

Räumlich hoch aufgelöste LARSIM Wasserhaushaltsmodelle für die Hochwasservorhersage und weitere Anwendungen

Manfred Bremicker (Karlsruhe), Gerhard Brahmer (Wiesbaden), Norbert Demuth (Mainz), Franz-Klemens Holle (Augsburg) und Ingo Haag (Karlsruhe)

Zusammenfassung

Räumlich hoch aufgelöste LARSIM Wasserhaushaltsmodelle zeichnen sich durch Teilgebietsgrößen zwischen ca. 0,25 km² und 10 km² sowie durch eine subskalige Differenzierung auf der Basis detaillierter Boden- und Landnutzungsinformationen aus. Hierdurch ermöglichen diese Modelle eine prozess- und flächendetaillierte Simulation und Vorhersage des terrestrischen Wasserkreislaufs. Hoch aufgelöste LARSIM Modelle liegen für eine Fläche von über 200 000 km² vor, die das gesamte Rheineinzugsgebiet bis Bonn, den Großteil des deutschen Donaugebiets sowie den hessischen Teil des Wesereinzugsgebiets umfasst. Diese Modelle werden von 15 Dienststellen in Deutschland, Frankreich, Luxemburg und Österreich routinemäßig zur Hochwasservorhersage sowie für andere operationelle Zwecke und wasserwirtschaftliche Planungsaufgaben eingesetzt. Eine Entwicklergemeinschaft stellt sicher, dass die LARSIM Modelle entsprechend der gemeinsamen Anforderungen koordiniert und zielgerichtet weiterentwickelt werden.

Schlagwörter: Wasserhaushalt, LARSIM, Hochwasservorhersage, Niedrigwasservorhersage, Speicheroptimierung, Bewirtschaftungsplanung

DOI: 10.3243/kwe2013.09.004

Abstract

Spatially highly distributed LARSIM Water Balance Models for Flood Forecasting and other Applications

Spatially highly distributed LARSIM water balance models are characterized by sub-basin or grid sizes ranging from 0.25 km² to 6 km². Detailed information on soil and land-use is included to account for the variability of the hydrological response within the sub-basins. Consequently, these models facilitate a spatially distributed, process-based simulation and forecasting of discharge and other components of the water balance. Spatially highly distributed LARSIM models cover an area of approximately 200,000 km², including the Rhine basin up to Bonn, most of the German Danube basin and the Hessian part of the Weser basin. These models are routinely used for flood forecasting, other operational purposes and watershed management by 15 different government agencies in Germany, France, Luxembourg and Austria. The ongoing improvement of LARSIM's program core is managed by a task force of various flood forecasting services.

Key words: water balance, LARSIM, flood forecasting, low flow forecasting, flood detention plans, watershed management

1 Einleitung

Räumlich hoch aufgelöste LARSIM Wasserhaushaltsmodelle (LARSIM high resolution, im Folgenden auch: LARSIM HR) werden in mehreren Ländern für die Bearbeitung unterschiedlicher wasserwirtschaftlicher Fragestellungen genutzt. Aufgrund der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten, der positiven Erfahrungen mit LARSIM sowie der kontinuierlichen und abgestimmten Weiterentwicklung haben in den letzten Jahren sowohl die räumliche Verbreitung als auch die Anwendungsgebiete von LARSIM stark zugenommen.

Im vorliegenden Artikel soll daher ein kurzer Überblick über die grundsätzliche Funktionsweise von LARSIM HR-Modellen, ihre derzeitige Verbreitung und ihre aktuellen Einsatzbereiche gegeben werden.

