

# Hydroinformatik - SoSe 2026

## UW-BHW-414-10: Neuronale Netzwerke

Prof. Dr.-Ing. habil. Olaf Kolditz

<sup>1</sup>Helmholtz Centre for Environmental Research – UFZ, Leipzig

<sup>2</sup>Technische Universität Dresden – TUD, Dresden

<sup>3</sup>Center for Advanced Water Research – CAWR

<sup>4</sup>TUBAF-UFZ Center for Environmental Geosciences – C-EGS, Freiberg / Leipzig

Dresden, 05.06.2026

# Zeitplan: Hydroinformatik I+II

Sommersemester 2026: Stand: 06.04.2026

Nr.	KW	Datum	ID	Thema
01+02	16	17.04.2026	UW-BHW-414-01/02	Einführung in die Vorlesung, Umweltinformatik
03	16	17.04.2026	UW-BHW-414-03	Werkzeuge, Hello World (in C++)
05	17	24.04.2026	UW-BHW-414-04	Selbststudium: Software-Installationen
07	19	08.05.2026	UW-BHW-414-05	Objekt-Orientierte Programmierung: C++, Klassen
09	20	15.05.2026	UW-BHW-414-06	Programmiersprache Python
11	21	22.05.2026	UW-BHW-414-07/08	Modellierung, Digitalisierung - Wasser 4.0
00	22	29.05.2026		Vorlesungsfreie Woche
13	23	05.06.2026	UW-BHW-414-09	KI, Maschinelles Lernen, Neuronale Netzwerke
15	24	12.06.2026	UW-BHW-414-H	Kontinuumsmechanik, Hydromechanik
17	25	19.06.2026	UW-BHW-414-I	Differentialgleichungen, Näherungsverfahren
19	26	26.06.2026	UW-BHW-414-J	Finite-Differenzen, explizite Verfahren
21	27	03.07.2026	UW-BHW-414-K	Finite-Differenzen, implizite Verfahren
23	28	10.07.2026	UW-BHW-414-L	Gerinnehydraulik, Grundwasserhydraulik
25	29	17.07.2026	UW-BHW-414-M	Grundwasserhydraulik
27	30	24.07.2026	UW-BHW-414-N	Zusammenfassung, Klausurvorbereitung

- 1 UW-BHW-414-10: Neuronale Netzwerke
  - Semesterplan

0 Rückblick letzte Veranstaltung: Modell-Begriff, BigData

---

1 Modell-Begriff: Abschluss

2 Hydrologische Modelle: Definition

3 Künstliche Neuronale Netzwerke (ANN)

4 Künstliche Neuronale Netzwerke in der Hydrologie

5 Mesoskalige Hydrologische Modellierung (mHM)

6 Beispiele für Anwendungen

---

7 Ausblick auf die nächste Veranstaltung: Maschinelles Lernen

# Modell-Begriff

”Hydrologisches Modell: Vereinfachte Beschreibung der in einem hydrologischen System ablaufenden physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse (hydrologischer Prozeß) oder Teilprozesse mit Hilfe mathematischer Gleichungen. Diese werden zeitlich und räumlich so miteinander verknüpft, wie sie in der Natur ablaufen.”

Source: <http://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/hydrologisches-modell/7239>

- ▶ "Je nach Berücksichtigung des zeitlichen Verhaltens wird zwischen **stationären und instationären** Modellen unterschieden.
- ▶ Weitere Unterscheidungen erfolgen nach den Lösungsverfahren der mathematischen Gleichungen in **analytische und numerische** Modelle,
- ▶ nach Berücksichtigung zufallsbedingter Systemänderungen in **stochastische und deterministische** Modelle,
- ▶ nach der Abhängigkeit der Modellparameter vom momentanen Systemzustand in **lineare und nichtlineare** Modelle."

