

# Simulation und Vorhersage von Wassertemperaturen an hessischen Fließgewässern

W3

MATTHIAS KREMER & GERHARD BRAHMER

Die in den vergangenen Jahren aufgetretenen hohen sommerlichen Lufttemperaturen führten in Verbindung mit geringen Abflüssen zum Erreichen erhöhter Wassertemperaturen an hessischen Fließgewässern. Erkenntnisse aus Projektionen zum Klimawandel lassen eine weitere Zunahme dieser Entwicklung erwarten. Bei weiteren und längeren Überschreitungen bisheriger Temperaturverhältnisse ist mit Schädigungen in der Biozönose der Fließgewässergemeinschaft zu rechnen. Auf der anderen Seite sind Einschränkungen möglicher Abwärmeeinleitungen von Kraftwerken und industriellen Einleitern bei Erreichen

von Grenzwerten absehbar. Bisher galt für die großen hessischen Gewässer wie Rhein und Main eine in der Fischgewässerrichtlinie festgelegte Grenztemperatur von 28 °C. Mit Auslaufen der Richtlinie Ende 2013 wird der Grenzwert durch einen Orientierungswert von 25 °C gemäß den Anforderungen an die Europäische Wasserrahmenrichtlinie für die Barbenregion abgelöst. Durch eine Ausweitung des Messnetzes zur Erfassung der Gewässertemperaturen und Erstellung von Wassertemperaturvorhersagemodellen können kritische Situationen frühzeitig erkannt werden.

## 1 Messnetz zur Überwachung der Temperaturen in hessischen Fließgewässern

Die Überwachung der Wassertemperaturen erfolgte bislang in Hessen an 12 kontinuierlich betriebenen Gewässergütestationen an größeren Gewässern. In den vergangenen Jahren wurden zusätzlich sukzessive rund 30 Pegel mit Temperatursonden ausgestattet. Seit 2003 liefern darüber hinaus auch 16, primär zur Abflussmessung eingesetzte Ultraschallanlagen Temperaturdaten (Abb. 1).

Aktuelle Messwerte aus dem hessischen Wassertemperaturmessnetz werden auf der HLUg-Webpage ([www.hlug.de/popups/wasser-wassertemperatur.html](http://www.hlug.de/popups/wasser-wassertemperatur.html)) dargestellt bzw. können dort als Zeitreihe heruntergeladen werden. Die aus den Messnetzen gewonnenen Daten gehen als Berechnungsgrundlage in die nachfolgend aufgeführten hessischen Wärme- modelle ein.