2 Grundlagen

Das Wasserhaushaltsmodell LARSIM (Large Area Runoff Simulation Model) ermöglicht eine prozess- und flächendetaillierte

Simulation des terrestrischen Wasserkreislaufs in variabler zeitlicher Auflösung. Die räumlich hoch aufgelösten Modelle basieren auf flächendetaillierten Systemdaten (Geländehöhe, Landnutzung, Bodenspeichervolumina, Gerinnedaten etc.) und werden von meteorologischen Eingangsdaten (Niederschlag, Lufttemperatur etc.) angetrieben. Nach einer optionalen modellinternen Regionalisierung und Korrektur der Eingangsdaten können die folgenden hydrologischen Teilprozesse simuliert werden [1] (Abbildung 1):

- Interzeption und Interzeptionsverdunstung
- Akkumulation, Metamorphose und Schmelze von Schnee
- Infiltration, Bodenwasserhaushalt, Abflussbildung und Tiefenversickerung
- Evapotranspiration nach dem Penman-Monteith-Ansatz
- Abflusskonzentration (Transfer des Wassers aus der Fläche ins Gerinne)
- Translation und Retention in den Gerinnen

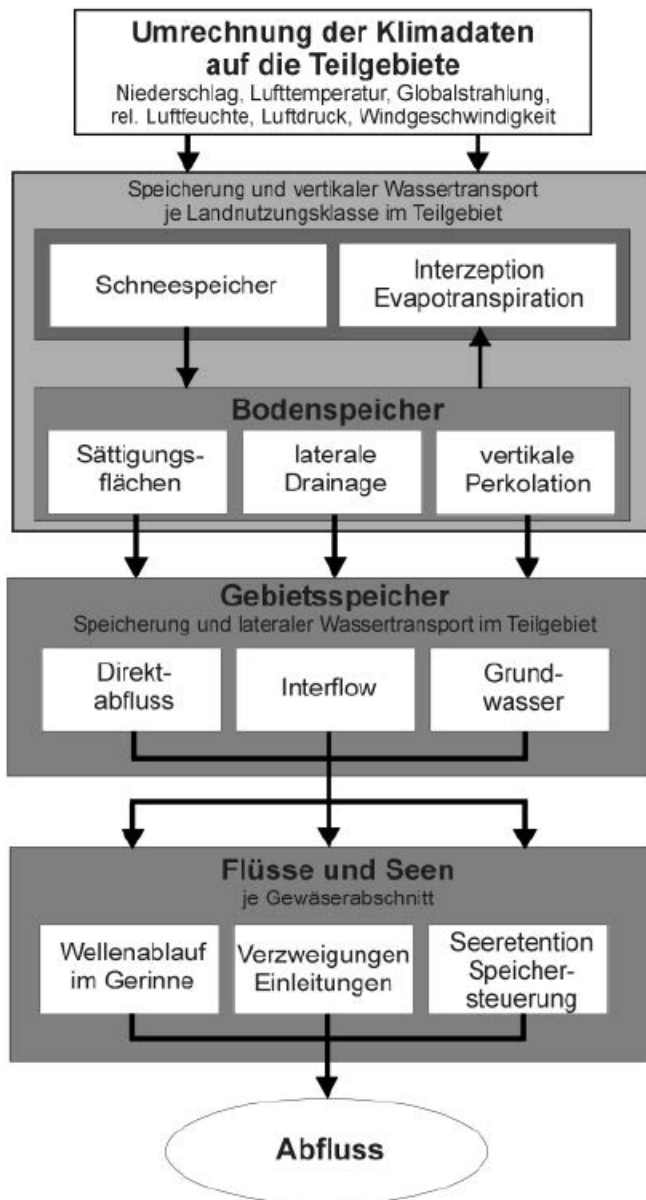


Abb. 1: Schematische Funktionsweise des WHM LARSIM (mit 3 Abflusskomponenten, ohne Wassertemperatur)

- Wirkung von Seen, Talsperren und Rückhaltebecken
- Optimierung der Speicherabgabe hinsichtlich der Wirkung auf unterhalb gelegene Regionen
- Ein-, Aus- und Überleitungen

Darüber hinaus ist es, aufbauend auf dem Wasserhaushalt, optional möglich, auch den Wärmehaushalt der Fließgewässer und die resultierenden Wassertemperaturen unter Berücksichtigung natürlicher und anthropogener Einflüsse zu simulieren. In diesem Fall handelt es sich um ein LARSIM Wasserhaushalts- und Wärmemodell.

