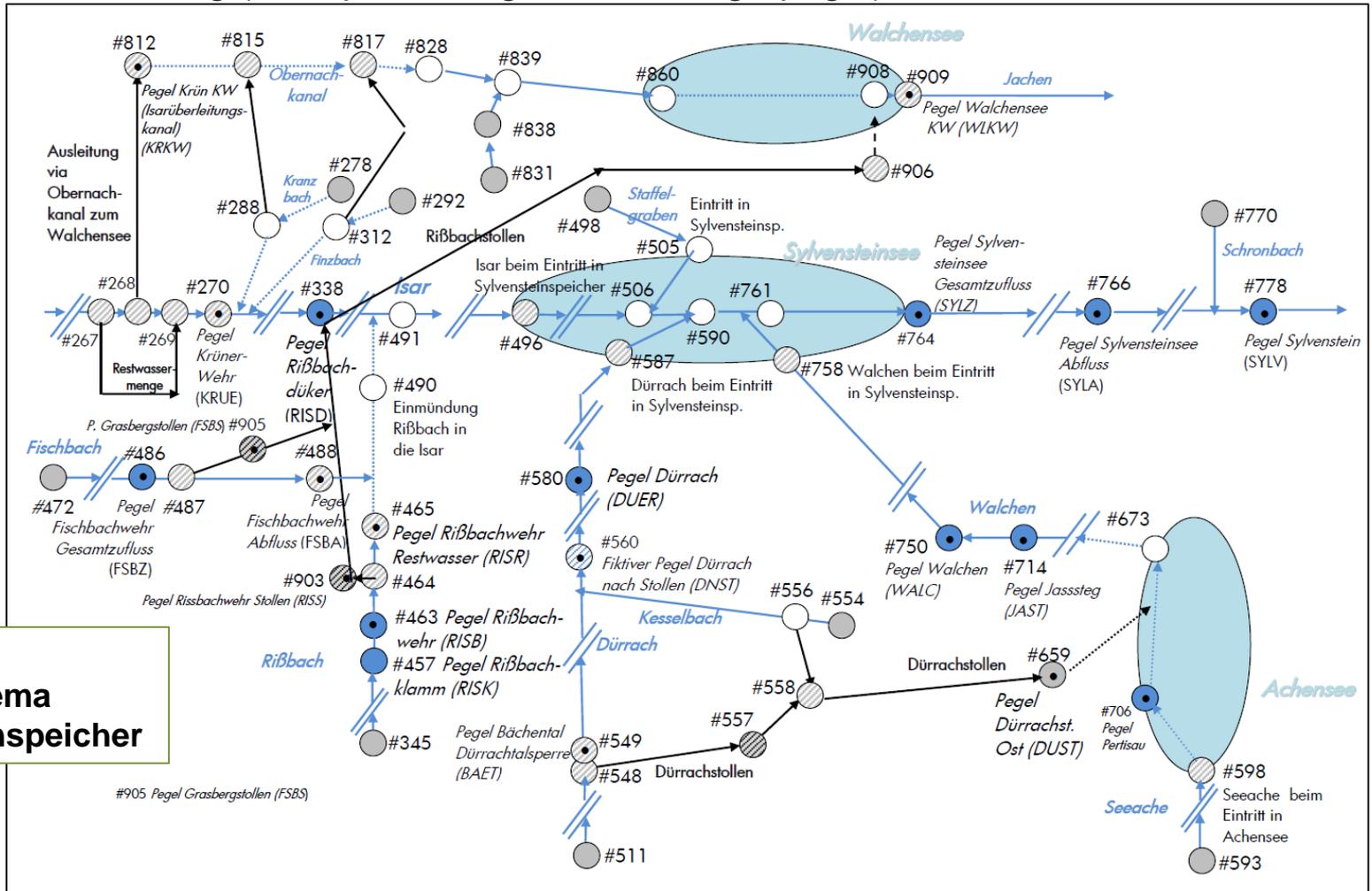
## LARSIM Wassertemperaturvorhersage Hessen



HLNUG 2019

# LARSIM Modellanwendungen

- Operationelle Anwendung
  - Speichersteuerung (mit Optimierung auf Unterliegerpegel)