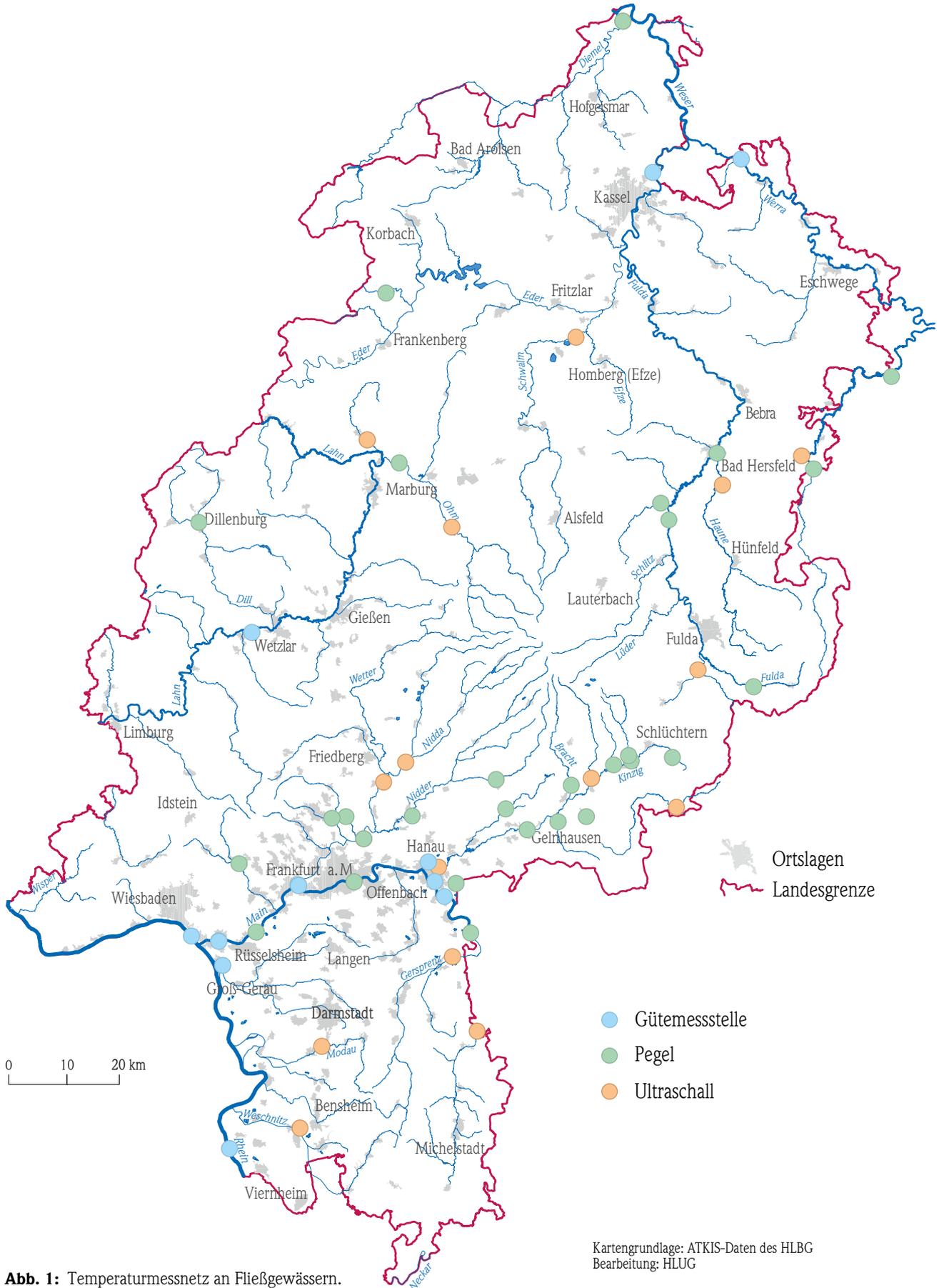


Abb. 1: Temperaturmessnetz an Fließgewässern.

## 2 Wasserhaushalts- und Wärmemodell zur Simulation der Wassertemperaturen an Fließgewässern

Für Hessen wurden zur Anwendung in der Hochwasservorhersagezentrale drei flächendeckende Wasserhaushaltsmodelle auf Basis des Modells LARSIM erstellt: das Lahnmodell, das Modell für die hessischen Main- und Rheinzuflüsse und das Modell für den hessischen Wesergebietsanteil. Die Landesfläche (zuzüglich der außerhessischen Einzugsgebietsanteile von Lahn, Eder und Diemel) wird modelltechnisch durch 4500 Teilgebietsflächen mit einer durchschnittlichen Größe von etwa 4 bis 5 km<sup>2</sup> beschrieben. Abgebildet werden dabei alle wesentlichen Teilprozesse des Wasserhaushalts: Interzeption, Evapotranspiration, Schneeakkumulation und -schmelze, Bodenwasserspeicherung, die Abflusskonzentration, sowie Translation und Retention in den Gerinnestrecken und Seen [1]. Das LARSIM-Wärmemodell [2] stellt eine Erweiterung des Wasserhaushaltsmodells dar (Abbildung 2) und ermöglicht zusammen mit den simulierten Wasserflüssen auch eine Darstellung der Wassertemperaturen an den simulierten Gewässerstrecken.