Die Flächenauflösung in Teilgebiete kann in LARSIM wahlweise über eine Rasterung oder nach realen Teileinzugsgebieten vorgenommen werden. Die Abflusskonzentration sowie die Translation und Retention im Gerinne werden getrennt für diese Teilgebiete berechnet. Sowohl für raster- als auch für teileinzugsgebietsbezogene Modelle werden Interzeption, Evapotranspiration, Schneedynamik und Bodenwasserhaushalt in höherer räumlicher

Auflösung getrennt für die einzelnen Landnutzungs-Boden-Kompartimente eines jeden Teilgebietes modelliert. Hierdurch kann dem kleinräumigen Einfluss von Landnutzung und Boden auf die hydrologischen Prozesse Rechnung getragen werden.

Die hier vorgestellten räumlich hoch aufgelösten Wasserhaushaltsmodelle zeichnen sich zum einen dadurch aus, dass die Teilgebiete relativ klein sind: Die hoch aufgelösten Rastermodelle haben zumeist eine Teilgebietsauflösung von 1 km². Die Teilgebietsflächen der hoch aufgelösten einzugsgebietsbezogenen Modelle liegen zumeist im Bereich von wenigen Quadratkilometern. Zum anderen sind die LARSIM HR-Modelle dadurch gekennzeichnet, dass die Unterteilung der Teilgebiete in Landnutzungs-Boden-Kompartimente auf detaillierten Boden- und Landnutzungsinformationen basiert. Zusätzlich kann in Teilgebieten mit ausgeprägter Höhenstrukturierung eine Höhenzonierung bei der Berechnung der Schneeakkumulation und -ablation berücksichtigt werden. Damit bilden diese Modelle die ideale Grundlage für eine räumlich verteilte, flächendifferenzierte und vielfältig einsetzbare hydrologische Modellierung [2].

Neben den hier besprochenen räumlich hoch aufgelösten Modellen existieren auch räumlich weniger detaillierte LARSIM Modelle mit Teilgebietsgrößen zwischen 25 und mehreren hundert Quadratkilometern [1]. Diese gröber aufgelösten Modelle sind jedoch nicht Gegenstand der vorliegenden Übersicht.

3 Übersicht über räumlich hoch aufgelöste LARSIM Modelle

3.1 Räumliche Verbreitung der LARSIM Modelle

In Tabelle 1 sind die Dienststellen aufgeführt, bei denen LARSIM HR-Modelle vorliegen und standardmäßig angewendet werden. Hieraus wird deutlich, dass LARSIM neben den süddeutschen Bundesländern auch im benachbarten Ausland (Österreich, Frankreich, Luxemburg) angewandt wird. Über die hier aufgeführten Dienststellen hinaus werden die Modelle in Einzelfällen auch durch weitere Landesbehörden für spezifische Fragestellungen genutzt (z. B. Regierungspräsidien, Landratsämter etc.).

Tabelle 2 gewährt einen Überblick über die insgesamt 34 bei den angeführten Dienststellen verfügbaren hoch aufgelösten LARSIM Wasserhaushaltsmodelle. Abbildung 2 verdeutlicht die Lage und Verbreitung der aktuell verfügbaren Modelle. Die Landesflächen von Baden-Württemberg, Hessen, Rheinland-Pfalz und dem Saarland sind komplett abgedeckt. Zudem stehen für nahezu die gesamte Landesfläche von Bayern und Vorarlberg, das gesamte schweizerische und französische Einzugsgebiet des Oberrheins sowie für die grenzüberschreitenden Einzugsgebiete von Mosel, Saar und Sieg entsprechende Modelle zur Verfügung.

Das Modell für Mosel und Saar wird von mehreren Dienststellen in Frankreich, Luxemburg und Deutschland gemeinsam genutzt und weiterentwickelt. Dabei betreiben manche Dienststellen lediglich Ausschnitte des Gesamtmodells, die das jeweilige Einzugsgebiet in ihrem Zuständigkeitsbereich umfassen.

Das erste hoch aufgelöste LARSIM Wasserhaushaltsmodell wurde 1999 für den Neckar erstellt, während die jüngsten Modelle derzeit in Entstehung sind. Alle Modelle werden kontinuierlich gewartet und verbessert. Hierdurch ist gewährleistet, dass auch in älteren Modellen neu verfügbare Daten ebenso berücksichtigt werden, wie aktuelle Weiterentwicklungen in der Modelltechnik.