Source: <http://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/hydrologisches-modell/7239>

”Die **deterministischen** Modelle werden in drei Hauptgruppen unterteilt, wobei der Grad der Kausalität in Form der Ursachen-Wirkungs-Beziehung Beachtung findet:

- 1 physikalische Modelle (White-Box-Modelle), die auf den Grundgesetzen der Physik, insbesondere der Hydro- und Thermodynamik, der Chemie und der Biologie beruhen,
- 2 konzeptionelle Modelle (Grey-Box-Modelle), die sich auf die physikalischen Gesetze in vereinfachter Näherung stützen und ein gewisses Maß an Empirie enthalten und
- 3 Modelle der Black-Box, die unter Vernachlässigung der physikalischen Grundgesetze nur Ursachen-Wirkungsbeziehungen zwischen den Systemeingängen und Systemausgängen betrachten.”

Source: <http://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/hydrologisches-modell/7239>

# Künstliche Neuronale Netzwerke

## ANN

# Künstliche Neuronale Netzwerke

## Definition

”Künstliche neuronale Netze, auch künstliche neuronale Netzwerke, kurz: KNN (engl. artificial neural network, ANN), sind Netze aus künstlichen Neuronen. Sie sind Forschungsgegenstand der Neuroinformatik und stellen einen Zweig der künstlichen Intelligenz dar. Die künstlichen neuronalen Netze haben, ebenso wie künstliche Neuronen, ein biologisches Vorbild. Man stellt sie den natürlichen neuronalen Netzen gegenüber, welche Nervenzellvernetzungen im Gehirn und im Rückenmark bilden. Doch geht es mehr um eine Abstraktion (Modellbildung) von Informationsverarbeitung und weniger um das Nachbilden biologischer neuronaler Netze, was eher Gegenstand der Computational Neuroscience ist.”

Source: [https://de.wikipedia.org/wiki/Künstliches\\_neuronales\\_Netz](https://de.wikipedia.org/wiki/Künstliches_neuronales_Netz)

# Künstliche Neuronale Netzwerke

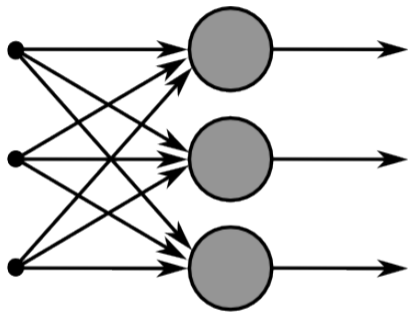
## Definition

In künstlichen neuronalen Netzen bezeichnet die Topologie die Struktur des Netzes. Damit ist im Allgemeinen gemeint, wie viele künstliche Neuronen sich auf wie vielen Schichten befinden, und wie diese miteinander verbunden sind. Künstliche Neuronen können auf vielfältige Weise zu einem künstlichen neuronalen Netz verbunden werden. Dabei werden Neuronen bei vielen Modellen in hintereinander liegenden Schichten (englisch layers) angeordnet; bei einem Netz mit nur einer trainierbaren Neuronenschicht spricht man von einem einschichtigen Netz.

Source: [https://de.wikipedia.org/wiki/Künstliches\\_neuronales\\_Netz](https://de.wikipedia.org/wiki/Künstliches_neuronales_Netz)

# Künstliche Neuronale Netzwerke

## Definition



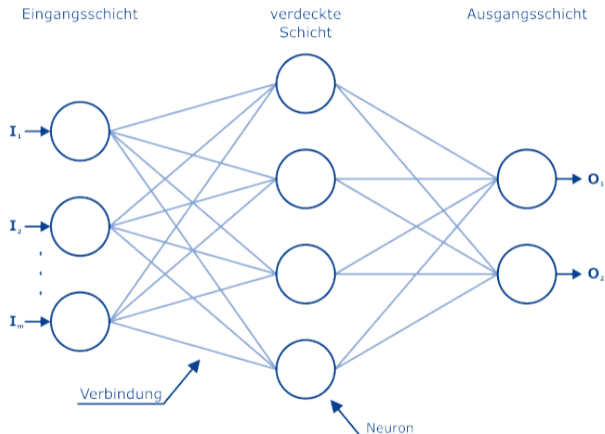
Ausgabeschicht

Unter Verwendung eines Graphen können die Neuronen als Knoten und ihre Verbindungen als Kanten dargestellt werden. Die Eingaben werden gelegentlich auch als Knoten dargestellt. Die hinterste Schicht des Netzes, deren Neuronenausgaben meist als einzige außerhalb des Netzes sichtbar sind, wird Ausgabeschicht (engl. output layer) genannt. Davor liegende Schichten werden entsprechend als verdeckte Schicht (engl. hidden layer) bezeichnet.