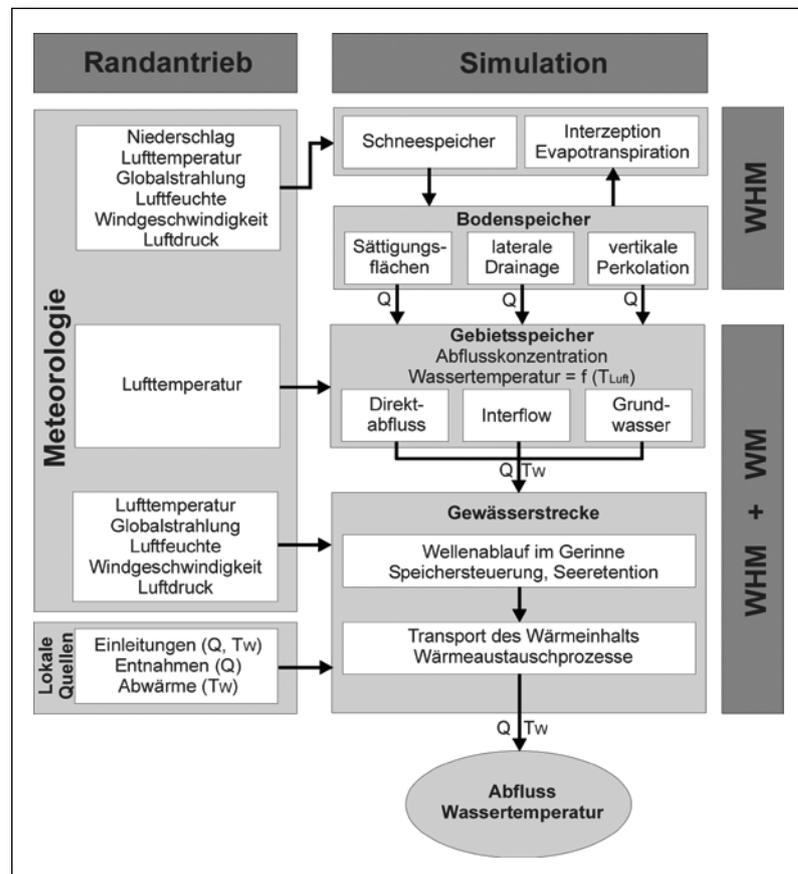


Abb. 2: Schematische Darstellung des LARSIM-Wärmemodells (aus [2]).

Das Wärmemodell berücksichtigt, neben punktförmiger anthropogener Wärmeeinleitungen aus Kraftwerken, Industrie und Kläranlagen ( $W_{\text{ein}}$ ), vor allem den Wärmeaustausch mit der Atmosphäre mittels einer vereinfachten Wärmehaushaltsgleichung:

$$\frac{\delta T_W}{\delta t} = \frac{R_K + R_L + H_L + H_F + H_{\text{SED}}}{c_W \cdot H \cdot \rho_W} + W_{\text{EIN}}$$

$T_W$	Wassertemperatur
$R_K$	kurzwellige Strahlungsbilanz
$R_L$	langwellige Strahlungsbilanz
$H_L$	latenter Wärmestrom
$H_F$	fühlbarer Wärmestrom
$H_{\text{SED}}$	Wärmestrom über die Grenzfläche Gewässerbett – Wasser
$W_{\text{EIN}}$	Wärmeeinleitung
$c_W$	spez. Wärmekapazität von Wasser
$H$	Gewässertiefe
$\rho_W$	Dichte des Wassers

Die kurzwellige Strahlungsbilanz ( $R_K$ ) setzt sich aus der Globalstrahlung abzüglich eines an der Wasseroberfläche reflektierten Anteils zusammen. Die langwellige Strahlungsbilanz ( $R_L$ ) beinhaltet die atmosphärische Gegenstrahlung (aus Gasen, Aerosolen und Wolken) und die aus dem Wasserkörper ausgehende Wärmestrahlung. Der Energietransport durch Wasserdampf auf Grundlage von Verdunstung und Kondensation wird als latenter Wärmestrom ( $H_L$ ) bezeichnet. Der fühlbare Wärmestrom ( $H_F$ ) resultiert aus dem direkten Wärmeaustausch an der Grenzschicht Luft-Wasser. Bei kleineren, meist flachen Gewässern wird die Wassertemperatur zunehmend auch durch die Wärmespeicherung in der Gewässersohle und den Austausch mit dem Wasser ( $H_{SED}$ ) beeinflusst (Abbildung 3).