Staat	Bundesland	Dienststelle	Kürzel
Deutschland	Baden-Württemberg	Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz, Hochwasservorhersagezentrale	LUBW
	Bayern	Bayerisches Landesamt für Umwelt Hochwasservorhersagezentrale Donau, Inn, Main	BLFU
		Wasserwirtschaftsamt Kempten Hochwasservorhersagezentrale Iller / Lech	WWA Kempten
		Wasserwirtschaftsamt Weilheim Hochwasservorhersagezentrale Isar	WWA Weilheim
	Hessen	Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie	HLUG
		Regierungspräsidium Gießen	RP Gießen
	Nordrhein-Westfalen	Bezirksregierung Köln	BR Köln
Rheinland-Pfalz	Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz	LUWG	
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

Tabelle 1: Übersicht über die Dienststellen der Länder, an denen hoch aufgelöste LARSIM Wasserhaushaltsmodelle standardmäßig eingesetzt werden.

In Baden-Württemberg, Vorarlberg und für das Moseleinzugsgebiet werden rasterbasierte Modelle mit Teilgebietsflächen von 1 km x 1 km verwendet. Dasselbe gilt für die meisten bayerischen Modelle. Lediglich die Rastermodelle für den Chiemsee mit der Tiroler Achen und für die Alz ab Chiemsee mit Traun haben bei einer Kantenlänge von 500 m eine noch höhere räumliche Auflösung. Das bayerische Wasserhaushaltsmodell für die Isar ist ebenso wie die Modelle für Hessen, Rheinland-Pfalz und das Elsass in hydrologische Einzugsgebiete unterteilt (Tabelle 2).

Die einzelnen Modelle decken Flächen zwischen 80 km² und knapp 30 000 km² ab, die Anzahl der Berechnungsknoten variiert entsprechend. In der Summe umfassen die Modelle eine Gesamtfläche von über 200 000 km² und decken das gesamte Einzugsgebiet des Rheins bis Bonn, den Großteil des deutschen Donaeinzugsgebiets sowie den hessischen Teil des Wesereinzugsgebiets ab (Abbildung 2, Tabelle 2). Dabei werden fast 900 Pegel sowie zahlreiche Stauhaltungen, Seen, Talsperren, Rückhaltemaßnahmen, Ein- und Überleitungen berücksichtigt. Der Modelantrieb erfolgt je nach Nutzung durch unterschiedliche meteorologische Messungen bzw. Vorhersagen und Prognosen.

Alle verfügbaren Modelle sind mit Parametersätzen für eine Simulation in stündlicher Auflösung ausgestattet. Darüber hinaus verfügen viele Modelle zusätzlich über einen Parametersatz zur tageswertbasierten Simulation (Tabelle 2).

3.2 Einsatzbereiche der LARSIM Modelle

LARSIM verfügt über zahlreiche, speziell an den operationellen Betrieb angepasste Funktionalitäten. Hoch aufgelöste LARSIM Wasserhaushaltsmodelle eignen sich daher sehr gut für den operationellen Einsatz [3]. Dementsprechend wurden die LARSIM Modelle häufig primär für die Hochwasservorhersage er-

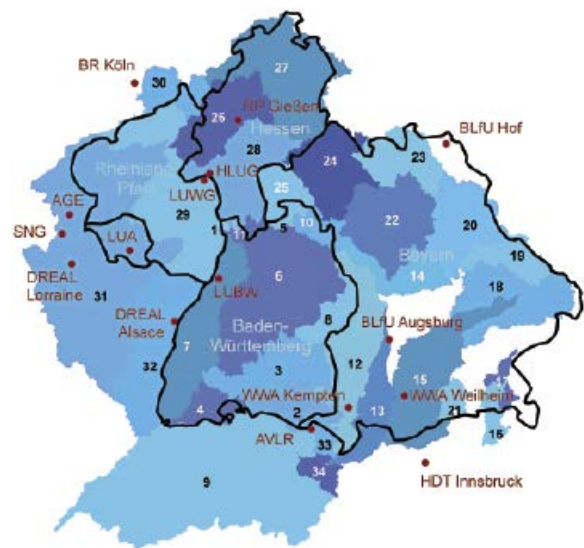


Abb. 2: Übersicht über die derzeit verfügbaren, räumlich hoch aufgelösten LARSIM Wasserhaushaltsmodelle

stellt. Darüber hinaus werden sie jedoch für zahlreiche weitere wasserwirtschaftliche Aufgaben sowohl im operationellen Einsatz als auch im Offline-Betrieb genutzt.