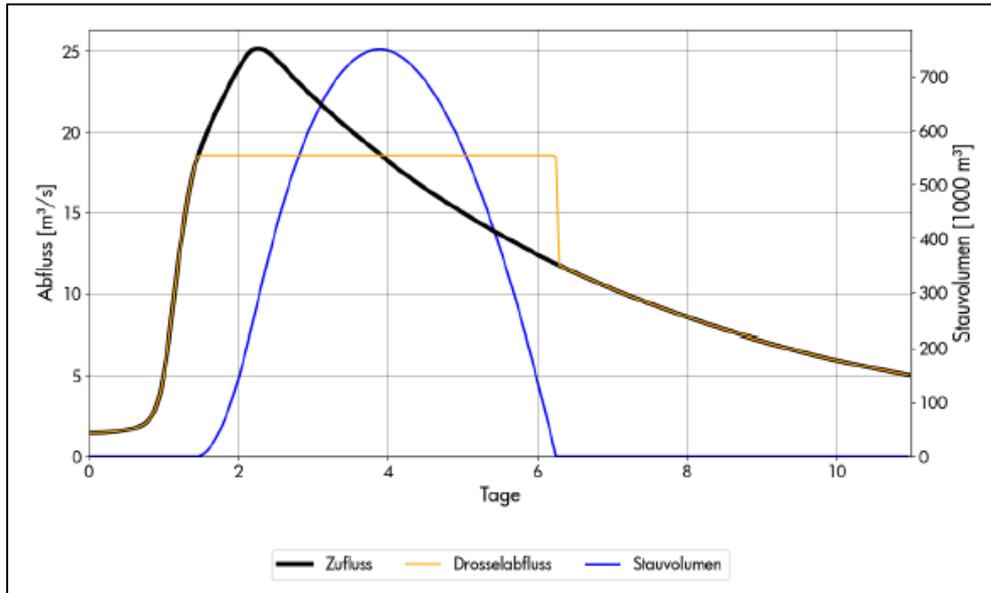


**LARSIM  
Modellschema  
Sylvensteinspeicher**

WWA Weilheim 2017

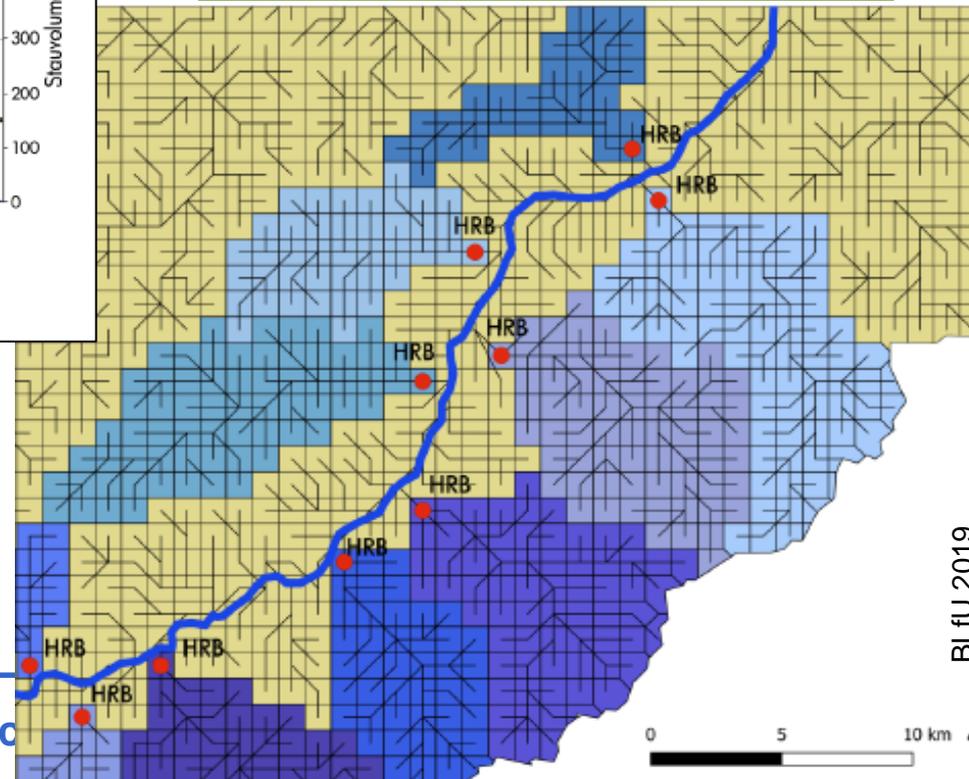
# LARSIM Modellanwendungen

- Bemessung, Planung und Genehmigung
  - Bemessung von Rückhalteräumen
  - (Großräumige) Wirkungsanalysen von (kombinierten) Rückhaltemaßnahmen



**Abflussveränderung durch einen Rückhalteraum**

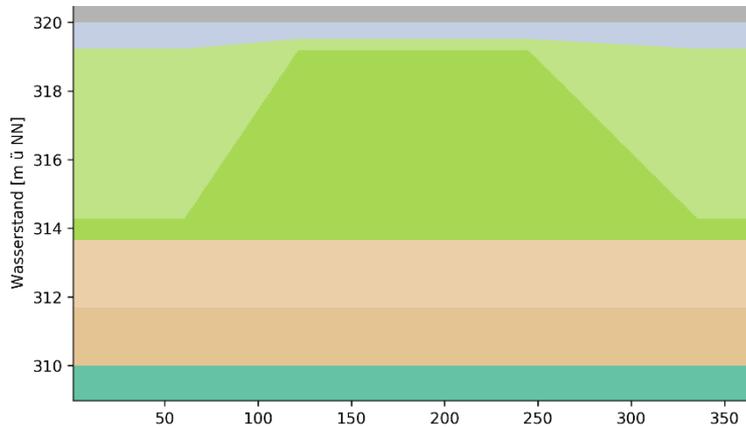
**Wirkung von mehreren Hochwasserrückhaltebecken (HRB)**