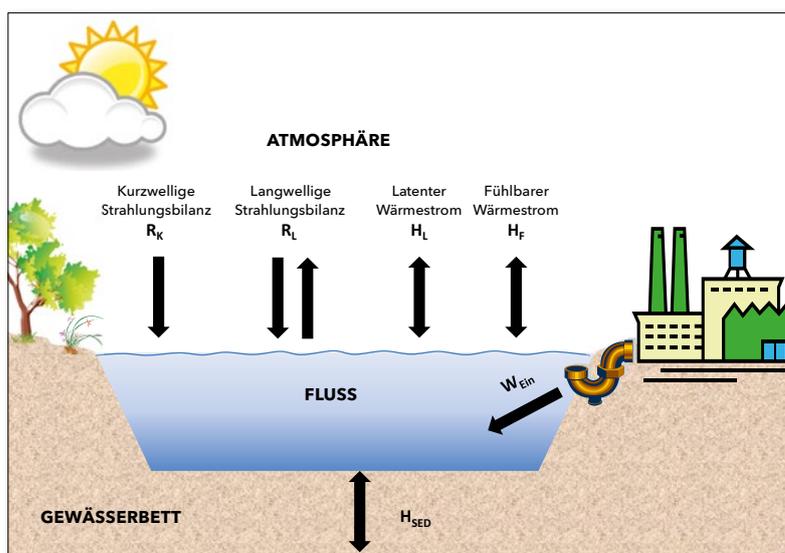


Abb. 3: Komponenten des vereinfachten Wärmehaushalts.

### 3 Wasserhaushalts- und Wärmemodell für das hessische Rhein- und Maingebiet

Für Südhessen mit den Zuflüssen zu Rhein und Main lag bereits ein LARSIM-Wasserhaushaltsmodell vor, das von der Hochwasservorhersagezentrale seit Oktober 2010 zur operationellen Abfluss- und Wasserstandsvorhersage eingesetzt wird. Das bestehende Modell wurde um das Wärmemodul erweitert und kann so zur Simulation der Wassertemperaturen verwendet werden.

Kalibriert wurde das physikalische Wärmemodul anhand von sechs Messstellen (Abbildung 4): Hainstadt/Mümling, Harreshausen/Gersprenz, Steinau/Kinzig, Hanau/Kinzig, Bad Vilbel/Nidda und Nied/Nidda. Geeicht wurden jeweils fünf Parameter, u. a.  $F_{Schatt}$  als Maß für die Beschattung des Gewässers durch die Ufervegetation und Horizontüberhöhung (beeinflusst die in das Modell eingehende Globalstrahlung), ein

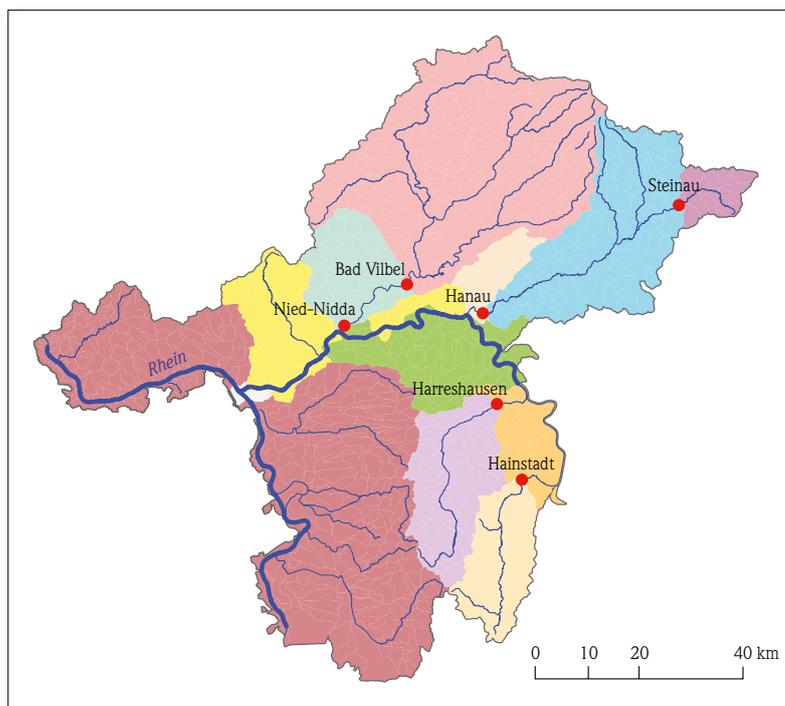


Abb. 4: Kalibrierpegel im Modell für das hessische Rhein- und Maingebiet.

Faktor zur Korrektur der Windgeschwindigkeit über der Wasseroberfläche ( $F_{Wind}$ ) und  $K_{Sed}$  als Wärmeübergangskoeffizient an der Gewässersohle. Schwerpunkt der Betrachtung waren hierbei die sehr warmen und trockenen Sommermonate der Jahre 2003 und 2006.

Die durch die Kalibrierung ermittelten Modellparameter gelten im Grunde nur lokal genau für die jeweilige Messstelle bzw. vereinfacht als Mittel für das gesamte Zwischeneinzugsgebiet der Messstelle. Die Parameter für die übrigen, nicht kalibrierten Bereiche wurden durch Übertragungen aus benachbarten Gebieten abgeschätzt.