Tabelle 3 gibt einen Überblick über die wichtigsten Modell-Einsatzbereiche an den einzelnen Dienststellen. Hieraus wird deutlich, dass die Hochwasservorhersage zentraler Bestandteil des operationellen Einsatzes an allen Dienststellen ist und die Modelle vielerorts auch zur routinemäßigen Niedrigwasservorhersage genutzt werden [3–8]. An den Landesämtern werden zudem regions- bzw. landkreispezifische Hochwasserfrühwarnungen erstellt, die eine frühzeitige War-

Nr.	Bezeichnung	Betreiber	Fläche [km ²]	Raster oder Teil-EZG	Räumliche Auflösung [km ²]	Anzahl der Berechnungsknoten	Anzahl der Pegel	Berechnungszeitschritte	Erstellungsdatum
1	Altrhein	LUBW	80	Raster	1,0	87	0	h	2003
2	Bodenseezuflüsse	LUBW	2877	Raster	1,0	3314	10	h, d	2002
3	Donau	LUBW	5269	Raster	1,0	6170	26	h, d	2000
4	Hochrheinzuflüsse	LUBW	2273	Raster	1,0	2634	6	h, d	2001
5	Mainzuflüsse	LUBW	575	Raster	1,0	645	1	h	2003
6	Neckar	LUBW	14103	Raster	1,0	16624	63	h, d	1999
7	Oberrheinzuflüsse	LUBW	7954	Raster	1,0	8983	35	h, d	2003
8	Ostalb	LUBW	3822	Raster	1,0	4380	13	h, d	2005
9	Schweiz – Hochrhein	LUBW	29737	Raster	1,0	34628	51	h, d	2005
10	Tauber	LUBW	1797	Raster	1,0	2104	7	h, d	2003
11	Weschnitz	LUBW	160	Raster	1,0	168	0	h	2003
12	Iller und Donau bis Lech	WWA Kempten	9540	Raster	1,0	11400	18	h	2005
13	Lech	WWA Kempten HDT	3800	Raster	1,0	4553	40	h	2008
14	Altmühl	BLfU	3255	Raster	1,0	3812	12	h	2012
15	Isar	WWA Weilheim	8960	EZG	1,7	6377	47	h	2011
16	Chiemsee mit Tiroler Achen	BLfU HDT	1380	Raster	0,25	7195	21	h	2007
17	Alz ab Chiemsee mit Traun	BLfU	830	Raster	0,25	3831	12	h	2007
18	Donau ab Regensburg ohne Isar und Inn	BLfU	6744	Raster	1,0	7931	32	h	2011
19	Regen	BLfU	2800	Raster	1,0	3396	22	h	2011
20	Naab	BLfU	5505	Raster	1,0	6362	39	h	2012
21	Mangfall	BLfU	1100	Raster	1,0	1338	22	h	2012
22	Regnitz	BLfU	7764	Raster	1,0	9117	39	h	2009
23	Oberer Main	BLfU	4236	Raster	1,0	4899	51	h	2009
24	Mittlerer Main	BLfU	5900	Raster	1,0	7093	28	h	2010
25	Unterer Main	BLfU	3908	Raster	1,0	4750	16	h	2010
26	Lahn	HLUG, LUWG, RP Gießen	5931	EZG	5,6/1,5*	1500	18	h, d	2006
27	Nordhessen	HLUG	10743	EZG	5,9	1816	31	h, d	2007
28	Südhessen	HLUG	7218	EZG	6,0	1207	15	h, d	2006
29	Rheinland-Pfalz	LUWG	14262	EZG	1,9	8769	50	h, d	2006
30	Sieg	LUWG BR Köln	2859	EZG	2,4	1213	15	h, d	2006
31	Mosel / Saar	AGE, DREAL Alsace, DREAL Lorraine, LUA, LUWG, SNG	28299	Raster	1,0	33429	101	h, d	2001
32	Elsass	LUWG, DREAL Alsace	8567	EZG	2,3	3756	29	h	2011
33	Bregenzerach	AVLR	840	Raster	1,0	1041	12	h	2008
34	Ill	AVLR	1279	Raster	1,0	1714	14	h	2010
Minimaler Wert			80	–	0,25	87	0	–	1999
Mittelwert			6305	–	1,4	6360	26	–	2007
Maximaler Wert			29737	–	6,0	34628	101	–	2012
Summe			214367	–	–	216236	896	–	–