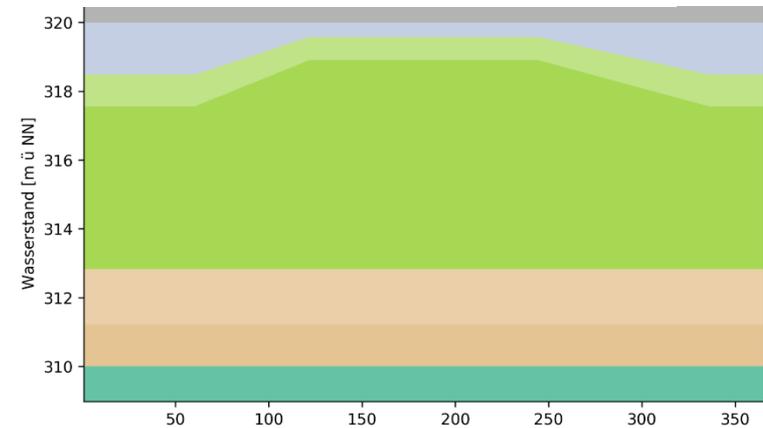
# LARSIM Modellanwendungen

- Bemessung, Planung und Genehmigung
  - Optimierung von Bewirtschaftungsplänen von Talsperren