Source: [https://de.wikipedia.org/wiki/KÄijnstliches\\_neuronales\\_Netz](https://de.wikipedia.org/wiki/K%C3%A4ijnstliches_neuronales_Netz)

# Künstliche Neuronale Netzwerke

## Definition



Source: <https://www.lfi.rwth-aachen.de/index.php?page=kunstl-neuronale-netze>

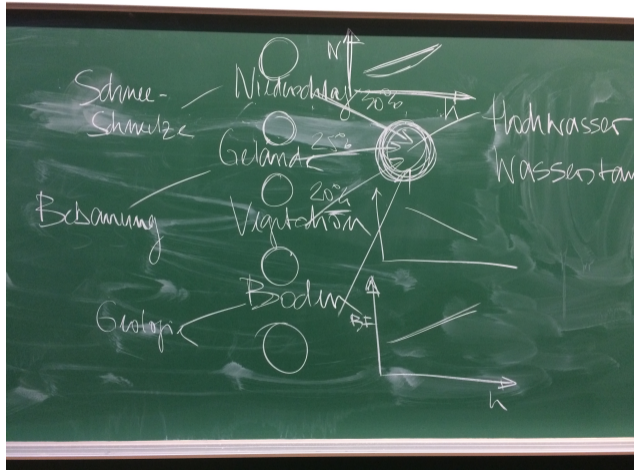
**Fig.:** Typisches künstliches neuronales Netz (KNN)

Abbildung 1 zeigt ein typisches, aus drei Schichten bestehendes KNN (eine Eingangsschicht, eine versteckte Schicht und eine Ausgangsschicht). Jedes Neuron des Netzes verarbeitet die ankommenden Eingaben zu einer Ausgabe. Diese Ausgabe wird dann mit anderen Neuronen verknüpft. Die Informationen gelangen über die Eingangsschicht in das Netz hinein. Alle Schichten des Netzes verarbeiten diese Signale, bis sie die Ausgangsschicht erreichen. Bei der Entwicklung von Neuronalen Netzen werden zwei Hauptphasen betrachtet:

Source: <https://www.lfi.rwth-aachen.de/index.php?page=kunstl-neuronale-netze>

# Künstliche Neuronale Netzwerke

## Beispiel



## Übung:

Entwerfen Sie ANN für ein Hochwasser-Modell.

- ▶ Was sind die wichtigsten Eingangsparameter?
- ▶ Welche hydrologischen Kompartimente sind involviert?
- ▶ Zielfunktion: Hochwasserstand

Source: Vorlesung 12.01.2018

**Lernphase** Diese Phase umfasst den Prozess, bei dem dem Netz mit Hilfe von Trainingsets (z.B. historische Daten) und Trainingsalgorithmen eine gewünschte Verhaltensweise beigebracht wird.

**Arbeitsphase** Nach dem Lernprozess ist das KNN bereit, in die Arbeitsphase einzutreten. Das Netz gibt Ausgangswerte aus, die denen im Beispieldatensatz ähneln, wenn die Eingangswerte zu denen eines Trainingsbeispiels passen.