* durchschnittliche Größe im hessischen Teil 5,6 km² bzw. im rheinland-pfälzischen Teil 1,5 km²

Tabelle 2: Übersicht über die derzeit verfügbaren, räumlich hoch aufgelösten LARSIM Wasserhaushaltsmodelle

nung vor möglichen Hochwassern auch an kleineren Gewässern ermöglichen [4, 9]. Die kontinuierlichen Abflussvorhersagen dienen auch zur Optimierung der Speicherabgaben bezogen auf weiter unterhalb gelegene Ziele und für die Vorhersage der Energieerzeugung durch Laufwasserkraftwerke. Darüber hinaus werden LARSIM Modelle für mehrere Flüsse auch zur operationellen Simulation und Vorhersage der Wassertemperaturen genutzt [10, 11].

Neben den in Tabelle 3 aufgeführten operationellen Einsatzmöglichkeiten wird LARSIM an einzelnen Dienststellen für weitere operationelle Vorhersagen genutzt. In Baden-Württemberg wird derzeit beispielsweise ein Frühwarnsystem für Niedrigwasser entwickelt.

Offline werden die LARSIM HR-Modelle für unterschiedliche Planungszwecke verwendet. Neben der allgemeinen wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung spielen hierbei Untersuchungen zur möglichen Wirkung des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft eine wichtige Rolle [12, 13].

Darüber hinaus kommen die Modelle auch bei wasserwirtschaftlichen Bemessungsaufgaben zum Einsatz. Hierzu zählen unter anderem die Ermittlung von Hoch- und Niedrigwasserabflüssen unterschiedlicher Jährlichkeiten, die Bereitstellung von Ganglinien für hydraulische Berechnungen sowie die Planung und Optimierung von Talsperren, Rückhaltebecken und Poldern [14]. Dort wo LARSIM als Wasserhaushalts- und Wärmemodell vorliegt, kann es auch für die Erstellung von Wärmelastplänen und für weitere Fragen im Zusammenhang mit der Wärmebelastung der Gewässer genutzt werden [15].

Neben den in Tabelle 3 aufgeführten Aufgaben werden die LARSIM HR-Modelle immer wieder auch für andere Aufgaben wie z. B. die Simulation und Prognose von Bodenwasserhaus-

halt und Grundwasserneubildung oder Untersuchungen zur Wirkung von Landnutzungsänderungen herangezogen [16-18].

3.3 Weiterentwicklung der LARSIM Modelle

Die grundsätzliche Weiterentwicklung des Modells LARSIM wird von einer Entwicklergemeinschaft der Hochwasserzentralen von LUBW, BLfU, LUWG und HLUG gemeinsam abgestimmt und koordiniert. In diesem Kreis finden regelmäßige Treffen der Modellentwickler und -programmierer statt, die eine zielgerichtete Weiterentwicklung von LARSIM sicherstellen. Darüber hinaus ermöglicht ein jährlich im größeren Rahmen durchgeführter Anwenderworkshop den Erfahrungsaustausch zwischen allen LARSIM-Nutzern. Für Pflege und Weiterentwicklung der Modelle für Mosel, Saar und das französische Einzugsgebiet des Oberrheins gibt es zudem eine Kooperationsvereinbarung zwischen den zuständigen französischen, deutschen und luxemburgischen Dienststellen.