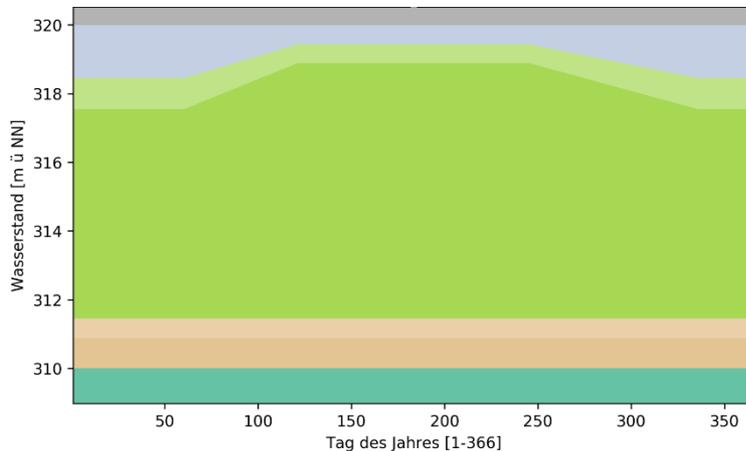
## Hochwasserschutz



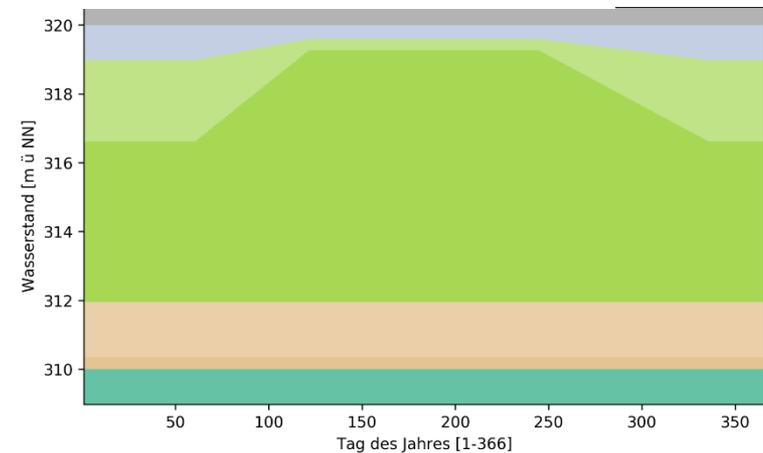
## Trinkwasserschutz



## Mindestwasserschutz



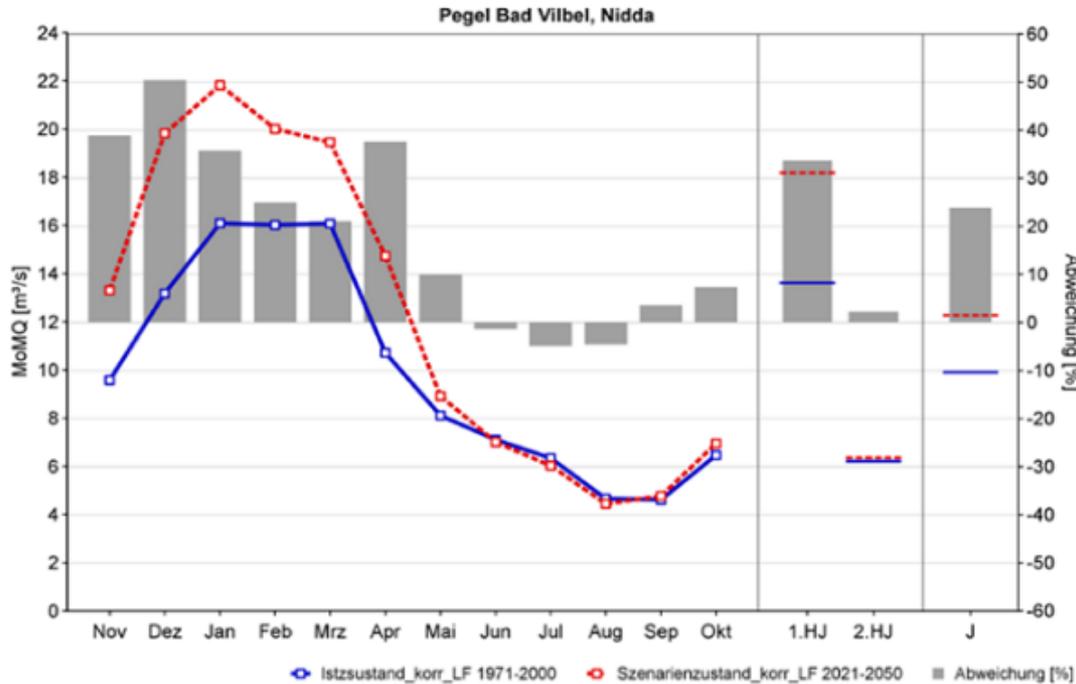
## Kompromiss



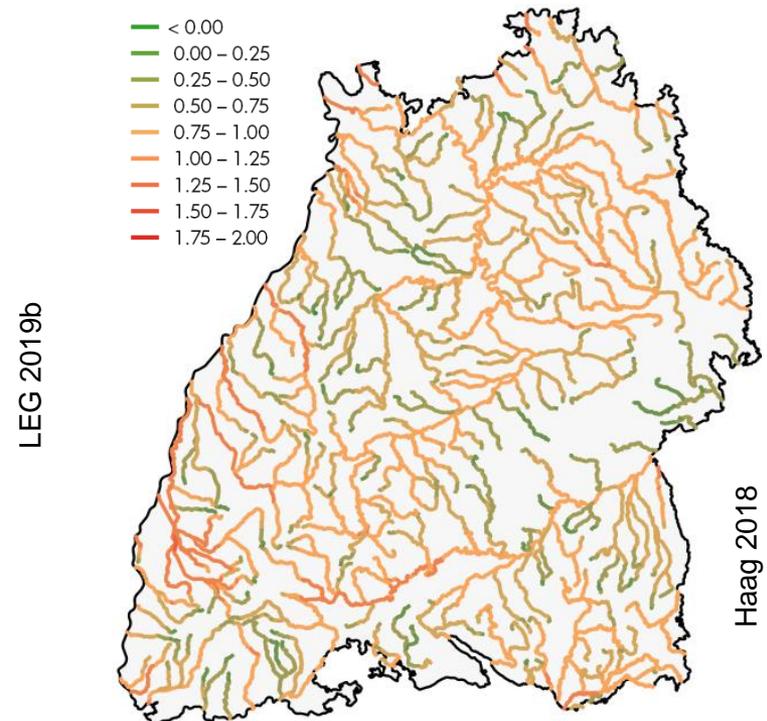
Verschiedene bedarfsoptimierte  
Betriebspläne einer Talsperre

# LARSIM Modellanwendungen

- Folgen des Klimawandels für den Wasserhaushalt (inkl. Wassertemperatur)