Source: <https://www.lfi.rwth-aachen.de/index.php?page=kunstl-neuronale-netze>

# ANN Beispiel aus der Hydrologie

Ronny Peters

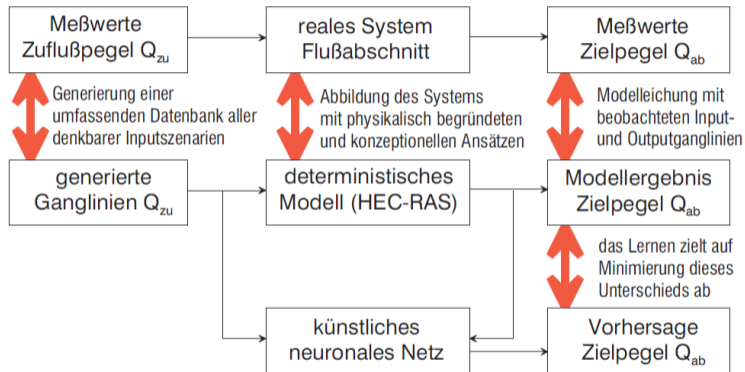
KÜNSTLICHE NEURONALE NETZE ZUR BESCHREIBUNG DER HYDRODYNAMISCHEN  
PROZESSE FÜR DEN HOCHWASSERFALL UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DER  
NIEDERSCHLAGS-ABFLUSS-PROZESSE IM ZWISCHENEINZUGSGEBIET

Dresden, Juli 2008

Source: <https://www.baufachinformation.de/dissertation/KÄijnstliche-neuronale-Netze-zur-Beschreibung-der-hydrodynamischen-Prozess>

# Künstliche Neuronale Netzwerke

## Hydrologie

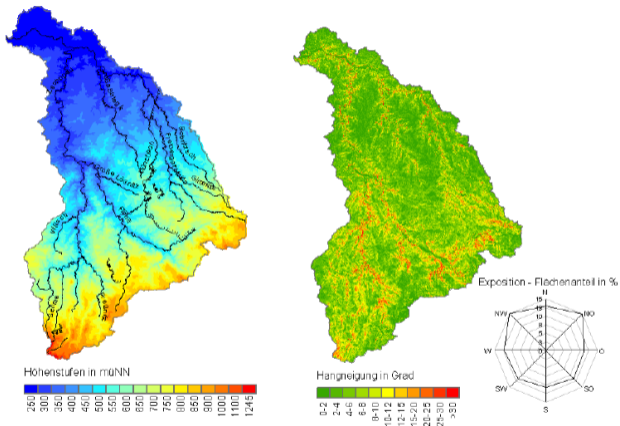


**Fig.:** Aus dem Defizit an Trainingsdaten abgeleitete allgemeine Methodik

Source: Peters, 2008

# Künstliche Neuronale Netzwerke

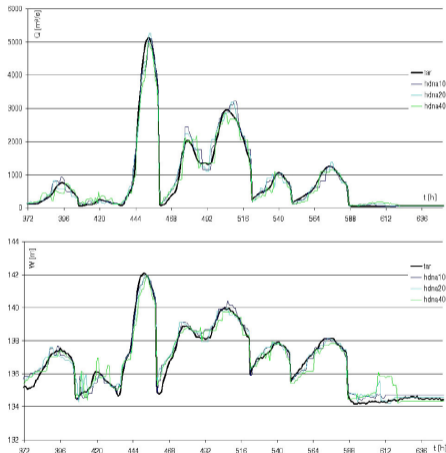
Hydrologie (Peters, 2008)



**Fig.:** Freiburger Mulde: Höhen und Gefälle im Untersuchungsgebiet

# Künstliche Neuronale Netzwerke

Hydrologie (Peters, 2008)

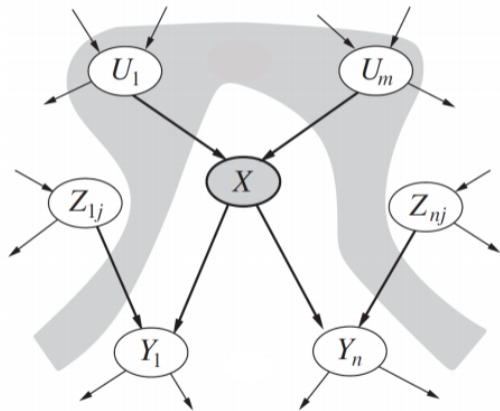


**Fig.:** Darstellung einzelner Szenarien für Durchfluß und Wasserstand

# Bayes'sches Netzwerke

# Bayes'sches Netzwerk

Methodik: Konzept



Source: <https://towardsdatascience.com/introduction-to-bayesian-networks-81031eed94e>