Für den operationellen Betrieb des Wärmemodells stehen die bereits für die Hochwasservorhersage aufbereiteten Daten aus der Datenfernübertragung zur Verfügung (Abbildung 6): Neben aktuellen Messwerten der Pegel und Temperaturmessstellen werden Niederschlagsdaten gemeinsam mit weiteren Klimadaten (Lufttemperatur, Globalstrahlung, Relative Feuchte, Windgeschwindigkeit und Luftdruck) in einer zentralen Datenbank gespeichert.

Kombiniert mit Ergebnissen aus numerischen Vorhersagemodellen des Deutschen Wetterdienstes werden die Wassertemperaturvorhersagen in der Hochwasservorhersagezentrale des HLUG mindestens einmal täglich berechnet. Für rund 20 südhessische Pegel und Messstellen sowie Mündungspunkte von Nebengewässern des Mains erfolgt eine visuelle Ausgabe der Berechnungsergebnisse mit einer Vorhersagezeit von 7 Tagen (Abbildung 5).

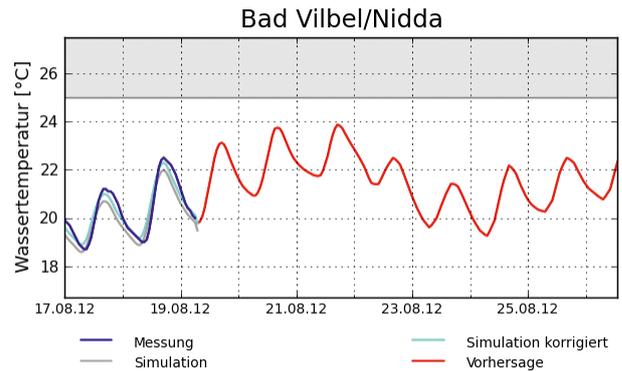


Abb. 5: Visuelle Darstellung der Vorhersagen am Beispiel des Pegels Bad Vilbel/Nidda.