**Projizierte Veränderung des Abflussregime**

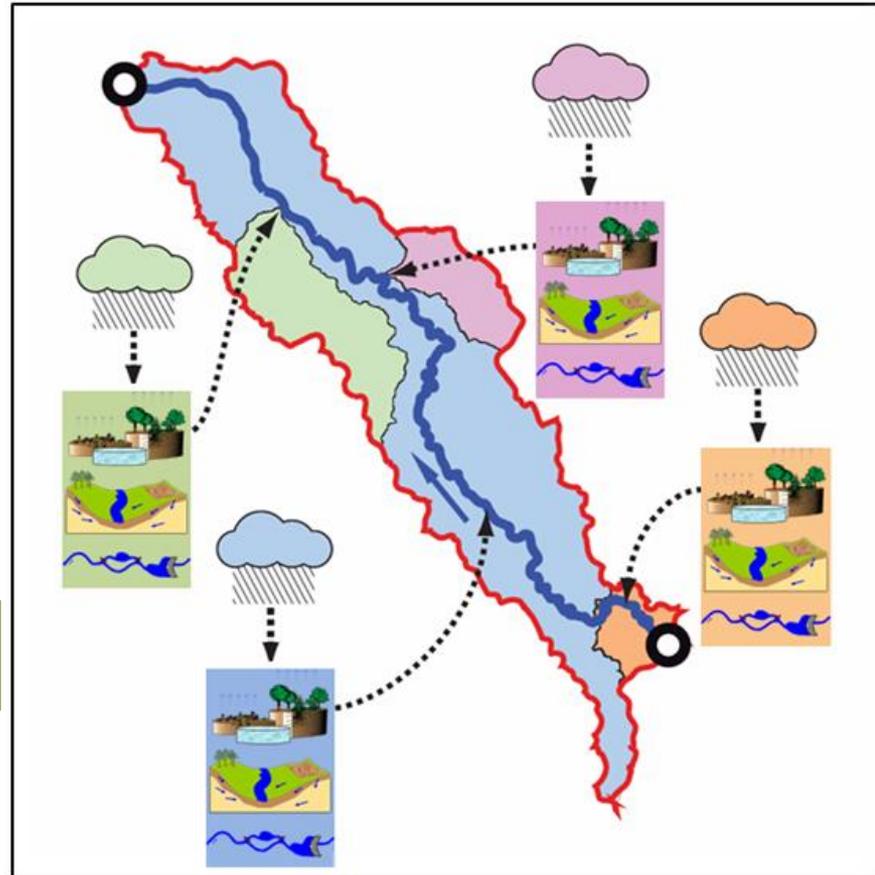


**Projizierte Zunahme der Wassertemperatur [°C]**

# LARSIM Modellanwendungen

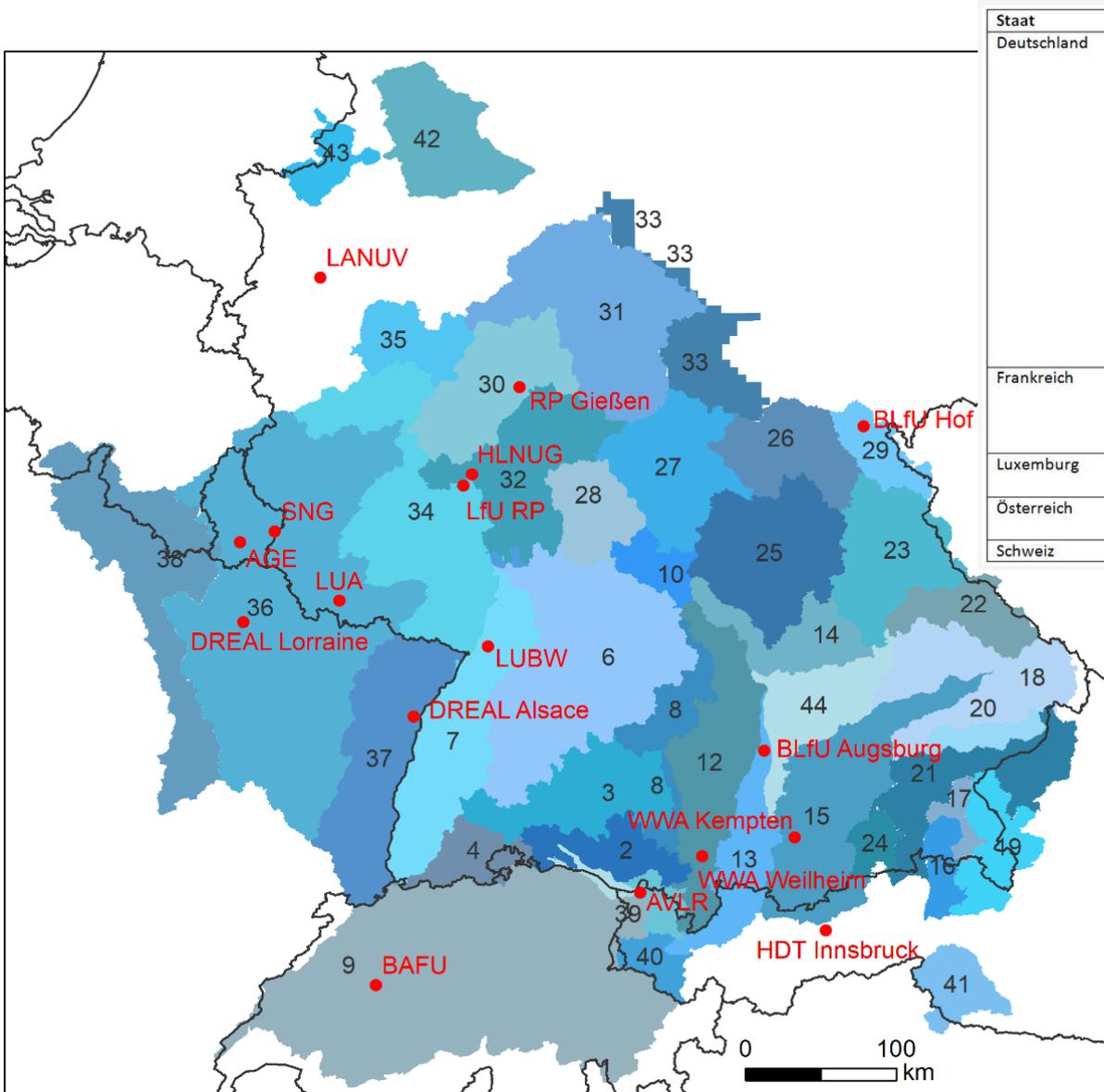
- Randantrieb für andere Modelle
  - Grundwassermodelle
  - Stoffstrommodell (z.B. MoRE)
  - Hydraulische Modelle