Dadurch ist gewährleistet, dass die hoch aufgelösten LARSIM Wasserhaushaltsmodelle auch zukünftig dem aktuellen Stand der Technik entsprechen und mit ihrer Hilfe vielseitige wasserwirtschaftliche Aufgaben bearbeitet werden können.

4 Schlussfolgerungen

Die vorliegende Übersicht zeigt, dass derzeit für eine Fläche von über 200 000 km² räumlich hoch aufgelöste LARSIM Wasserhaushaltsmodelle verfügbar sind, die von unterschiedlichen Dienststellen in Baden-Württemberg, Bayern, Hessen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, dem Saarland, Tirol,

Dienststelle	Operationeller Einsatz					Offline Anwendungen			
	Hochwasser-vorhersage	Hochwasser-Frühwarnung	Niedrigwasser-vorhersage	Wassertemperatur-vorhersage	Optimierung der Speicherabgabe	Klimafolgen-untersuchungen	Bemessungsaufgaben	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		
HLUG	X	X	X	X		X		X	X
RP Gießen	X		X				X		X
BR Köln	X								
LUWG	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						

* bei LUA und AGE ist der Einsatz zur Hochwasser-Frühwarnung für 2013 geplant

Tabelle 3: Übersicht über die wichtigsten Einsatzbereiche der LARSIM Wasserhaushaltsmodelle an den einzelnen Dienststellen der Länder

Vorarlberg, Luxemburg, Lothringen und im Elsass eingesetzt werden. Die Modelle wurden in erster Linie für den operativen Hochwassereinsatz erstellt. Zunehmend werden ihre zahlreichen Potenziale jedoch auch für andere Anwendungsbereiche in der Wasserwirtschaft genutzt. Der kontinuierliche Austausch zwischen Modellentwicklern und Nutzern stellt sicher, dass LARSIM im Rahmen einer länderübergreifenden Entwicklergemeinschaft fortlaufend weiterentwickelt und verbessert wird.