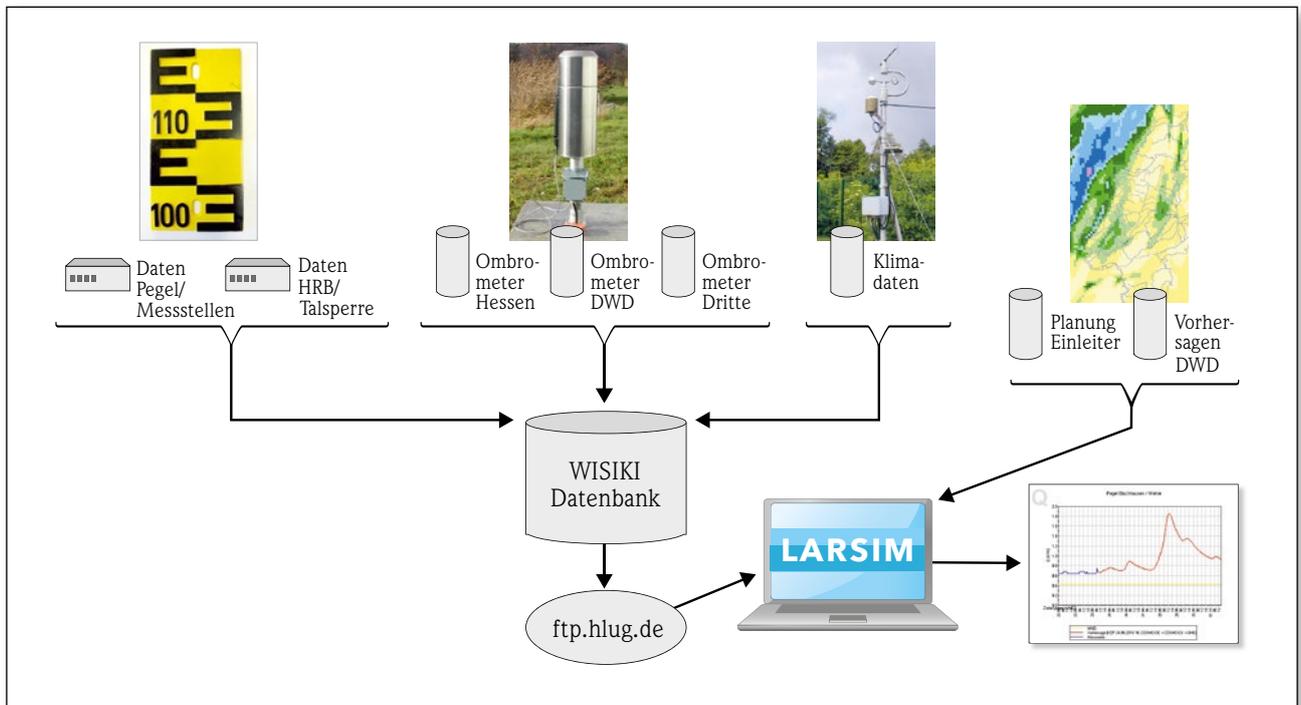


Abb. 6: Datenfluss im operationellen Vorhersagebetrieb.

## 4 Wärmemodell für den hessischen Main

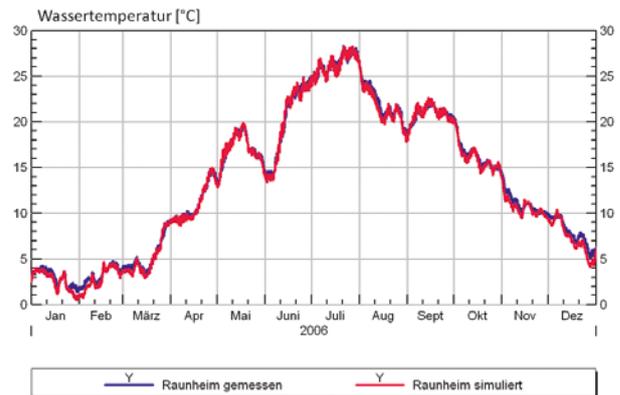
Der Main selbst ist nicht Bestandteil des Wasserhaushaltsmodells für das Rhein- und Maingebiet. Auf Basis des Modells QSIM [3] wurde bereits 2007 ein Wärmemodell zur Untersuchung der Temperaturverhältnisse am hessischen Main aufgestellt [4]. Für den Einsatz zur automatisierten Simulation und Vorhersage ist dieses Modell jedoch aus Gründen des Modelldesigns und der damit verbundenen Performanz nicht geeignet.