Kopplung von LARSIM an ein hydraulisches Modell



# Grundlagen des Wasserhaushaltsmodells

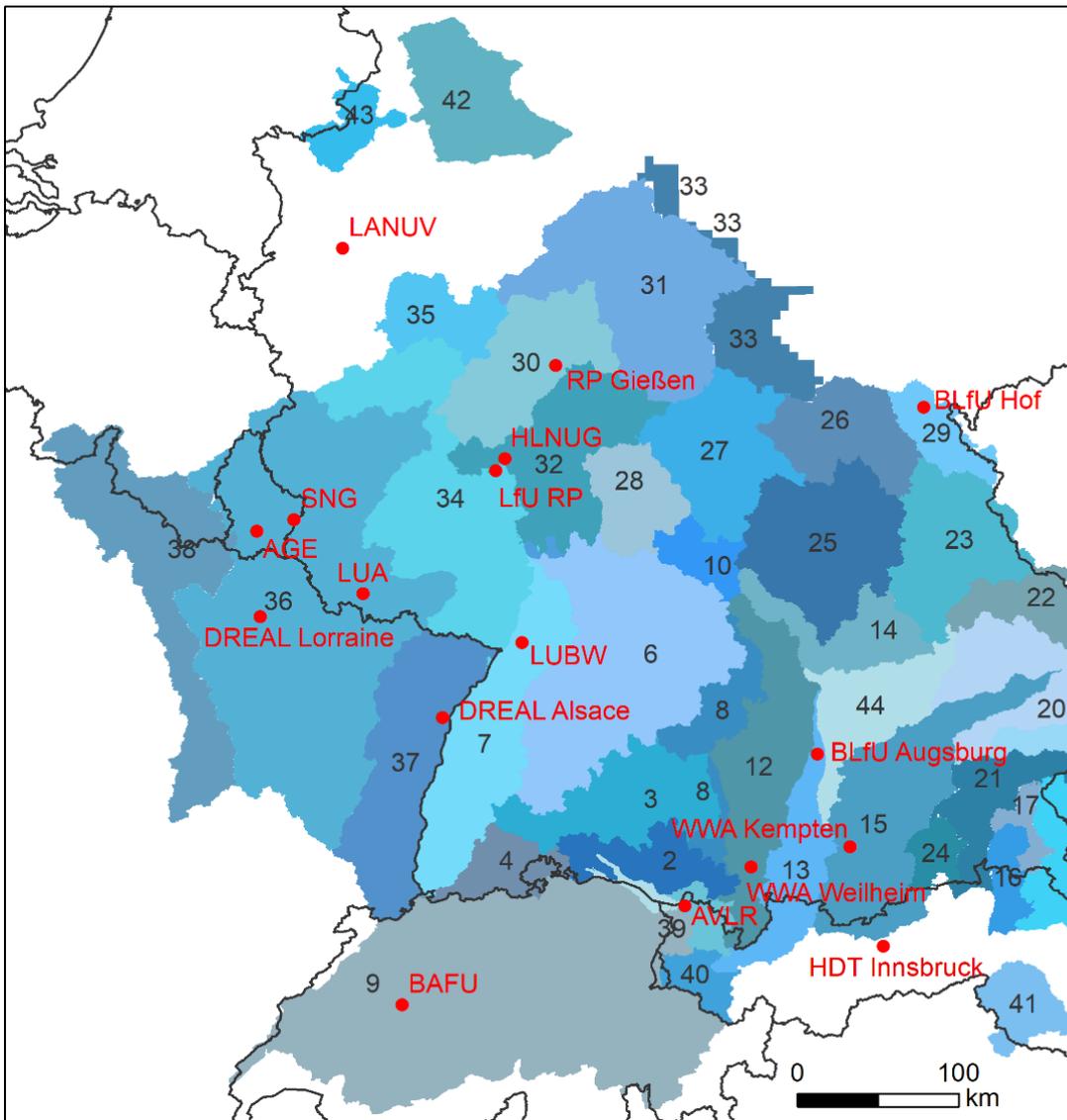
Routinemäßig operationell betriebene LARSIM WHM und die zugehörigen Dienststellen



Staat	Bundesland	Dienststelle	Kürzel
Deutschland	Baden-Württemberg	Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz, Hochwasservorhersagezentrale	LUBW
		Bayern	Bayerisches Landesamt für Umwelt
	Hochwasservorhersagezentrale Donau, Inn, Main		
	Wasserwirtschaftsamt Kempten		WWA Kempten
	Hochwasservorhersagezentrale Iller / Lech		
	Hessen	Wasserwirtschaftsamt Weilheim	WWA Weilheim
		Hochwasservorhersagezentrale Isar	
		Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie	HLNUG
		Regierungspräsidium Gießen	RP Gießen
	Nordrhein-Westfalen	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen	LANUV
Rheinland-Pfalz	Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz	LFU RP	
Saarland	Landesamt für Umwelt und Arbeitsschutz	LUA	
Frankreich	Lothringen	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Lorraine	DREAL Lorraine
	Elsass	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Alsace	DREAL Alsace
Luxemburg		Administration de la Gestion de l'Eau	AGE
		Service de la navigation Grevenmacher	SNG
Österreich	Tirol	Hydrographischer Dienst Tirol	HDT
	Vorarlberg	Amt der Vorarlberger Landesregierung	AVLR
Schweiz		Bundesamt für Umwelt	BAFU