”Ein Bayes'sches Netz oder Netzwerk (benannt nach Thomas Bayes) ist ein gerichteter azyklischer Graph (DAG), in dem die Knoten Zufallsvariablen und die Kanten bedingte Abhängigkeiten zwischen den Variablen beschreiben. Jedem Knoten des Netzes ist eine bedingte Wahrscheinlichkeitsverteilung der durch ihn repräsentierten Zufallsvariable gegeben, die Zufallsvariablen an den Elternknoten zuordnet. Sie werden durch Wahrscheinlichkeitstabellen beschrieben. Diese Verteilung kann beliebig sein, jedoch wird häufig mit diskreten oder Normalverteilungen gearbeitet. Eltern eines Knotens  $v$  sind diejenigen Knoten, von denen eine Kante zu  $v$  führt ”

Source: [https://de.wikipedia.org/wiki/Bayessches\\_Netz](https://de.wikipedia.org/wiki/Bayessches_Netz)

# Bayes'sches Netzwerk

## Definition

”Ein Bayes'sches Netz dient dazu, die gemeinsame Wahrscheinlichkeitsverteilung aller beteiligten Variablen unter Ausnutzung bekannter bedingter Unabhängigkeiten möglichst kompakt zu repräsentieren. Dabei wird die bedingte (Un)abhängigkeit von Untermengen der Variablen mit dem A-priori-Wissen kombiniert.

Sind  $X_1, \dots, X_n$  einige der im Graphen vorkommenden Zufallsvariablen (die abgeschlossen sind unter Hinzufügen von Elternvariablen), so berechnet sich deren gemeinsame Verteilung als

$$P(X_1, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n P(X_i | \text{Eltern}X_i) \quad (1)$$

Hat ein Knoten keine Eltern, so handelt es sich bei der assoziierten Wahrscheinlichkeitsverteilung um eine unbedingte Verteilung.”

Source: [https://de.wikipedia.org/wiki/Bayessches\\_Netz](https://de.wikipedia.org/wiki/Bayessches_Netz)

# Bayes'sches Netzwerk

## Definition

$$P(X_1, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n P(X_i | \text{Eltern} X_i) \quad (2)$$

(Lotto spielen)

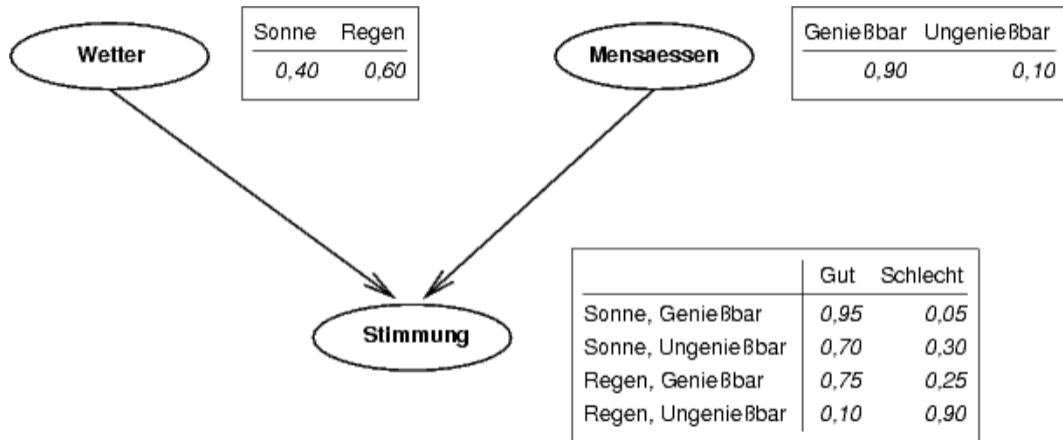
$$P(X_1, \dots, X_6) = (49/6) = \frac{49!}{6! \cdot 43!} = \frac{49 \cdot 48 \cdot 47 \cdot 46 \cdot 45 \cdot 44}{6 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1} = 13.983.816 \quad (3)$$