Daher wurde für den hessischen Mainabschnitt von der Landesgrenze Bayern/Hessen bis zur Mündung in den Rhein ein neues Modell auf Basis des Wasserhaushalts- und Wärmemodells LARSIM aufgestellt. Dabei konnten die vorliegenden Informationen aus dem QSIM-Modell übernommen werden.

Zur Abbildung des Mains wurde das ca. 77 km lange Gerinne in 50 Simulationsabschnitte unterteilt. Besonders relevante Modellknoten sind dabei 7 Wassertemperaturmessstellen, 3 Abflusspegel, 6 Wehre, 5 Kläranlagen, 4 Kraftwerke, 6 Industrieeinleiter und Mündungspunkte der wichtigsten Zuflüsse des Mains.

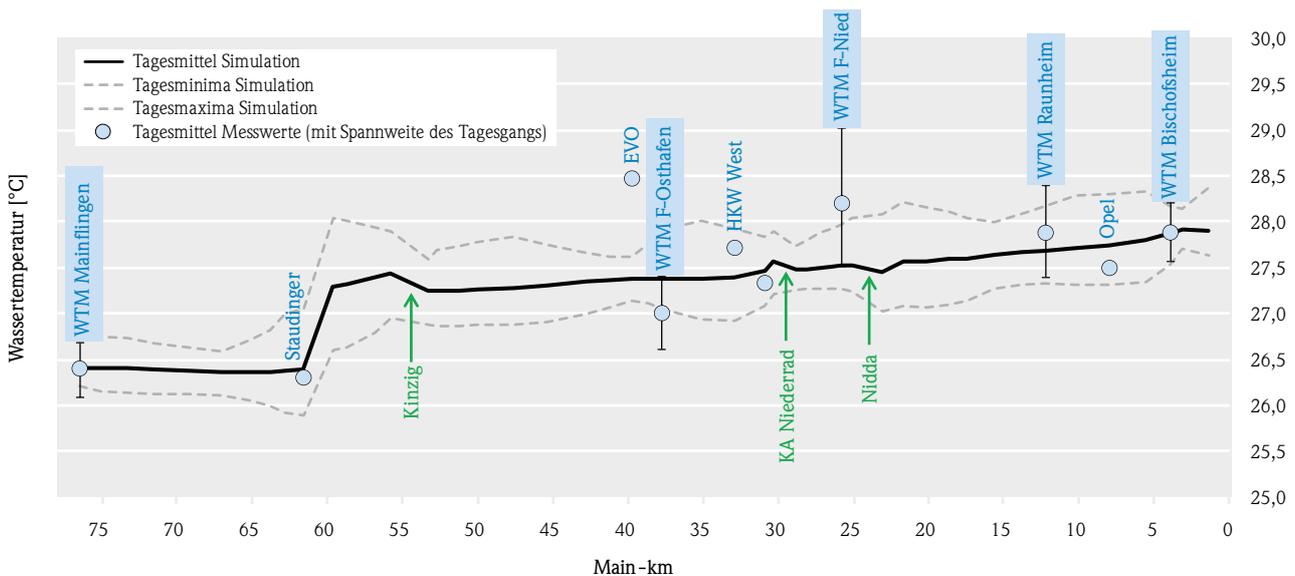
Die Kalibrierung des Wärmemodells umfasste die Jahre 2003 bis 2010. Mit den ermittelten Modellpara-