# Grundlagen des Wasserhaushaltsmodells

Routinemäßig operationell betriebene LARSIM WHM und die zugehörigen Dienststellen



Nr.	Bezeichnung	Betreiber	Fläche [km <sup>2</sup> ]	Raster oder Teil-EZG	Räumliche Auflösung [km <sup>2</sup> ]	Anzahl der Berechnungsknoten	Anzahl der Pegel	Berechnungszeitschritte	Erstellungsdatum
1	Altrhein	LUBW	80	Raster	1,0	87	0	h	2003
2	Bodenseezufüsse	LUBW	2 877	Raster	1,0	3 314	10	h, d	2002
3	Donau	LUBW	5 269	Raster	1,0	6 170	26	h, d	2000
4	Hochrheinzufüsse	LUBW	2 273	Raster	1,0	2 634	6	h, d	2001
5	Mainzufüsse	LUBW	575	Raster	1,0	645	1	h	2003
6	Neckar	LUBW	14 103	Raster	1,0	16 624	63	h, d	1999
7	Oberrheinzufüsse	LUBW	7 954	Raster	1,0	8 983	35	h, d	2003
8	Ostalb	LUBW	3 822	Raster	1,0	4 380	13	h, d	2005
9	Schweizer Rheineinzugsgebiet	LUBW, BAFU	29 737	Raster	1,0	34 628	51	h, d	2005
10	Tauber	LUBW	1 797	Raster	1,0	2 104	7	h, d	2003
11	Weschnitz	LUBW	160	Raster	1,0	168	0	h	2003
12	Iller und Donau bis Lech	WWA Kempten	9 540	Raster	1,0	11 400	18	h	2005
13	Lech	WWA Kempten HDT	3 800	Raster	1,0	4 553	40	h	2008
14	Altmühl	BLFU	3 255	Raster	1,0	3 812	12	h	2012
15	Isar	WWA Weilheim	8 960	EZG	1,7	6 377	47	h	2011
16	Chiemsee mit Tiroler Achen	BLFU HDT	1 380	Raster	0,25	7 195	21	h	2007
17	Alz ab Chiemsee mit Traun	BLFU	830	Raster	0,25	3 831	12	h	2007
18	Donau ab Regensburg ohne Isar und Inn	BLFU	6 744	Raster	1,0	7 931	32	h	2011
19	Salzach ab Golling	BLFU	3 245	EZG	1,4	2 335	24	h	2013
20	Rott	BLFU	1 200	EZG	0,9	1 336	12	h	2013
21	Bayerische Innzufüsse	BLFU	5 500	EZG					Wird derzeit erstellt
22	Regen	BLFU	2 800	Raster	1,0	3 396	22	h	2011
23	Naab	BLFU	5 505	Raster	1,0	6 362	39	h	2012
24	Mangfall	BLFU	1 100	Raster	1,0	1 338	22	h	2012
25	Regnitz	BLFU	7 764	Raster	1,0	9 117	39	h	2009
26	Oberer Main	BLFU	4 236	Raster	1,0	4 899	51	h	2009
27	Mittlerer Main	BLFU	5 900	Raster	1,0	7 093	28	h	2010
28	Unterer Main	BLFU	3 908	Raster	1,0	4 750	16	h	2010
29	Saale-Eger-Wondreb	BLFU	2 188	EZG	0,8	3 042	25	h	2016
30	Lahn	HLNUG, LFU RP, RP Gießen	5 931	EZG	5,6/1,5*	1 500	18	h, d	2006
31	Nordhessen	HLNUG	10 743	EZG	5,9	1 816	31	h, d	2007
32	Südhessen	HLNUG	7 218	EZG	6,0	1 207	15	h, d	2006
33	Werra/Oberweser	HLNUG	4 075	Raster	25	170	9	h	2014
34	Rheinland-Pfalz	LFU RP	14 262	EZG	1,9	8 769	50	h, d	2006
35	Sieg	LFU RP LANUV	2 859	EZG	2,4	1 213	15	h, d	2006
36	Mosel / Saar	AGE, DREAL Alsace, DREAL Lorraine, LUA, LFU RP, SNG	28 299	Raster	1,0	33 429	101	h, d	2001
37	Elsass	LFU RP, DREAL Alsace	8 567	EZG	2,3	3 756	29	h	2011
38	Französische Maas	DREAL Lorraine, LFU RP	10 419	EZG	1,4	7 682	20	h	2015
39	Bregenzerach	AVLR	840	Raster	1,0	1 041	12	h	2008
40	Ill	AVLR	1 279	Raster	1,0	1 714	14	h	2010
41	Drau	HDT	2 112	EZG					Wird derzeit erstellt
42	NRW-Ems	LANUV	5 613	EZG					Wird derzeit erstellt
43	NRW-Issel und Berkel	LANUV	1 837	EZG					Wird derzeit erstellt