Conditional Dependence (Abhängigkeitsbedingungen)

$$P(X_1, X_2 | X_3) = P(X_1 | X_3) * P(X_2 | X_3) \quad (4)$$

# Bayes'sches Netzwerk

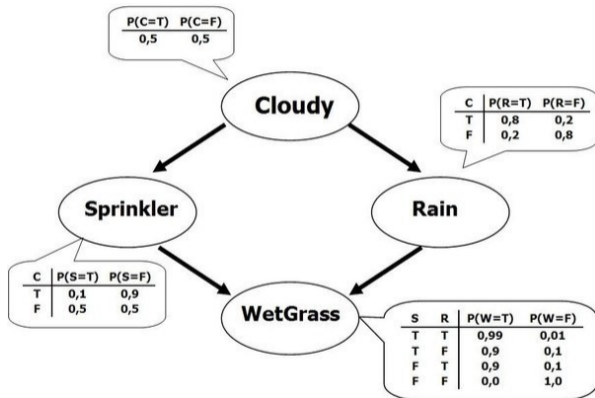
## Beispiel



Source: [https://de.wikipedia.org/wiki/Bayessches\\_Netz](https://de.wikipedia.org/wiki/Bayessches_Netz)

# Bayes'sches Netzwerk

## Methodik: Beispiel



Source: <https://towardsdatascience.com/introduction-to-bayesian-networks-81031eed94e>

Bayes'sche Netze werden als Form probabilistischer **Expertensysteme** eingesetzt, wobei die Anwendungsgebiete unter anderem in Bioinformatik, Musteranalyse, Medizin und Ingenieurwissenschaften liegen. In der Tradition der **Künstlichen Intelligenz** liegt der Fokus Bayes'scher Netze auf der Ausnutzung derer graphischen Strukturen zur Ermöglichung abduktiver und deduktiver Schlüsse, die in einem unfaktorierten Wahrscheinlichkeitsmodell undurchführbar wären. Realisiert wird dies durch die verschiedenen Inferenzalgorithmen.

Die Grundidee Bayes'scher Netze, nämlich die graphische Faktorisierung eines Wahrscheinlichkeitsmodells, wird auch in anderen Traditionen eingesetzt, wie in der Bayes'schen Statistik und in der Tradition der sogenannten Graphischen Modelle zu Zwecken der Datenmodellierung. Anwendungsgebiete sind hier vor allem Epidemiologie, Medizin und Sozialwissenschaften.

Source: [https://de.wikipedia.org/wiki/Bayessches\\_Netz](https://de.wikipedia.org/wiki/Bayessches_Netz)

### Typische Anwendungsgebiete:

- ▶ Verbindung von natur- und sozialwissenschaftlichen Aspekten (Wert von Naturschutz und Ökosystemdienstleistungen),
- ▶ Attraktivitätssteigerung von Masterstudiengängen (Beispiel der Masterstudiengänge Umweltwissenschaften und Physische Geographie an der Goethe Universität Frankfurt a. M.)
- ▶ Wissensintegration zur Unterstützung eines nachhaltigen Wassermanagements in Deutschland (Prof. Döll, U Frankfurt)
- ▶ ...