metern wurden insgesamt zufriedenstellende bis gute Simulationsergebnisse erzielt. So zeigen die Auswertungen, dass die simulierten Wassertemperaturen, vor allem in dem für die Wasserwirtschaft interessanten Bereich höherer Temperaturen in den Sommermonaten, gut mit den Messwerten übereinstimmen (s. Beispiel Messstelle Raunheim, Abbildung 7).



**Abb. 7:** Gemessene und simulierte Wassertemperaturen in Raunheim im Jahr 2006.

Auch die Entwicklungen der Wassertemperaturen entlang des hessischen Mains werden überwiegend adäquat abgebildet, wie das Beispiel vom 22. Juli 2006 (Abbildung 8) zeigt.

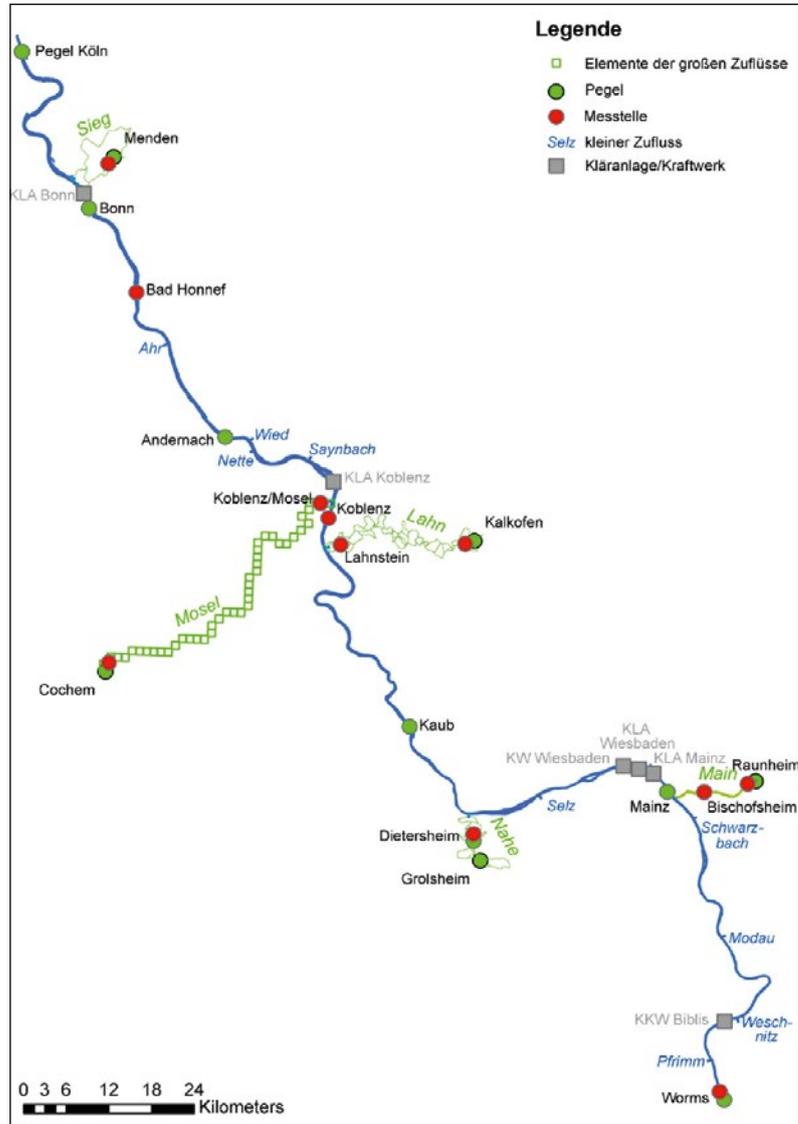


**Abb. 8:** Längsprofil der Wassertemperaturen am 22. Juli 2006.

## 5 Wärmemodell Mittelrhein

Aktuell wurde in Kooperation mit dem Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland Pfalz ein weiteres LARSIM-Wärmemodell für die hessischen und rheinland-pfälzischen Rheinabschnitte (insgesamt ca. 245 km) erstellt [5]. In dem vorgesehen operationellen Einsatz fließen sowohl Berechnungen aus den bereits bestehenden Wärmemodellen für den Main (HLUG) und Oberrhein (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg) als auch für die größeren Zuflüsse Simulationsergebnisse mehrerer, an den Rhein angrenzender Wasserhaushaltsmodelle ein (Abbildung 9).

Neben dem Einsatz zur aktuellen Wassertemperaturvorhersage bietet das Modell auch weitere Anwendungsmöglichkeiten wie die Erstellung von Wärmelastplänen oder die Prüfung veränderter Einleitungsszenarien. Darüber hinaus stellt das Wärmemodell auch ein Werkzeug zur Untersuchung des Einflusses des Klimawandels auf das zukünftige Temperaturregime des Rheins dar.



**Abb. 9:** Modellstruktur des Wärmemodells Mittelrhein mit den berücksichtigten Pegeln, Messstellen, Zuflüssen, Kläranlagen und Kraftwerken (aus [5]).

## 6 Zusammenfassung

Mit zunehmender Erwärmung der Atmosphäre ist insbesondere während abflussarmer Sommermonate mit erhöhten Wassertemperaturen in Fließgewässern zu rechnen. Neben negativen Auswirkungen auf die Gewässerbiozönose sind auch Auswirkungen auf den Sauerstoffhaushalt und die Gewässergüte anzunehmen. Zur Gewässerüberwachung wurde das hessische Wassertemperaturmessnetz ausgeweitet, aktuelle Wassertemperaturen werden im Internet veröffentlicht. Mit einer Erweiterung der in Hessen betriebenen Wasserhaushaltsmodelle sind zudem Simulationen an weiteren Gewässerabschnitten

möglich. Operationelle Vorhersagen der Gewässertemperatur im hessischen Maingebiet und am Main sowie zukünftig auch am Rhein können kritische Situationen vorab erkennen lassen. Auch bezüglich einer Steuerung von Wärmeeinleitungen vor dem Hintergrund entsprechender Temperaturgrenzwerte können Vorhersagen der Wassertemperaturen einen Beitrag zur Planung der Energieversorgung leisten. Zukünftige Auswirkungen des Klimawandels auf das Temperaturregime an den Fließgewässern lassen sich mit den aufgestellten Modellen untersuchen.

## 7 Literatur

- [1] BREMICKER, M. (2000): Das Wasserhaushaltsmodell LARSIM – Modellgrundlagen und Anwendungsbeispiele. Freiburger Schriften zur Hydrologie, Band 11, 119 S.
- [2] HAAG, I.; LUCE, A.; BADDE, U. (2005): Ein operationelles Vorhersagemodell für die Wassertemperatur im Neckar. Wasserwirtschaft, 95. Jhg. 7–8, S. 45–51.
- [3] KIRCHESCH, V.; EIDNER, R.; MÜLLER, D. (1998): Gewässergütemodellierung in der Bundesanstalt für Gewässerkunde. In: Mathematische Modelle in der Gewässerkunde – Stand und Perspektiven, BfG-Kolloquium am 15./16.11. 1998 in Koblenz, S. 105–114.
- [4] BRAHMER, G. U. TEICHMANN, W. (2007): Ein Wärmesimulationsmodell für den hessischen Main. Jahresbericht 2007 des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie, 31–38, Wiesbaden.
- [5] HLUG (2012): Aufbau eines LARSIM-Wärmemodells für den Mittelrhein. HYDRON Ingenieurgesellschaft, Karlsruhe, im Auftrag des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (unveröffentlicht).