\* durchschnittliche Größe im hessischen Teil 5,6 km<sup>2</sup> bzw. im rheinland-pfälzischen Teil 1,5 km<sup>2</sup>

# Grundlagen des Wasserhaushaltsmodells

Übersicht über die wichtigsten Einsatzbereiche der hoch aufgelösten LARSIM Wasserhaushaltsmodelle an den einzelnen Dienststellen

Dienststelle	Operationeller Einsatz					Offline Anwendungen			
	Hochwasser- vorhersage	Hochwasser- Frühwarnung	Niedrigwasser- vorhersage	Wassertemperatur- vorhersage	Optimierung der Speicherabgabe	Klimafolgen- untersuchungen	Bemessungs- aufgaben	Wärmelastplanung	Wasserwirtschaftl. Rahmenplanung
LUBW	X	X	X	X		X	X	X	X
BLfU	X	X	X				X		
WWA Kempten	X	X	X		X		X		
WWA Weilheim	X	X	X		X		X		
HLNUG	X	X	X	X		X		X	X
RP Gießen	X		X				X		X
LANUV	X					X			
LFU RLP	X	X	X	X		X	X	X	X
LUA	X	X				X			
DREAL Lorraine	X					X			
DREAL Alsace	X								
AGE	X	X				X	X		X
SNG	X								
HDT	X		X						
AVLR	X		X						

# Zusammenfassung

- Mit Wasserhaushaltsmodellen (WHM) wird der komplette terrestrische Wasserkreislauf **kontinuierlich** simuliert
- LARSIM ist ein räumlich verteiltes WHM mit einer zweigegliederten Raumstruktur
  - Teilgebiete (TGB) häufig  $\sim 1 \text{ km}^2$ , mit Simulation von:  
Abflusskonzentration, Wellenablauf
  - Unterteilgebiete (UTGB)  $\sim$  wenige Hektar, mit Simulation von:  
Schnee, Interzeption, Evapotranspiration, Bodenwasserhaushalt
- LARSIM wird über flächendifferenziert verfügbare Daten (physikalisch) parametrisiert (digitales Geländemodell, digitales Flussnetz, Landnutzungskarten, Bodenkarten, Gerinnedaten, ...) und hinsichtlich konzeptioneller Parameter kalibriert → prozessorientiertes Modell
- LARSIM simuliert alle relevanten Prozesse des Wasserhaushalts (z.B. auch Sturzfluten), um punktuell und flächenhaft verlässliche Daten bereit zustellen
- LARSIM ist weit verbreitet und wird für zahlreiche Anwendungsbereiche genutzt: z.B. operationelle Vorhersage (Abfluss, Wassertemperatur), Speichersteuerung, Bemessung und Planung, Klimafolgen-Abschätzung, Antrieb anderer Modelle, . . .

# Literatur

- BLfU (2019): [https://www.lfu.bayern.de/wasser/hw\\_flutpolder/doc/16\\_anhang6\\_teil2\\_bericht\\_m\\_ezg.pdf](https://www.lfu.bayern.de/wasser/hw_flutpolder/doc/16_anhang6_teil2_bericht_m_ezg.pdf)
- DIREN (2009): Etude de faisabilité d'un couplage du modèle de prévision des crues LARSIM et d'un modèle hydraulique sur la Moselle française. HYDRON GmbH im Auftrag de DIREN Lorraine (unveröffentlicht)
- Haag, I. (2018): Regionalisierung und Simulation der Wassertemperatur – Ergebnisse und Bewertungen. In: AK KLIWA (Hrsg.): 6. KLIWA-Symposium 22.-23.05.2017 in Baden-Baden, Fachvorträge. KLIWA-Berichte, S. 120-132
- HLNUG (2019): [http://wassertemperaturvorhersage.hlnug.de/hlug\\_wt\\_infosys\\_extern/html/index.htm](http://wassertemperaturvorhersage.hlnug.de/hlug_wt_infosys_extern/html/index.htm)
- HVZ (2019): <https://www.hvz.baden-wuerttemberg.de/pegel.html?id=09016>
- LEG (2019a): <http://www.larsim.info/dokumentation/LARSIM-Dokumentation.pdf>
- LEG (2019b): <http://www.larsim.de/das-modell/weitere-anwendungsbereiche/>
- LfU (2015): [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de)
- LfU RP (2019): <https://fruehwarnung.hochwasser-rlp.de/>
- Reggiani, P., Sivapalan, M and Hassanizadeh, S.M. (1998): A unifying framework for watershed thermodynamics: balance equations for mass, momentum, energy and entropy, and the second law of thermodynamics. *Advances in Water Resources* 22, 367-398.
- WWA Weilheim (2017): Analyse und Verbesserung des Systems Sylvensteinsee-Achensee. HYDRON GmbH im Auftrag des WWA Weilheim (unveröffentlicht)