Source: Goethe Universität Frankfurt a. M., AG Hydrologie (Prof. Dr. Petra Döll)

# Differences Between Machine Learning vs Neural Network

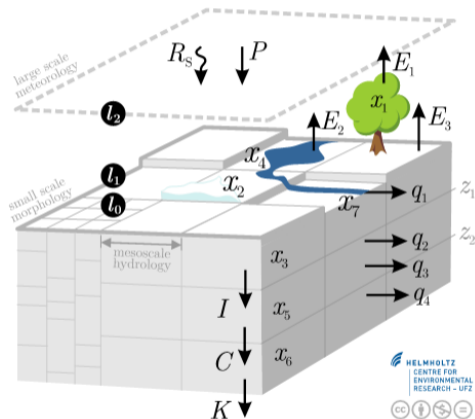
”Machine Learning is an application or the **subfield of artificial intelligence** (AI). Machine Learning enables a system to automatically learn and progress from experience without being explicitly programmed. Machine Learning is a continuously developing practice. The goal of Machine learning is to understand the structure of data and fit that data into models, these models can be understood and used by people. In Machine Learning generally, the tasks are classified into broad categories. These categories explain how learning is received, two of the most widely used machine learning methods are supervised learning and unsupervised learning.

The neural network is inspired by the structure of the brain. The neural network contains highly interconnected entities, called units or nodes. Neural networks are deep learning technologies. It generally focuses on solving complex processes. A typical neural network is a group of algorithms, these algorithms model the data using neurons for machine learning.”

<https://www.educba.com/machine-learning-vs-neural-network/>

# mesoskalige Hydrologische Modellierung

## mHM



**Fig.:** Landsurface Hydrology - das Modell mHM

Source: Rakovec, O., Kumar, R., Mai, J., Cuntz, M., Thober, S., Zink, M., Attinger, S., Schäfer, D., Schrön, M., Samaniego, L., 2016. Multiscale and Multivariate Evaluation of Water Fluxes and States over European River Basins. *J. Hydrometeorol* 17, 287–307. doi:10.1175/jhm-d-15-0054.1

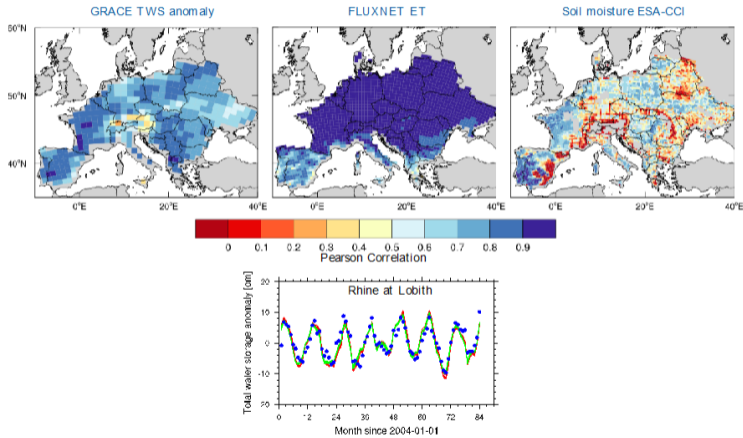
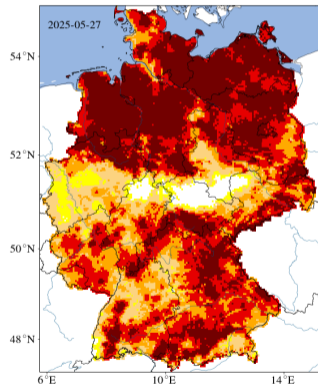


Fig.: Mehrskalen-Verifikation mHM in der Pan-EU

## UFZ Dürremonitor



# Testfragen

- 1 Zu welchem hydrologischen Modelltyp gehören die künstlichen neuronalen Netzwerke?
- 2 Was ist der englische Begriff für "Künstliche Neuronale Netzwerke"?
- 3 Skizzieren sie ein ANN-Konzept für eine Hochwasservorhersage. Benennen sie Einflussfaktoren für verschiedene Layer des ANN (d.h. die Kette von Abhängigkeiten).
- 4 Nennen sie typische Anwendungsgebiete von Bayes'schen Netzen.
- 5 Für welche Problemstellungen sind Bayes'sche Netze besonders geeignet?
- 6 Was ist der grundlegende Unterschied zwischen Neuronalen und Bayes'schen Netzwerken?
- 7 ...