Literatur

- [1] M. Bremicker: *Das Wasserhaushaltsmodell LARSIM – Modellgrundlagen und Anwendungsbeispiele*. Freiburger Schriften zur Hydrologie, Band 11, Freiburg, 2000.
- [2] I. Haag, M. Bremicker: *Wasserhaushaltsmodelle bei der LUBW: Ein Beispiel für den Nutzen von Geoinformationen und Umweltmessnetzen*. Karlsruher Geowissenschaftliche Schriften, Reihe B, Band 5, 2010, S. 31 – 36.
- [3] A. Luce, I. Haag, M. Bremicker: *Einsatz von Wasserhaushaltsmodellen zur kontinuierlichen Abflussvorhersage in Baden-Württemberg*. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 50(2), 2006, S. 58 – 66.
- [4] G. Brahmer: *Operationelle Wasserhaushaltsmodellierung zur Hochwasservorhersage in Hessen*. Jahresbericht 2009 des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie, Wiesbaden, 2009, S. 55 – 61.
- [5] M. Bremicker, P. Homagk, K. Ludwig: *Operationelle Niedrigwasservorhersage für das Neckareinzugsgebiet*. Wasserwirtschaft, 2004(7/8), 2004, S. 40 – 46.
- [6] S. Laurent, Ch. Hangen-Broderson, U. Ehret, I. Meyer, K. Moritz, A. Vogelbacher, F.-K. Holle: *Forecast Uncertainties in the Operational Flood Forecasting of the Bavarian Danube Catchment*. In: M. Brilly, (Ed.), Hydrological Processes of the Danube River Basin. Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 2010.
- [7] F.-K. Holle: *Hochwasservorhersage in Bayern, Modellumgebung und DV-Vernetzung*. Wiener Mitteilungen, Wasser – Abwasser – Gewässer, Band 216, 2009.
- [8] A. Vogelbacher: *Flood Warning in Bavaria*. In: A.K. Gupta, S. S. Nair (Ed.), Abstract Volume of International Conference Environmental Knowledge for Disaster Risk Management, 10-11 May 2011, New Delhi, 2011, S. 64.
- [9] M. Bremicker, P. Homagk, K. Ludwig: *Hochwasserfrühwarnung und Hochwasservorhersage in Baden-Württemberg*. Wasserwirtschaft, 2006(7/8), 2006, S. 46 – 50.
- [10] I. Haag, A. Luce, U. Badde: *Ein operationelles Vorhersagemodell für die Wassertemperatur im Neckar*. Wasserwirtschaft, 2005(7/8), 2005, S. 45 – 51.
- [11] M. Kremer, G. Brahmer: *Simulation und Vorhersage von Wassertemperaturen an hessischen Fließgewässern*. Jahresbericht 2012 des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie, Wiesbaden, 2013, S. 31 – 38.
- [12] K. Gerlinger: *Simulation des Wasserhaushalts im Neckareinzugsgebiet unter Verwendung regionaler Klimaszenarien*. In: AK KLIWA (Hrsg.): 2. KLIWA-Symposium 03.-04.05.2004 in Würzburg, Fachvorträge. KLIWA-Berichte, Heft 4, 2004, S. 87 – 102.
- [13] W. Hennegriff, V. Kolokotronis, J. Ihringer: *Prognose von Auswirkungen des Klimawandels auf die Niedrigwasserverhältnisse in Baden-Württemberg*. Korrespondenz Wasserwirtschaft, 2008(6), 2008, S. 309 – 314.
- [14] K. Gerlinger: *Bereitstellung von Bemessungskennwerten unter Berücksichtigung von Hochwasserrückhaltebecken als Grundlage für Hochwassergefahrenkarten*. Wasserwirtschaft, 2008(4), 2008, S. 22 – 25.
- [15] I. Haag, A. Luce: *LARSIM-WT: an integrated water-balance and heat-balance model to simulate and predict stream water temperatures*. Hydrological Processes, 22, 2008, S. 1046 – 1056.
- [16] J. Krumm: *Model-based Analysis and Prediction of Groundwater Recharge Using LARSIM and HYDRUS-1D*. Master Thesis, Institute of Groundwater Management, TU Dresden, 2011.
- [17] I. Haag, K. Gerlinger, V. Kolokotronis: *Auswirkungen von Windwurfschäden auf Hochwasserabflüsse am Beispiel des Enz-Nagold-Gebiets*. Wasserwirtschaft, 2005(10), 2005, S. 8 – 14.
- [18] I. Haag, A. Luce, K. Gerlinger: *Effects of conservation tillage on storm flow: a model-based assessment for a mesoscale watershed in Germany*. IAHS-Publications, 303, 2006, S. 342 – 350.

Autoren

Dr. Manfred Bremicker
LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz
Baden-Württemberg
Griesbachstraße 1, 76185 Karlsruhe

E-Mail: manfred.bremicker@lubw.bwl.de

Dr. Gerhard Brahmer
Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie
Rheingaustraße 186, 65203 Wiesbaden

E-Mail: Gerhard.Brahmer@hlug.hessen.de

Norbert Demuth
Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und
Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz
Kaiser-Friedrich-Straße 7, 55116 Mainz

E-Mail: Norbert.Demuth@luwg.rlp.de

Franz-Klemens Holle
Bayerisches Landesamt für Umwelt,
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160, 86179 Augsburg

E-Mail: franz-klemens.holle@lfu.bayern.de

Dr. Ingo Haag
HYDRON Ingenieurgesellschaft für Umwelt und
Wasserwirtschaft mbH
Haid-und-Neu-Straße 7, 76131 Karlsruhe

E-Mail: ingo.haag@hydrone-gmbh.de

KW

Unser Expertentipp



Tagung
HochwasserTage
21./22.11.2013
in Köln
€ 310,00/€ 250,00

für DWA-Mitglieder



Merkblatt DWA-M 551
Audit „Hochwasser – wie gut sind wir vorbereitet“
Dezember 2010,
36 Seiten, DIN A4,
ISBN 978-3-941897-63-2
€ 38,00/€ 30,40*)

DWA-ThemenT 1/2013
Starkregen und urbane Sturzfluten – Praxisleitfaden zur Überflutungsvorsorge
August 2013,
61 Seiten, DIN A4,
ISBN 978-3-944328-14-0
€ 55,00/€ 44,00*)

*) für fördernde DWA-Mitglieder